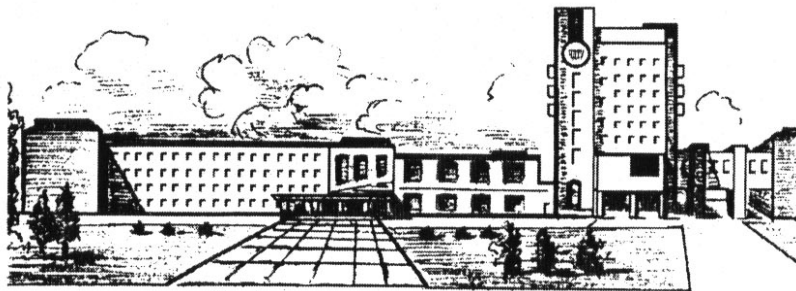


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



В І С Н И К
ЧЕРНІГІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО
ТЕХНОЛОГІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ

СЕРІЯ «ТЕХНІЧНІ НАУКИ»

№ 45

Чернігів 2010

Міністерство освіти і науки України

УДК 62/69+004

30/35

В 53

Друкується за рішенням вченої ради університету (протокол №10 від 25.10.2010 р.). Вісник ЧДТУ включено до нового переліку наукових фахових видань України, затвердженого постановою президії ВАК України від 01.07.2010 р. №1-05/5. Бюлетень ВАК України №7 2010.

Головний редактор:

Казимир В. В., доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи

Заступник головного редактора

Пилипенко О. І., доктор технічних наук, професор

Члени редакційної колегії:

Болотов Г. П., доктор технічних наук, доцент;

Волков І. В., доктор технічних наук, професор;

Денисов Ю. О., доктор технічних наук, професор;

Дубенець В.Г., доктор технічних наук, професор;

Дудла І.О., доктор технічних наук, доцент;

Кальченко В.І., доктор технічних наук, професор;

Кальченко В.В., доктор технічних наук, професор;

Литвинов В.В., доктор технічних наук, професор;

Сенько В.І., доктор технічних наук, професор;

Сиза О.І., доктор технічних наук, професор;

Скоробогатова В.І., доктор технічних наук, професор;

Харченко Г. К., доктор технічних наук, професор;

Чередніченко П.І., доктор технічних наук, професор.

Рецензенти:

Бурачек В.Г., доктор технічних наук, професор;

Жуйков В.Я., доктор технічних наук, професор;

Іванова І.М., доктор технічних наук, професор;

Квасніков В.П., доктор технічних наук, професор;

Павленко П.М., доктор технічних наук, професор;

Рижов Р.М., доктор технічних наук, професор;

Семак Б.Д., доктор технічних наук, професор;

Філоненко С.Ф., доктор технічних наук, професор;

Сахно Є.Ю., доктор технічних наук, професор.

В 45 Вісник Чернігівського Державного технологічного університету.

Збірник. – Чернігів: ЧДТУ, 2010. – № 45. – 275 с.

Заснований у 1996 році. Свідоцтво про державну реєстрацію КВ №14994-3966 ПР від 27.02.2009 р.

ISBN 978-966-1605-15-1

© Вісник Чернігівського державного
технологічного університету, 2010

Дорогі друзі, колеги!



У листопаді 2010 року Чернігівському державному технологічному університету (ЧДТУ) виповнилось 50 років. Історія його становлення і розвитку пов'язана з постійним нарощуванням та зміцненням матеріально-технічної бази, науково-методичного і кадрового потенціалу, що сприяло підвищенню статусу університету та його визнанню як провідного навчального закладу України.

ЧДТУ сьогодні – це багатoproфільний вищий навчальний заклад, який має відомі в Україні і за кордоном наукові школи, видатних вчених, які своєю працею, педагогічною майстерністю і талантом прославили наш університет і поставили його на рівень найпрестижніших навчальних закладів України.

Слід особливо відзначити професорсько-викладацький склад університету, його відданість важливій справі виховання та підготовки висококваліфікованих спеціалістів, готовність впроваджувати сучасні інформаційні та комп'ютерні технології у навчальний процес.

Впровадження новацій в галузі підготовки фахівців, нових методів та форм навчання, самовіддача професорсько-викладацького складу дозволяють нашому університету тримати високу планку вимог до студентів, готувати справжню наукову та управлінську еліту, професіоналів своєї справи.

У сьогоднішній надто складній ситуації в Україні наш університет робить все можливе аби не тільки зберегти колектив, а і суттєво наростити кадровий потенціал як кількісно, так і якісно, відкрити нові спеціальності, які потребує регіон, забезпечити високу якість навчального процесу.

Ми прагнемо перейти на новий рівень та набути нової якості – перетворити наш навчальний заклад у навчально-науковий, де б поряд з навчальним процесом проводились на належному рівні фундаментальні та прикладні дослідження.

Європейські стандарти освіти та високий науковий рівень є для нашого університету завданням і орієнтиром при прийнятті рішень, у повсякденній діяльності колективу ЧДТУ, у прагненні до створення провідного університету країни. У світлі останніх досягнень ступеневої освіти, яка формує фахівців високого рівня, наш університет посилює своє місце і роль в освітній сфері і стає потужним навчальним і науковим закладом з відповідною лабораторною базою, кадровим та матеріально-технічним забезпеченням.

Ми пишаємося нашими випускниками, щиро вдячні колективу університету і нашим ветеранам, а також тим, хто сьогодні своєю самовідданою працею забезпечує високий рівень підготовки фахівців та добрі традиції вищої школи.

Бажаю Вам всім успіху,

з повагою

Ректор, доктор економічних наук, професор

С.М. Шкарлет

Зміст

ПЕРЕДМОВА	3
РОЗДІЛ I. МЕХАНІКА	8
1 Пилипенко О.И. ДИЗАЙН ВО ВСЕХ ЕГО ИПОСТАСЯХ	8
2 Дубенець В.Г., Савченко О.В. ОПТИМАЛЬНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ПОЛОГИХ ОБОЛОНОК З КОМПОЗИЦІЙНИХ В'ЯЗКОПРУЖНИХ МАТЕРІАЛІВ	22
3 Грицюк В.Ю. РОЗРАХУНОК УДАРУ ТІЛОМ ПО БАЛКАХ З ПРОМІЖНИМИ ПРУЖНО ДЕФОРМІВНИМИ ОПОРАМИ	31
РОЗДІЛ II. ТЕХНОЛОГІЇ АВТОТРАНСПОРТУ	36
4 Кальченко В.І., Рудик А.В., Венжега В.І., Кальченко В.В. ШЛЯХИ ПОКРАЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНИХ І ЕКОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОМОБІЛЯ	36
5 Хоменко І. М. ВИЗНАЧЕННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ КЛАПАНА АВТОМОБІЛЬНОГО ДВИГУНА	40
6 Барановський Д.М., Мямлін С.В., Драгобецький В.В. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ МОДИФІКУВАННЯ ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ ДИЗЕЛІВ СПЕЦІАЛЬНОГО САМОХІДНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ	47
РОЗДІЛ III. ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ	52
7 Кальченко В.І. , Кальченко В.В. , Кологойда А.В. ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ТОРЦІВ ГОЛОК ПРИ ШЛІФУВАННІ ЗІ СХРЕЩЕНИМИ ОСЯМИ КРУГА ТА РОБОЧОГО ВАЛИКА	52
8 Рудик А.В., Рудик В.А. ПРОДУКТИВНІСТЬ ОБРОБКИ ТОРЦІВ НА ТОРЦЕВО-ШЛІФУВАЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ	58
9 Чуприна В.М., Пасов Г.В., Шолупець В.М. ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШПИНДЕЛЬНИХ ВУЗЛІВ У РОБОЧОМУ ПРОСТОРІ БАГАТОЦІЛЬОВОГО ВЕРСТАТУ МОДЕЛІ ИР500ПМФ4	68
10 Кирієнко С.Ю, Полуян А.В, Пасов Г.В, Чуприна В.М, АНІМАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГНУЧКОЇ ВИРОБНИЧОЇ СИСТЕМИ	79
11 Чередніков О.М, Борисов О.О., Канюка В.І. МОДУЛЬ - АЛГОРИТМ ФОРМУВАННЯ БАЗ ДАНИХ ОЦИФРОВКИ ПОВЕРХОНЬ	88
12 Бойко А.В., Мельник П.М. ПОБУДОВА РЕГРЕСІЙНОЇ МОДЕЛІ ТОЧНОСТІ СКЛАДАЛЬНОГО РОЗМІРНОГО ЛАНЦЮГА	93
13 Федориненко Д.Ю., Бойко С.В., Сапон С.П. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ШПИНДЕЛЬНИХ ГІДРОСТАТИЧНИХ ОПОР	100

РОЗДІЛ IV. ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ І ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ	107
14 Харченко Г.К., Олексієнко С.В., Руденко М.М., Шульженко О.О. З'ЄДНАННЯ ТВЕРДИХ СПЛАВІВ (ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД)	107
15 Болотов Г. П. ЗАСТОСУВАННЯ ТЛЮЧОГО РОЗРЯДУ ДЛЯ РЕМОНТУ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕПЛООБМІННИХ АПАРАТІВ	112
16 Добровольська Л.В., Грицюк Ю.В., Грицюк І.В. МЕТОД КОРИГУВАННЯ УСТАВОК В ПРОЦЕСІ КЕРУВАННЯ КОМПЕНСУВАЛЬНИМИ УСТАНОВКАМИ	115
17 Добровольська Л.Н., Романюк М.В. ВИКОРИСТАННЯ УСТАЛЕНИХ ТА ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ В РОЗПОДІЛЬНІЙ МЕРЕЖІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ДЛЯ ПЕРІОДИЧНОГО КОНТРОЛЮ ОМІЧНИХ ОПОРІВ ІЗОЛЯЦІЇ ПОЛЮСІВ ВІДНОСНО ЗЕМЛІ	121
18 Головка В.В., Костин В.А., Жуков В.В., Прибилько И.А. ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ МАРГАНЦЕМ И ТИТАНОМ НА ОСОБЕННОСТИ РАСПАДА АУСТЕНИТА В МЕТАЛЛЕ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ ШВОВ	126
19 Прибилько И.О., Ганєєв Т.Р. РОЗРАХУНОК НА МІЦНІСТЬ СКЛО-КРЕМНІСВОГО ВУЗЛА ДАТЧИКА ТИСКУ З ПОЗИЦІЇ КРИХКОГО РУЙНУВАННЯ	135
РОЗДІЛ V. КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ	140
20 Павленко П.М., Задонцев Ю.В. МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ РІВНЯ КВАЛІФІКАЦІЇ ФАХІВЦІВ З ВПРОВАДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ	140
21 Трейтяк В.В., Павленко П.М., Хлевний А.О. РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ АНАЛІЗУ ТА ОЦІНКИ ВИРОБНИЧОГО ЗАМОВЛЕННЯ	146
22 Вервейко О.І., Нікітенко Є.В., Стрелок Д.В. СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ БЕЗДРОТОВИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ	153
23 Вервейко О.І., Мичта А.О. ВІРТУАЛЬНИЙ РЕКОНФІГУРУЮЧИЙ ВИМІРЮВАЧ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИГНАЛІВ	160
24 Зацерковний В.І., Кривоберець С.В., Сімакін Ю.С. МЕТОДИКА СТВОРЕННЯ ЕТАЛОННИХ МОДЕЛЕЙ ПРОСТОРОВИХ ОБ'ЄКТІВ ГІС ЗА ДОПОМОГОЮ КОМБІНАТОРНОГО АЛГОРИТМУ	166
25 Бичко В.А., Шумский О.В., Dr. Ramit Azad МЕТОДИ ПЕРВИННОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ ПРИ ТРИВИМІРНОМУ СКАНУВАННІ ПОВЕРХНІ ФІЗИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ	174
26 Велігорський О.А., Кулініч Д.В. МОДЕЛЮВАННЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ	181
27 Птіцин В.Ю., Щерба О.В. ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДІВ ТЕСТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ПАМ'ЯТІ	189
28 Жолобко О.Ю., Щерба О.В. ОБ'ЄКТНА МОДЕЛЬ ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ	194

29	Риндич Є.В. АРХІТЕКТУРА КОРПОРАТИВНОЇ КОНФЕРЕНЦ-СИСТЕМИ НА ОСНОВІ IP-ПРОТОКОЛУ	200
Розділ VI. МЕХАНОХІМІЯ		209
30	Чередніченко П.І., Бакалов О.В., Бакалов В.Г. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПЛОСКОЦІЛИННОЇ ГОЛОВКИ	209
31	Косицька Т.М. МОДЕЛЮВАННЯ СИГНАЛІВ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ ПРИ МЕХАНІЧНОМУ РУЙНУВАННІ КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ	215
32	Сиза О.І., Савченко О.М, Корольов О.О. РОЗРОБКА ІНГІБІТОРІВ НА ОСНОВІ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ ПРОТИКОРОЗІЙНОГО ЗАХИСТУ СИСТЕМ ВОДО- ТА ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ	222
33	Челябієва В.М., Гуменюк О.Л., Денисова Н.М. ЗАСТОСУВАННЯ ДЕЯКИХ СПІНЕНИХ ТА СКЛОВОЛОКНИСТИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ ПРИМІЩЕНЬ ВІД ШУМУ	230
РОЗДІЛ VII. ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ТА ХАРЧОПЕРЕРОБНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ		235
34	Ігнатенков О.Л. ПЕРЕРОБКА НА ЦУКРОВОМУ ЗАВОДІ ОСНОВНОГО ПОТОКУ БУРЯКУ В ДИФЕРЕНЦІАЛЬНО-СТРУМИННОМУ ДИФУЗІЙНОМУ АПАРАТІ	235
35	Ніколайчук Л.Г. ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БЛИЗНЯНИХ БАВОВНОКОТОНІНОВИХ ТКАНИН	239
36	Дудла І.О., Хребтань О.Б. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ПОКАЗНИКІВ ГУСТИНИ ПАЛЬТОВИХ ВОВНЯНИХ ТКАНИН ПІСЛЯ СПЕЦІАЛЬНОГО ОБРОБЛЕННЯ	244
37	Дудла І.О., Хребтань О.Б. ТОВАРОЗНАВЧА ЕКСПЕРТИЗА РОЗМІРНИХ ПОКАЗНИКІВ ТА МАРКУВАННЯ ШКІРЯНОГО ВЗУТТЯ, ЩО РЕАЛІЗУЄТЬСЯ В РОЗДРІБНИХ ТОРГІВЕЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ М. ЧЕРНІГОВА	249
	АНОТАЦІЇ	255
	ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ	272

МЕХАНІКА

УДК 621.855

О.И. Пилипенко, д-р техн. наук

Черниговский государственный технологический университет

ДИЗАЙН ВО ВСЕХ ЕГО ИПОСТАСЯХ

Рассмотрены вопросы дизайна и его задач как процессов проектирования, конструирования, моделирования, особенности дизайна в машиностроении. Показано взаимодействие между инженерным и промышленным дизайном. Рассмотрены системы интерактивной визуализации, оказывающие большую поддержку этому виду творческой деятельности.

Введение

Современные условия предвидения и/или рыночные требования предъявляют к экономике любой страны более сложные задачи относительно скорости освоения новых изделий, их качества, дизайна, производительности и гибкости. Единственно возможное решение в таких условиях состоит в применении одной из глобальных стратегий развития, т.е. интегрированной разработки изделия как сориентированному на человека подходу к оптимизации процесса разработки изделия, где знания, как результат исследований в науке и технологиях, "запускает" решающую роль относительно успешности и позитивного результата такого процесса.

Знания и его владельцы (knowledge holders), как самый важный ресурс любого общества в близкой и более далекой перспективе, так же как и передача знаний в область эффективного использования в конкретных условиях, с акцентом на использование потенциала доступных людских ресурсов, являются управляющим рычагом для интегрированной разработки новых изделий [1].

Мир покрыт учреждениями, которые выполняют различные виды проектной деятельности. Их цели состоят в том, чтобы получить новые изделия, то есть технические решения и идеи для этих решений короткими путями, за короткое время и с высоким качественным уровнем. **Преобразование знания в технические решения чрезвычайно важно для экономического процветания предприятий, государств и для всего глобального общества.** Можно разделить учреждения проектирования на три группы [2]: учреждения машиностроительного проектирования, учреждения промышленного проектирования и учреждения, которые пытаются объединить эти два подхода. Результаты их деятельности могут быть оценены как новые конструктивные методы и подходы, новый путь конструкторского образования, новая философия конструирования, и т.д. Многочисленные конференции в области машиностроительного конструирования дают возможность представить результаты, новые методы и подходы, их приложения, промышленные результаты и т.д. Руководящей среди них является Международная Конференция по машиностроительному конструированию – ICED (International Conference on Engineering Design). Кроме того, многочисленные журналы представляют главные результаты в области конструирования. Журнал Journal of Engineering Design, Research in Engineering Design, Design Studies – лидирующие журналы в этой области. Общество Дизайна пробует координировать деятельность конференций, журналов и групп заинтересованных пользователей, специальных групп по интересам (SIG) в глобальном смысле. В области промышленного проектирования действия преимущественно отделены от машиностроительного конструирования и выполняются различными путями. Выставки, конкуренция, индикаторы жюри, оценки и т.д. стимулируют и прямые действия дизайнеров. Популярные журналы, которые представляют их результаты для общественной оценки, также действуют в русле популярности промышленно-

го дизайна. В машиностроении технические (механические) системы сложны и должны быть все более эстетичными, экологически спроектированными. Бионика, эргономика, среда, и т.д. все более актуализируют новые идеи, знания и решения в области конструирования в машиностроении. Все упомянутое должно быть включено в инновации и жизнеспособность конструирования в машиностроении. Разработка изделия включает процесс конструирования, разработку технологии, разработки пользовательских потребностей и т.д. Чрезвычайно важная область разработки изделия – разработка идей для нового изделия. Отношение между достигнутым уровнем знания, технологии, потребностей пользователя и рыночными потребностями, социальная среда, окружающая среда и т.д. создают платформу для генерирования идеи изделия. Методы и философия генерирования идеи изделия является комплексной областью исследования. С этой точки зрения процесс конструирования является исполнительной стадией разработки изделия.

Термин "дизайн" очень сложен и включает различные действия, направленные на получение технического решения. Этот термин означает подготовку (планирование), процесс преобразования знания в техническое решение. Кроме того, дизайн подразумевает рисунок, эскиз или полное представление технического решения. Из английского языка, других языков имеем ряд слов для обозначения этой области. Перевод с английского языка иногда может быть неточным и неправильным. Кроме того, слово "дизайн" на других языках является причиной затруднений ввиду придания этому слову многочисленных значений в совершенно разных областях деятельности.

Цель статьи состоит в рассмотрении понятий дизайна в различных его аспектах с тем, чтобы внести ясность во многие вопросы, связанные с этим понятием, уделив особое внимание дизайну в машиностроении.

Дизайн как таковой

Дизайн изделия может быть определен различными способами. Согласно Kotler [3], дизайн охватывает все особенности изделия, затрагивающие технологический путь производства изделия, его внешний вид и функции согласно запросам потребителей. Международный Совет Обществ Промышленного Дизайна сформулировал следующее определение: «Промышленный дизайн – это творческая деятельность, целью которой является определение формальных качеств объектов, производимых промышленностью. Эти формальные качества включают формальные особенности, но, прежде всего, структурные и функциональные отношения, преобразующие систему в последовательное целое с точки зрения как производителей, так и пользователей».

Однако, необходимо указать на некоторую неполноту, даже ошибочность понятия дизайна изделия [4]. Ошибка заключается в умалении проектирования в пользу эстетики изделия, являющейся только одним из более или менее существенных элементов этого дизайна. Конечно, эстетика намного более важна для потребительских товаров, чем для товаров воспроизводства. В то же время, имеет место пять основных элементов дизайна изделия:

- ☐ рентабельность (экономическая эффективность)
- ☐ функциональные возможности (функциональность)
- ☐ технологическая пригодность (технологичность)
- ☐ эргономичное удобство (эргономика)
- ☐ эстетика.

Кроме того, дизайн изделия неосуществим без групповой согласованной работы и междисциплинарного сотрудничества [2]. Группа включает проектировщиков и конст-

рукторов, технических и торговых экспертов, рекламодателей и т.д. Процесс дизайна изделия является творческим, интегрированным процессом.

Задачи дизайнеров

У дизайнеров возникает сложная задача, когда дело доходит до проектирования изделия. Они должны, прежде всего, сосредоточиться на [4]:

- ☐ форме
- ☐ особенностях
- ☐ характеристиках
- ☐ удобствах
- ☐ долговечности
- ☐ надёжности.

Проектирование формы изделия является фактически определением очертаний изделия, его цвета, вида и структуры. Проектирование различных характеристик изделия нацелено на содействие его основной функции.

Стиль относится к появлению изделия и восприятия этого изделия перспективными потребителями. Стиль выражает различие, которое трудно скопировать. Однако, узнаваемый стиль не обязательно подразумевает хорошие характеристики данного изделия.

Долговечность является мерой ожидаемой продолжительности жизни изделия. Однако, цена долговечных изделий не должна быть слишком высокой. Кроме того, такое изделие не должно быстро устаревать технологически.

Дизайн как процесс конструирования изделия

Дизайн можно также рассматривать как процесс конструирования изделия. Определяя концепцию изделия, нужно принять во внимание потребности и вкусы потенциальных потребителей, так же как и выгоды, которые они ожидают от нового изделия. В решении принятого проектного вида у проектировщиков и конструкторов возникают следующие три задачи:

- концептуализировать (осмыслить) физические изменения, которые будут иметь место, желательное воздействие на восприятие пользователей и их предпочтения;
 - транслировать дизайн в материальную (то есть физическую) форму или модель;
 - разработать вопросы стоимости с точки зрения новых особенностей нового дизайна.
- Имея разработанную концепцию изделия, необходимо дать точный ответ на следующие вопросы [4]:

- какими способами реализовать принятую концепцию изделия?
- каковы необходимые ресурсы?
- может ли новое изделие быть произведено в условиях данного предприятия (оборудование, человеческие ресурсы и т.д.)?

Опыт развитых стран говорит о том, что те новые спецификации изделия, которые определены в начальной фазе его конструирования, являются в основном неправильными. Эти спецификации, описывая изделие в деталях (подробно), включая список компонентов, скорость изготовления, размеры изделия и т.д., разработаны, как правило, в конце развития проекта изделия.

Менеджеры по продукции должны участвовать в обширном принятии решений, связанном с конструированием изделия. Все эти решения могут быть классифицированы по трём группам с точки зрения [4]:

- ☐ функциональных особенностей изделия;
- ☐ структурных особенностей изделия;

□ эстетических особенностей изделия.

Функциональные особенности изделия относятся к особенностям, связанным с будущими преимуществами изделия. Их разработка требует определенных технических навыков; это – поле деятельности отделов исследований и разработок.

Структурные характеристики изделия включают размер, форму, цвет, материал, текстуру и т.д.

Эстетические особенности включают дизайн как таковой, форму и цвет, в дополнение к другим декоративным особенностям, которые все вместе способствуют созданию визуальной привлекательности и отличительной особенности изделия, которое привлекает внимание потенциальных потребителей.

Интегрированный анализ изделия

Современный дизайн подразумевает взаимозависимость функциональных, структурных и эстетических особенностей изделия. Успешный дизайн требует тесного сотрудничества инженеров, дизайнеров и исследователей. Роль инженеров должна ответить на вопрос, удовлетворяет ли изделие своему назначению, которое подразумевает анализ стоимости изделия.

Есть две важные особенности испытаний (тестирования) изделий, основанных на интегрированном анализе дизайна [4]:

- использование экспериментального дизайна;
- идентификация оптимального дизайна изделия.

Использование экспериментального дизайна дает возможность дизайнерам рассмотреть многочисленные факторы, как качественные, так и количественные, на различных уровнях. Это даёт двойное преимущество: ограничение числа прототипов изделия и сокращение числа задач конструкторов.

Идентификация оптимального дизайна изделия очень важна. Здесь используются два подхода – моделирование и оптимизация. Многие исследования в интегрированном анализе включают компьютерное моделирование, чтобы интерполировать комбинацию факторных уровней.

Процедуры оптимизации используются, чтобы определить оптимум или почти оптимальный дизайн изделия.

Инженерный и промышленный дизайн

На английском языке сосуществуют две области дизайна, инженерный (машиностроительный) дизайн и промышленный (индустриальный) дизайн [2]. Обе эти области преследуют одну и ту же цель – создать техническое решение. Инженеры обладают методами и правилами того, как преобразовать знание в техническое решение. На русском, украинском, сербском и других славянских языках термином для этой области деятельности является соответственно – конструирование, конструювання, конструисање и т.п. На немецком языке термин для этой области – konstruktionstechnik. Перевод инженерного дизайна в русском, украинском, сербском и др. языках как проектирование, проектування, пројектовање не совсем правилен, за редкими исключениями. У этого слова есть значение «проект», т.е. замысел (от латинского projectus – брошенный вперёд) и проектирование, т.е. осмысливание, компоновка готовых изделий. Это означает, что слово «проектирование» может использоваться преимущественно для сложных систем, которые могут быть объединены из заранее разработанных компонентов или подсистем. Вот почему в русском, украинском, сербском и других

славянских языках более подходящим является использование термина «Инженерный дизайн» в том же самом смысле, как и на английском языке.

Рассматривая ориентацию и цели инженерного и промышленного дизайна, отметим, что эти две ветви творческой деятельности имеют много общего. На рис. 1 согласно профессору Alesandro Freddi из Университета Болоньи, это взаимодействие представлено в графическом виде. Рассмотрено 10 особенностей технических решений. Безопасность в инженерном дизайне рассматривает прямые принципы безопасности, а промышленный дизайн рассматривает преимущественно экологическую безопасность. Управление в инженерном дизайне обрабатывает испытания (тестирование), используя измерения, а в промышленном дизайне – используя понятность управления для дизайнера и потребителя.

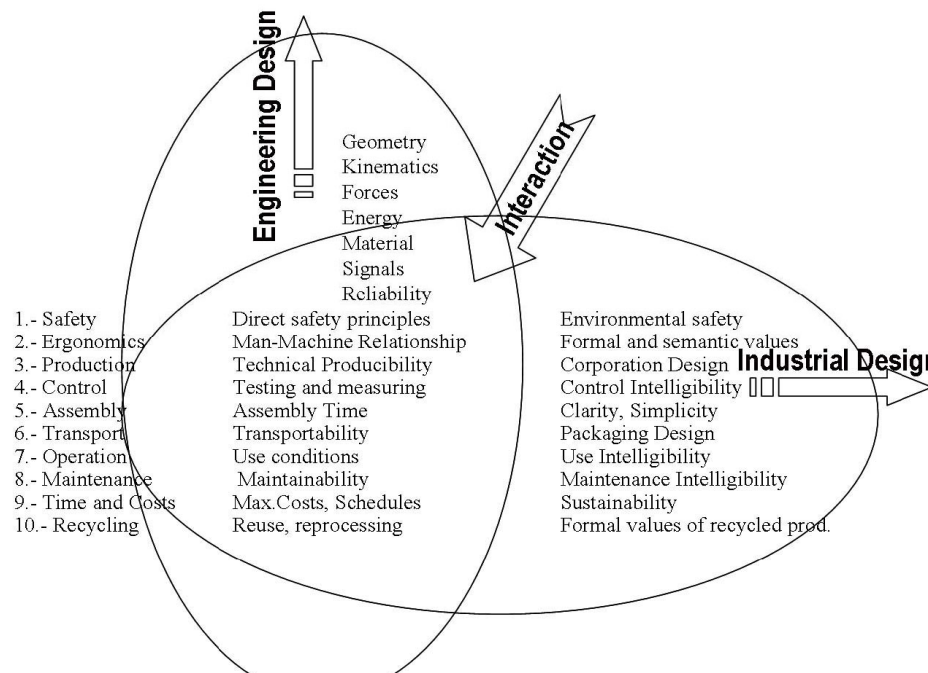


Рис. 1. Взаимодействие между инженерным и промышленным дизайном [Freddi A.,-University of Bologna]

Промышленный дизайн является областью, где художники создают промышленные продукты. Это искусство для индустрии. Художники используют художественные подходы, такие как наблюдение, воображение, композиция и т.д., идя навстречу потребителям на рынке. Они особенно ориентированы на эстетику продукта, но должны решать все другие технические задачи, обладая при этом слабыми техническими знаниями. В этих случаях они должны работать в сотрудничестве с инженерами. К сожалению, в мире художников термин «Промышленный дизайн» в просторечии преобразован в просто "Дизайн". Без перевода это слово передано на других языках, как и на русском, украинском, сербском и других славянских языках, и тогда в слове «Дизайн» совершенно не просматривается его эстетическое звучание. Отметим, что «Эстетический дизайн» играет определенную роль как в инженерном, так и в промышленном дизайне.

Промышленный дизайн, вопреки Инженерному Дизайну, основан на способностях и навыках дизайнеров. Используя приобретённые знания, впечатления, интуицию, и т.д., дизайнер генерирует идеи относительно того, как осуществить компоновку, усовершенствования или исправления. Наука является также базой для процесса художественного дизайна (конструирования). Знание (теоретическое, эмпирическое, гипотеза, и т.д.) может быть направлено на принятие решений в процессе художественного ди-

зайна. Рис. 2 показывает отношение между наукой, искусством и конструированием [2].

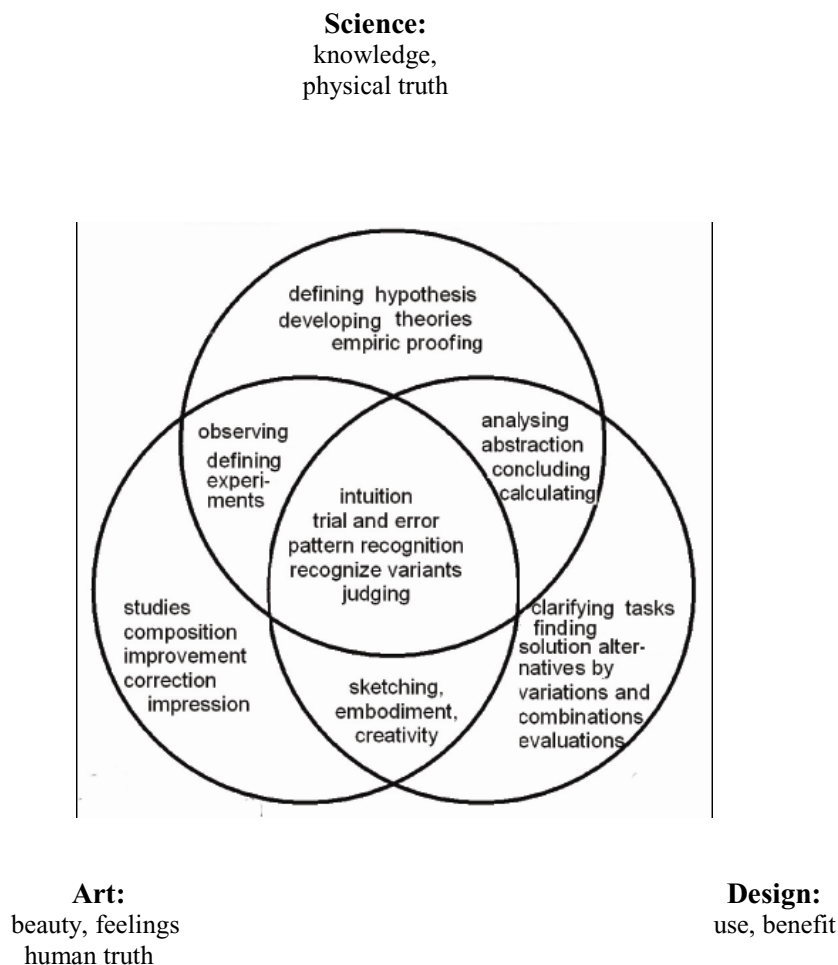


Рис.2. Главные цели и методы науки, дизайна и искусства [Franke H.J. – T.U. Braunschweig]

Некоторые авторы утверждают, что дизайн все более и более смещается от разработки к маркетингу. Это означает, что стратегии бизнеса компаний становятся все более тесно связанными со стратегиями промышленного дизайна. Мера эффективности дизайна – это число и частота его модификаций.

Транспортные особенности инженерного дизайна трактуются как транспортабельность, а промышленный дизайн рассматривает это с точки зрения упаковочного дизайна. Эксплуатацию разработанных систем инженерный дизайн гармонизирует с использованием условий, промышленный дизайн гармонизирован с использованием понятности. Согласно представлению на рис. 1, промышленный дизайн продолжает разработку упомянутых и других особенностей, начиная с особенностей, разработанных в инженерном дизайне. **В случаях продукции простой структуры весь процесс дизайна может быть выполнен промышленными дизайнерами. В этом случае, и возможно в случае более сложных систем, промышленные дизайнеры выполняют инженерные действия художественным способом, который может быть очень неправильным.** Цель рис. 1 состоит в том, чтобы показать большое взаимодействие инженерного и промышленного дизайна, и что инженерный дизайн нуждается в дополнительных действиях, которые являются специфичными для промышленного дизайна. Кроме того, **промышленный дизайн в случаях сложных систем, таких как системы в машиностроении, нуждается в сильной базе (знание и навыки), которая доступна инже-**

нерным дизайнерам. Продукция с высоким уровнем характеристик и качества, годная в условиях рыночной конкуренции, должна быть разработана в условиях согласованных действий инженеров и художников. С этой целью, оба они должны быть образованы так, чтобы стимулировать это сотрудничество.

Процесс проектирования

Традиционно процесс проектирования представляется как одно звено в цепи шагов.. Инженеру, который принимает на себя задачу осуществления проектирования, даётся программа требований, которым должно в конечном счете соответствовать изделие. Этот список требований также используется впоследствии, чтобы оценить проект, который осуществил инженер.

Каждая физическая система, спроектированная с определенной целью, является изделием. Велосипед является изделием, но таким же изделием является завод, мост и т.п. Все они являются физическими системами, хотя и в различных масштабах. Проектирование является разработкой и планированием такого изделия. Различные дисциплины имеют различные процессы проектирования, хотя они используют некоторые общие характеристики. Процесс проектирования может быть охарактеризован циклом проектирования [5], который описывает определенные шаги, представленные в каждом процессе проектирования (рис. 3).

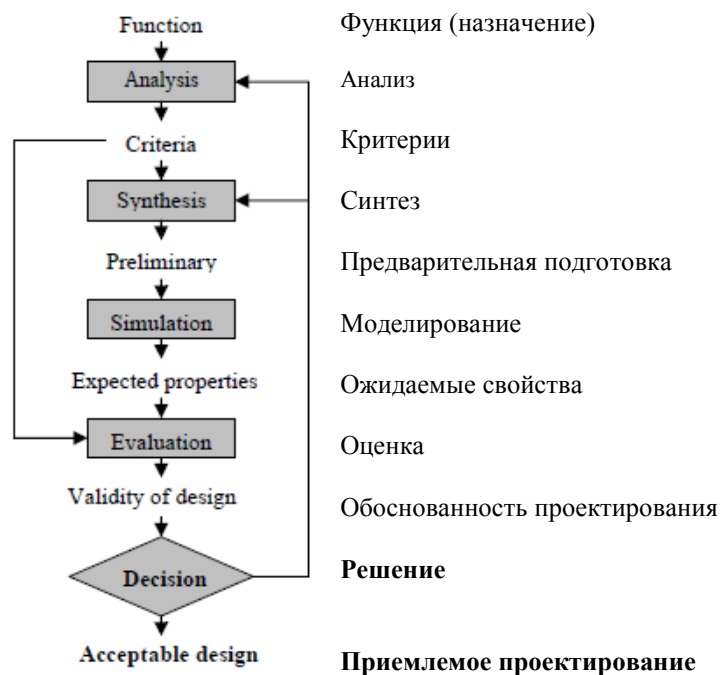


Рис.3. Цикл проектирования

У проектировщиков возникает сложная задача, поскольку они должны сосредоточиться на форме, особенностях, характеристиках, удобствах пользования, стиле, долговечности и надежности изделия. Дизайн может также рассматриваться как процесс конструирования изделия, где ключевое значение принадлежит предыдущему определению изделия как таковому. Особенно, когда при определении концепции изделия нужно учесть потребности пользователей, их запросы и предпочтения, так же как и выгоды, которые они ожидают от нового изделия.

Наука инженерного дизайна (конструирования)

Инженерный дизайн основан на определенных процедурах, методологии и теории. Исследования и применение их результатов пытаются установить определенные методы, которые могут вести от простой идеи к проекту в форме комплексной информационной структуры для производства, использования, обслуживания, утилизации, и т.д. Процедуры включают организацию знания, процесс организации, поток информации, стадии, операции и действия, которые ведут шаг за шагом к результату процесса конструирования. Процедуры могут быть очерчены в общем, в смысле конструкторского синтеза, в смысле конструкторского анализа и т.п. На рис.4 представлена общая процедура в конструкторском анализе с использованием методов DfX (Design for X) [6].

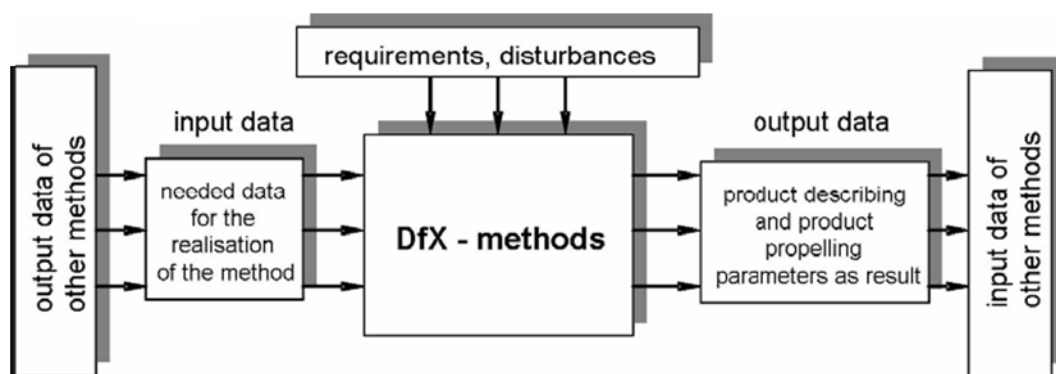


Рис. 4. Изображение процедуры метода DfX в Инженерном Дизайне
[Meerkamm H.- T.U. Erlangen]

Международная Конференция по Инженерному Дизайну ICED-07, состоявшаяся в Париже в августе 2007 г., дает очень простую структуру науки инженерного дизайна. Все презентации конференции были разделены на следующие группы: Оценка, Вычисление, Дизайн для X (DfX), Образование, Инновации, Знание, Организация, Теории и Методологии, Пользователь. Теоретическое размышление о разработке изделия или о процессе конструирования, философия и видение, основанные на событиях и интуиции, может быть вызовом и поддержкой новым методам или созданию изделий [2]. **Общей целью науки конструирования является создать процедуру, объединенную определенными методами, которые могут обеспечить преобразование достигнутого уровня знаний в технические решения.** В данный момент это преобразование выполнено преимущественно умственным подходом и при поддержке разработанных методов, которые могут использоваться для реализации определенных частей общего преобразования в процессе конструирования. Вычисления – важная область инженерного дизайна. **Численные и аналитические методы, анализ в комбинации с экспериментальными результатами обеспечивают данные для продвижения процесса конструирования. Преобразование данных, выполненное различными видами вычислений, представляет основную часть процессов преобразования в конструкторскую.** Идентификация знания, сбор, обработка, хранение, организация и использование являются предметом инженерии знаний, который является также специальной областью науки конструирования.

«Дизайн для X» (DfX) является набором методов, направленных на многие виды особенностей изделия, ограничения и условия, связанные с технологиями, рынком, нуждами пользователя и т.д. Эти методы предоставляют информацию, анализ, синтез и т.д. в определенных упомянутых областях. Комбинацией методов DfX может быть удовлетворена процедура для конкретной разработки изделия. Кроме того, при исполь-

зовании методов DfX возможно разработать более сложные методы конструирования, которые могут привести к изделиям с высокими характеристиками, например, Robust (прочностные) методы. В инженерном дизайне методы DfX являются вершиной конкретизации и применения, результаты в инженерном дизайне и промышленности подтверждают это.

Новшество содержит новые приложения подходов конструирования к новым индустриальным применениям и конструкторским решениям. Эти результаты являются проверкой разработанных методов, проверкой качества конструирования или усовершенствования применяемого подхода. Организация процесса конструирования и разработки изделия является также специальной отдельной областью науки конструирования.

Расположение конструкторской группы, сотрудничество группы, обязанности и т.д. должны быть выполнены так, чтобы гарантировать максимальную эффективность с минимумом времени. Управление процессом на маленьких или больших предприятиях. должно быть научно обосновано. Роль управления разработкой изделия выше и более сложна в сравнении с процессом конструирования. Это – область для специального поля деятельности в науке конструирования.

Теории и методологии процесса конструирования и разработка изделия должны быть главными результатами науки конструирования. Некоторые из разработанных методов дают хорошие результаты и могут быть улучшены или преобразованы в новые, которые могут быть более эффективными. Кроме того, пользователь и рынок нуждаются в целенаправленной политике разработки изделия, и они представляют собой важную область науки конструирования. Недостаточно разработать изделие, а очень часто необходимо развивать пользовательские потребности и рынок для определенного нового изделия. Вопросы, связанные с пользователем, вполне оправданы, чтобы быть отдельной и специфической областью науки конструирования. Кроме того, образование в инженерном дизайне нуждается в систематическом подходе. **Необходимо развивать специфическое мышление и многоцелевой подход. Это – причина того, почему наука конструирования развивается как специальное поле конструкторского образования, которое содержит определенные подходы, философию и методы.**

Особенности дизайна в машиностроении

Основные атрибуты машинных систем – это высокий уровень сложности, сложная форма компонентов, относительно высокие размеры, большое воздействие на среду и на людей непосредственно. Кроме того, сильные конструктивные ограничения выстраивают в ряд такие показатели, как высокий уровень нагрузочной способности, высокий уровень надежности, низкий уровень вибраций, шумов и других видов загрязнений. Вот почему **необходимо объединить процесс конструирования и процесс разработки изделия в набор подобластей, которые ведут к изделию высокого качества.** Образование, знание и навыки конструкторов в машиностроении должны быть объединены общими знаниями машиностроения, знаниями об инженерном дизайне и разработке изделия, знаниями об эргономике, бионике, эстетике, экологии, и т.д. Специальные знания об определенных машинных системах также приветствуются. Знания об инженерном дизайне содержат процесс конструирования (концептуальный дизайн, дизайн воплощения, дизайн для X), разработку машинных систем, принятие решений, специальные методы (очевидные или аксиоматические методы, методы оптимизации, и т.д.). Эти области знания должны обеспечить конструкторские навыки для определения изделия ради концептуального и конструкторского воплощения машинных систем.

Рис. 5 показывает концептуальную конструкцию и воплощённую конструкцию выбранной машинной системы [2]. Концептуальный дизайн определен в соответствии с эскизом, который содержит структуру частей машины и принцип действия (функционирования). Концептуальная стадия процесса конструирования включает следующий набор конструкторских операций:

функциональное определение структуры, выбор функциональных носителей (ходовых частей, рамы), создание конструкторского решения, и выбор оптимального концептуального решения. Преобразование концептуального дизайна в конструктивное воплощение выполнено рядом конструкторских операций и действий. **Группа операций является решающими операциями, такие как решение о выборе материалов для деталей машины, выбор формы деталей и выбор метода производства. Следующей группой операций является вычисление размеров деталей в комбинации с оптимизацией параметров деталей машины и принятие решения об этих параметрах. Конструктивное воплощение – высшая сложная стадия в процессе конструирования машинных систем.** Разработан набор специальных конструкторских методов, чтобы улучшить и ускорить эту конструкторскую стадию. Там имеются методы для моделирования формы деталей машин, оптимизации формы, аксиоматическое (очевидное) конструирование, параметрическая оптимизация конструкции, прочностное (robust) конструирование и т.д.

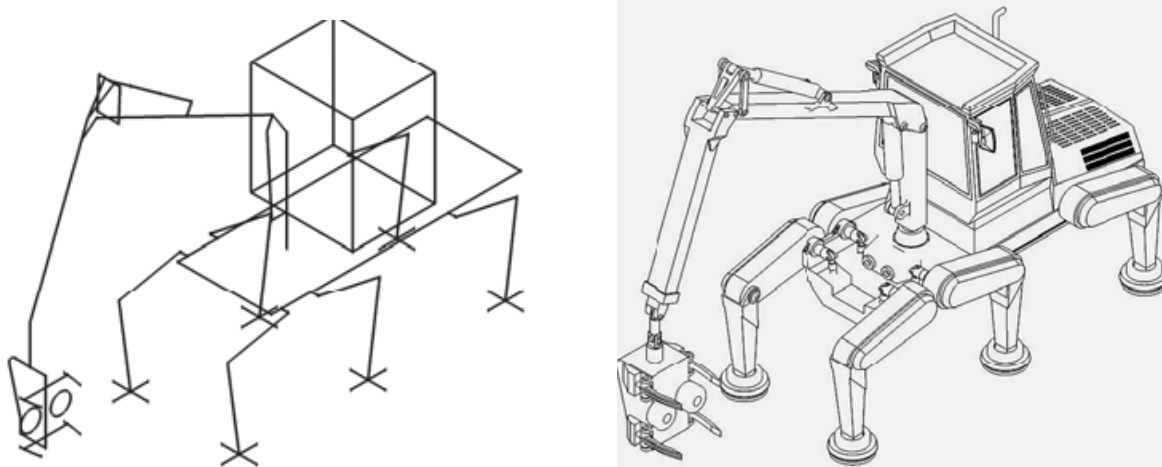


Рис.5. Концептуальное и конструкторское воплощение машинной системы

Бионика представляет собой преобразование биологических систем в технические системы. Многочисленные машинные системы были созданы преобразованием принципов, форм и т.д. биологических систем. Принципы управления, полета, плавания и т.д. могут быть взяты и преобразованы из животного мира или других биологических систем природы. Именно поэтому Бионика – важный аспект конструкторского образования в машиностроении.

Эргономика определяет отношение между функционированием технических систем и действиями человека. Особенно отношение между инструментальными средствами управления (регулирующие стержни, педали, дисплеи...) и позицией человека, который осуществляет управление, должно быть подходящим, эффективным, избавляя человека от усталости и неприятной работы. Места операторов являются основными компонентами, которые должны быть сконструированы эргономичным способом. Место должно быть со своего рода движением, с инструментальными средствами управления, с системами, которые могут защитить оператора, и т.д. Кроме того, кабина оператора должна быть адаптирована к действиям человека и быть удобной для длительной работы.

Это – очень важная часть конструирования в машиностроении. Эстетика изделия означает, что машинная система может доставить работающему удовольствие, уменьшить усталость, не нарушает гармонию между уже существующими биологическими и техническими системами и т.д. Форма, размеры и цвета – принцип эстетических особенностей машинных систем. Человеческое развитие продолжалось в течение очень долгого времени в естественной среде. Формы и цвета флоры, животных и т.д. создали человеческие чувства, которые должны быть поддержаны техническими (машинными) системами. Соотношения между размерами также определены в биологических системах, и если мы хотим конструировать эстетические изделия, то необходимо уважать эти соотношения.

Экология является областью, близко связанной с эстетическими, бионическими и эргономическими особенностями разработанных машинных систем. Эти системы должны быть гармонизированы с окружающей средой, не разрушать сложившуюся экологическую систему. Гармоничные отношения между почвой, водой, воздухом, животными, птицами, насекомыми, флорой, теплотой, и т.д. не должны быть разрушены техническими (механическими) системами как в короткое время, так в течение долгого времени системной эксплуатации.

В ISO14040 Life-Cycle Assessment (LCA) жизненный цикл изделия определён как “трансляция и оценка входов, выходов и потенциальных воздействий на окружающую среду в системе изделия в течение ее жизненного цикла”. Другими словами, LCA – это оценка цикла жизни (LCA), являющаяся систематической структурой для того, чтобы выполнить оценку всех воздействий на окружающую среду, связанных с изделием по его всему циклу жизни.

Проектируя для устойчивого развития, проектировщики должны принимать это во внимание в течение всего процесса проектирования. Самые важные решения относительно жизнеспособной разработки принимаются в начальной фазе процесса-анализа проектирования. Намного проще изменить техническое задание, чтобы улучшить жизнеспособность изделия, чем пытаться улучшить жизнеспособность уже законченного детального проекта.

Инженеры-механики, осуществляющие конструирование машинных систем, должны также быть вовлечены в представление о различных видах определенных машинных систем, например, металлорежущих станков, энергетических машин (двигатели, турбины...), средств передвижения (автомобили, суда), железнодорожного транспорта, электрических машин и т.д. Факультативные курсы должны обеспечить возможность студенту выбрать и изучить ряд различных видов машин или ряд одного вида машин. Некоторые из новых направлений в развитии технических систем, таких как мехатронные системы, должны быть тоже включены в процесс конструкторского образования.

Интерактивная визуализация

Системы для интерактивной визуализации совсем недавно начали получать широкое распространение [7]. Это вселяет большую надежду на установление процессов конструирования и методов, которые могут обеспечить машинным системам высококачественный уровень, согласованный со всеми упомянутыми ограничениями. Есть немногие группы систем и подходов, которые могут использовать конструкторы для визуализации сконструированных объектов и для интерактивного исправления. Инструментальными средствами, которые обеспечивают эту возможность, являются специальное программное обеспечение CAD, виртуальная реальность, трехмерная 3D печать (быстрое прототипирование или макетирование), трехмерные 3D образцы, и т.д. Моделирование формы обеспечивают проволоочные, контурные и твердотельные модели.

При использовании Неоднородных Базовых сплайнов (Non-uniform Basier Splines - NURBS) – НБС у методики моделирования есть очень хорошее интерактивное свойство, особенно в случаях свободных поверхностей формы (рис. 6). Кроме того, параметрическое моделирование, которое может быть выполнено программным обеспечением CAD высокого уровня, дает большую возможность для интерактивного варьирования, оптимизации, и эстетической гармонизации форм деталей машин. Возможность оживить (анимировать) разработанную систему (сборку) делает согласованность системы значительно шире.

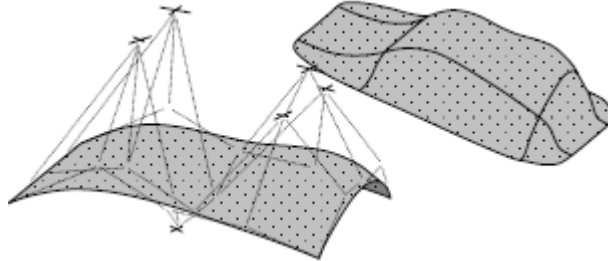


Рис. 6. Свободно сформированные параметризованные поверхности

Виртуальная реальность является возможностью представить модель части машины или машинной системы в реальном пространстве. Используя экраны, образованные из зеркал и проекторов, изображение модели представляется в реальном пространстве. Система может быть с единственным экраном, двойным экраном, и т.д. до шести экранов. Изображения одно- и многоэкранных систем должны быть синхронизированы соответствующим программным обеспечением, и изображение может быть ясно видимым при использовании стерео очков (обтюраторных стёкол). Взаимодействие и коррекция представленных моделей могут быть выполнены использованием соответствующих датчиков и интерактивных инструментальных средств, которые имеются у пользователя в очках и перчатках. На рис. 7 представлен только принцип этого действия [2]. Необходимо упомянуть, что для системы единственного экрана необходимо два зеркала и два проектора. Для многоэкранных систем нужно одно зеркало и проектор на один экран.

Печать в трехмерном пространстве 3D нуждается в материале, который может использоваться для объекта материализации. Это могут быть некоторые виды пластмасс или некоторые виды неметаллических или металлических порошков. Используя эту технологию, детали машин или узлы, изготовленные из этого материала, очень похожи на изготовленные методом спекания. Некоторые виды материалов имеют достаточную прочность, термостойкость, и т.д., чтобы быть использованными в реальной эксплуатации. Кроме того, эта технология очень подходит для интерактивной разработки формы. На рис.8 представлен один из трехмерных принтеров и результатов печати.

Сканер трехмерных объектов (рис.9) дает возможность создать ряд точек, которые покрывают поверхность сканируемого объекта. Существует взаимная связь между уже отсканированными и следующими точками.

Используя специальное программное обеспечение, ряд просканированных точек может быть преобразован в трехмерную модель объекта.

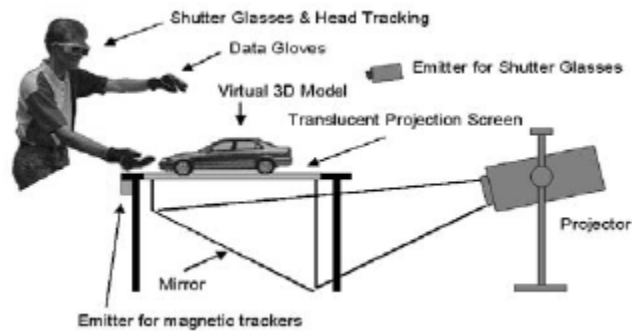


Рис.7. Принцип интерактивности в представлениях виртуальной реальности



Рис.8. 3D принтер и отпечатанные часть машины и узел (сборка)

Модель может быть вставлена в программу для трехмерной печати и печати отсканированного объекта. Это дает возможность размножать существующие объекты. Кроме того, это дает возможность переделывать объекты (детали машин) с повреждениями. Это даёт также возможность реализации обратной техники, то есть преобразования существующих конструкций в трехмерные модели или в чертежи, которые являются базой для производства.

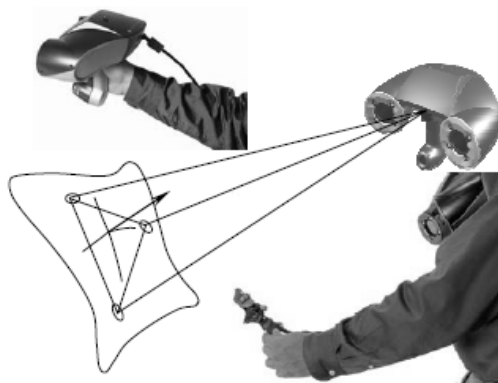


Рис.9. Механизм 3D сканера

Выводы

Машиностроительный дизайн и промышленный дизайн содержат те же самые области деятельности с различными объектами и различными подходами к реализации этих об-

ъектов. Дизайн в машиностроении включает все аспекты разработки машинных систем. По сравнению с другими техническими системами эти системы имеют сложную структуру и нуждаются в мультидисциплинарном подходе для их разработки. Разработка машинных систем содержит все методы и подходы в инженерном дизайне (концептуальный дизайн, дизайн воплощения, дизайн для X, очевидный (аксиоматический) дизайн, принятие решений...), включая эргономичные правила, правила бионики, и особенно эстетический дизайн. Системы для интерактивной визуализации оказывают сильную поддержку разработке машинных частей и систем с высокими эстетическими свойствами. Жизнеспособная разработка подразумевает, что изготовители промышленных изделий принимают во внимание всевозможные воздействия на окружающую среду на протяжении всего цикла жизни изделия, сосредотачиваясь не только на экологических загрязнителях во время производства изделия. Этот целостный подход является клавишей к минимизации потребления ресурсов, а также к сокращению числа экологических загрязнителей.

Список литературных источников

1. Biljana Markovic'. Design through Interorganisational Projects by Virtual Teams. KOD 2008. Proc. 5-th Intern. Symposium about Design in Mechanical Engineering. Serbia, Novi Sad, P.7-12.
2. Milosav Ognjanovic'. Design in Mechanical Engineering – Multidisciplinary Approach. KOD 2008. Proc. 5-th Intern. Symposium about Design in Mechanical Engineering. Serbia, Novi Sad, P.1-6.
3. P. Kotler. How to Create, Win and Dominate Markets. Adizes, Novi Sad, 2003, p.123.
4. Milan Gašovic'. Product Differentiation through Design. KOD 2008. Proc. 5-th Intern. Symposium about Design in Mechanical Engineering. Serbia, Novi Sad, P.21-24.
5. Roozenburg N.F.M. – Eekels J. Productontwerpen, structuuren methoden (Utrecht, the Netherlands. Lemma,1998).
6. BAUER, S., MEERKAMM, H., *Decision making with interdependent objectives inDesign for X*, Proc. of the Int. Conf. on Eng. Design ICED-2007, Paris, P. 23-24.
7. О.І. Пилипенко. Машинобудування і технології. Проблематика і тенденції розвитку. Вісник ЧДТУ №13, серія Технічні науки. Чернігів, 2001. – С.5-18.

УДК 539.3:534.1

В.Г.Дубенець, д-р техн. наук

О.В.Савченко, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ОПТИМАЛЬНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ПОЛОГИХ ОБОЛОНОК З КОМПОЗИЦІЙНИХ В'ЯЗКОПРУЖНИХ МАТЕРІАЛІВ

Розглядаються коливання пологих оболонок з композиційних матеріалів з неідеально-пружними властивостями і задачі оптимізації таких оболонок за критеріями максимального розсіяння енергії та швидкості затухання коливань.

Вступ

Оболонки з композиційних матеріалів широко застосовуються у конструкціях різного призначення у космічній, авіаційній, ракетній галузях тощо. Перевагами таких оболонок перед однорідними є можливість забезпечення необхідних характеристик, зокрема вібраційних, шляхом зміни параметрів армування, що порівняно легко реалізується при виготовленні оболонок. Задачі динаміки оболонок із композиційних матеріалів розглядалися багатьма авторами [1, 2, 3, 4], однак у більшості випадків матеріал оболонки вважався ідеально-пружним, і основна увага приділялася дослідженню спектрів власних частот. Між тим відомо, що неідеально-пружні властивості матеріалу крім того, що, в основному, визначають поведінку конструкції при вимушених коливаннях, також суттєво впливають і на спектральні характеристики, і на швидкість затухання коливань, які виникають при дії короткочасних навантажень.

Метод розрахунку конструкцій з в'язкопружних матеріалів

Для конструкцій, виготовлених з армованого волокнами лінійного в'язкопружного матеріалу, фізичні рівняння можна записати у вигляді інтегралів Больцмана-Вольтерра

$$\sigma(t) = \int_0^t R(t-\tau) \frac{d\varepsilon}{d\tau} d\tau,$$

або згортки

$$\sigma_t = R * \dot{\varepsilon}_t, \quad (1)$$

де σ, ε – вектори напружень і деформацій; $R(t-\tau)$ – матриця функцій релаксації; t – час; $\dot{\varepsilon} \equiv \frac{d\varepsilon}{dt}$.

У першу чергу, до таких матеріалів можна віднести матеріали на полімерній основі, проте, як показано у [5], при відповідному виборі функцій релаксації рівняння (1) можна застосувати і до інших матеріалів, у яких залежність розсіяння енергії від амплітуди виявляється слабо.

Передбачається, що ефективні характеристики композитного матеріалу знайдено одним із прийнятих способів усереднення, зокрема, запропонованим у роботах [6, 7].

Для одержання рівнянь динаміки скористаємося варіаційним рівнянням Лагранжа у згортках [7]:

$$\int_V g * \delta \varepsilon_t * \sigma_t dV + \int_V \delta u_t * \rho u_t dV - \int_S g * \delta u_t * p dS - \int_V \delta u_t * f dV = 0, \quad (2)$$

де $f = t\rho \dot{u}_{0t} + \rho u_{0t}$, $g \equiv t$; ρ – матриця густини матеріалу; $\varepsilon_t, \sigma_t, u_t, p$ – вектори, відповідно, деформацій, напружень, переміщень і зовнішніх сил; $\dot{u}_{0t}, u_{0t}$ – початкові умови для векторів швидкостей і переміщень.

Напруження і деформації визначаються залежностями

$$\sigma_t = R * \dot{\varepsilon}_t, \quad \varepsilon_t = Au, \quad (3)$$

де A – матричний диференціальний оператор Коші.

Після підстановки (3) у (2), одержимо рівняння динаміки

$$g * \tilde{K} * \dot{q}_t + Mq_t - g * F - M\dot{q}_{0t} - Mq_{0t} = 0, \quad (4)$$

де

$$\tilde{K} = \int_V (AN)^T R(AN) dV, \quad M = \int_V N^T \rho N dV, \quad F = \int_S N^T p dS. \quad (5)$$

Застосовуючи до (4) пряме перетворення Фур'є, одержимо рівняння відносно зображень переміщень q_ω

$$K(i\omega)q_\omega + (i\omega)^2 Mq_\omega = F(i\omega) + M\dot{q}_{0t} + (i\omega)Mq_{0t}, \quad (6)$$

де

$$K(i\omega) = \int_V (AN)^T C(i\omega)AN dV, \quad F(i\omega) = \Phi(F(t)), \quad q_\omega = \Phi(q_t), \quad (7)$$

$C(i\omega)$ – матриця комплексних модулів матеріалу; t – час; $\dot{q}_{0t}, q_0$ – відповідно, початкові швидкість і переміщення. Таким чином, для одержання рівнянь у просторі перетворень Фур'є необхідно побудувати матрицю динамічної жорсткості

$$Z(i\omega) = K(i\omega) + (i\omega)^2 M \quad (8)$$

і знайти пряме перетворення Фур'є діючого навантаження $F(i\omega)$.

Одержане рівняння (6) має дві істотні переваги: безпосередньо враховує початкові умови, накладені на переміщення і швидкості вузлів, і дозволяє використовувати комплексні модулі, найбільш просто визначувані експериментально. Матриця жорсткості має таку ж структуру, що і в статичі, у зв'язку з чим рівняння скінченно-елементної моделі доцільно складати безпосередньо у просторі перетворень Фур'є. При цьому компоненти матриці комплексних модулів композиційного матеріалу визначаються за відомими, одержаними експериментально комплексними модулями матеріалів, які складають композит. Включення початкових умов для переміщень відкриває відомі перспективи розв'язання задач із заданими ненульовими початковими умовами.

Після одержання розв'язку рівнянь (6) відносно q_ω

$$q_\omega = Z(i\omega)^{-1} (F(i\omega) + M\dot{q}_{0t} + i\omega Mq_{0t}) \quad (9)$$

розв'язок для переміщень у часовому просторі доцільно визначати за допомогою швидкого перетворення Фур'є (ШПФ).

Математична модель коливань пологої оболонки

Розглянемо довільний шар оболонки з композиційного матеріалу, матриця комплексних модулів якого розраховується у відповідності з методикою, наведеною у [6, 7], і відповідає ортотропному матеріалу (рис. 1, а).

Припустимо, що залежність переміщень від координати z у межах шару товщиною h можна апроксимувати за допомогою поліномів Лагранжа [6, 7]

$$u_z = N_z U, \quad (10)$$

де u_z – вектор переміщень точки шару з координатою z ;

$$u_z = [u \quad v \quad w]^T;$$

U – вектор переміщень точок на інтерполяційних (вузлових) поверхнях (рис. 1, б)

$$U = [u_i \quad v_i \quad w_i \quad u_j \quad v_j \quad w_j \quad u_m \quad v_m \quad w_m]^T;$$

N_z – матриця функцій інтерполяції

^{*}) Далі індекс ω у позначеннях змінних у просторі перетворень Фур'є опущено.

$$N_z = \begin{bmatrix} N_{zi} & & N_{zj} & & N_{zm} \\ & N_{zi} & & N_{zj} & & N_{zm} \\ & & N_{zi} & & N_{zj} & & N_{zm} \end{bmatrix}, \quad (11)$$

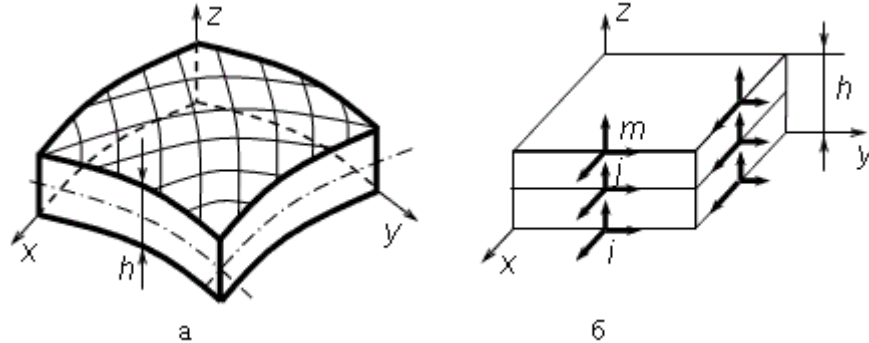


Рис. 1. Шар оболонки з композиційного матеріалу (а), апроксимація переміщень по товщині шару (б)

При параболічній апроксимації переміщень по координаті z елементи матриці N_z вибирають у вигляді

$$N_{zi} = \left(\frac{2z}{h} - 1 \right) \left(\frac{z}{h} - 1 \right), \quad N_{zj} = \frac{4z}{h} \left(1 - \frac{z}{h} \right), \quad N_{zm} = \frac{z}{h} \left(\frac{2z}{h} - 1 \right), \quad (i \leftrightarrow j, j \leftrightarrow m).$$

У випадку більш простої лінійної апроксимації вузол j опускається. Як правило, необхідність у більш складній апроксимації, ніж лінійна, для тонких шарів не виникає, тим більше, що товщину шару можна вибрати у залежності від конкретних обставин, тобто шар, який розглядається, є розрахунковим і не обов'язково фізичним. Лінійні функції інтерполяції мають вигляд

$$N_{zi} = 1 - \frac{z}{h}, \quad N_{zm} = \frac{z}{h}. \quad (12)$$

Можна показати, що останній варіант аналогічний теорії С.П.Тимошенка, яка враховує деформації зсуву по товщині, якщо нехтувати деформаціями розтягу-стиску по осі z .

Деякі переваги використання поліномів Лагранжа пов'язані із спрощенням умов з'єднання шарів у багатошарових структурах.

Деформації й напруження у точках шару запишемо, вважаючи, що моделювання проводиться у просторі інтегральних перетворень Фур'є, тобто кінематичні і фізичні параметри є комплексними величинами:

$$\varepsilon = Au_z = AN_zU, \quad \sigma = CAN_zU, \quad (13)$$

де A – матриця диференціальних операторів, відповідна оболонці конкретної форми. Зокрема, для пологої оболонки матриця A має вигляд:

$$A_{II} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial z} & \frac{\partial}{\partial y} \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 & \frac{\partial}{\partial z} & 0 & \frac{\partial}{\partial x} \\ k_1 & k_2 & \frac{\partial}{\partial z} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} & 0 \end{bmatrix}^T, \quad \left(k_1 = \frac{1}{R_1}, k_2 = \frac{1}{R_2} \right), \quad (14)$$

де R_1, R_2 – радіуси кривизни у головних площинах (рис. 2).

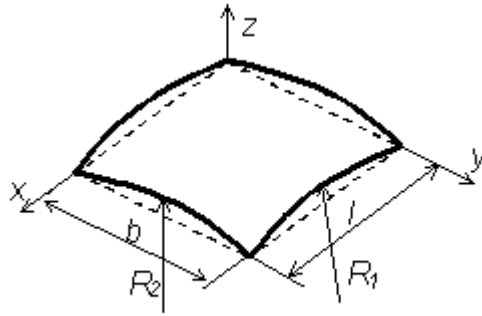


Рис. 2. Розрахункова схема пологої оболонки

Для апроксимації переміщень по осях x, y використаємо функції форми, які відповідають граничним умовам:

$$U = N_{xy} q, \quad (15)$$

де q – вектор узагальнених переміщень,

N_{xy} – матриця функцій апроксимації переміщень по координатах x, y

$$N_{xy} = \begin{bmatrix} N_{xyi}^{(1)} & N_{xyi}^{(2)} & N_{xyi}^{(r)} \\ N_{xyj}^{(1)} & N_{xyj}^{(2)} & \dots & N_{xyj}^{(r)} \\ N_{xym}^{(1)} & N_{xym}^{(2)} & \dots & N_{xym}^{(r)} \end{bmatrix},$$

$$q = \begin{bmatrix} q_i^{(1)} & q_j^{(1)} & q_m^{(1)} & q_i^{(2)} & q_j^{(2)} & q_m^{(2)} & \dots & q_i^{(r)} & q_j^{(r)} & q_m^{(r)} \end{bmatrix}^T,$$

$$N_{xy}^{(s)} = \begin{bmatrix} N_{ui}^{(s)} \\ N_{vi}^{(s)} \\ N_{wi}^{(s)} \end{bmatrix}, \quad q_i^{(s)} = \begin{bmatrix} q_{ui}^{(s)} & q_{vi}^{(s)} & q_{wi}^{(s)} \end{bmatrix}, \quad (16)$$

$$(s = 1, 2, \dots, r), (i \leftrightarrow j, i \leftrightarrow m).$$

Функції N_{xy} можуть вибиратися у класі функцій, глобально означених в об'ємі конструкції, що характерно для методу Рітца, або кусково-неперервними відповідно до методу скінченних елементів.

З урахуванням (10), (15) далі одержимо

$$u_z = N_{xyz} q, \quad (17)$$

де N_{xyz} – матриця функцій апроксимації переміщень по осях x, y, z

$$N_{xyz} = \begin{bmatrix} N_i^{(1)} & N_j^{(1)} & N_m^{(1)} & N_i^{(2)} & N_j^{(2)} & N_m^{(2)} & \dots & N_i^{(r)} & N_j^{(r)} & N_m^{(r)} \end{bmatrix}, \quad (18)$$

$$N_i^{(s)} = N_{zi} \cdot N_{xyi}^{(s)}, \quad N_j^{(s)} = N_{zj} \cdot N_{xyj}^{(s)}, \quad N_m^{(s)} = N_{zm} \cdot N_{xym}^{(s)}.$$

Рівняння коливань пологої оболонки (6) при нульових початкових умовах має вигляд

$$Z(i\omega)q = F(i\omega), \quad (19)$$

де $Z(i\omega)$ – комплексна матриця динамічної жорсткості

$$Z(i\omega) = (i\omega)^2 M + K(i\omega), \quad (20)$$

$F(i\omega)$, q – зображення Фур'є, відповідно, зовнішніх сил і узагальнених координат;

M – матриця мас;

$K(i\omega)$ – комплексна матриця жорсткості;

$$K = \int_V (AN_{xyz})^T C(AN_{xyz}) dV, \quad M = \int_V N_{xyz}^T \rho N_{xyz} dV, \quad F = \int_{S_l} N_{xy}^T P dS, \quad (21)$$

P – вектор навантажень на вузлових поверхнях

$$P = [P_{xi} \ P_{yi} \ P_{zi} \ P_{xj} \ P_{yj} \ P_{zj} \ P_{xm} \ P_{ym} \ P_{zm}]^T.$$

Після підстановки (18) у (21) одержимо матриці жорсткості і мас розмірами $(9r \times 9r)$ і матрицю зовнішніх навантажень розміром $(9r \times 1)$ при параболічній апроксимації по осі z . Характерні блоки цих матриць мають вигляд:

$$M^{(st)} = \begin{bmatrix} M_{ii}^{(st)} & M_{ij}^{(st)} & M_{im}^{(st)} \\ M_{ji}^{(st)} & M_{jj}^{(st)} & M_{jm}^{(st)} \\ M_{mi}^{(st)} & M_{mj}^{(st)} & M_{mm}^{(st)} \end{bmatrix}, \quad K^{(st)} = \begin{bmatrix} K_{ii}^{(st)} & K_{ij}^{(st)} & K_{im}^{(st)} \\ K_{ji}^{(st)} & K_{jj}^{(st)} & K_{jm}^{(st)} \\ K_{mi}^{(st)} & K_{mj}^{(st)} & K_{mm}^{(st)} \end{bmatrix}, \quad F^{(s)} = \begin{bmatrix} F_i^{(s)} \\ F_j^{(s)} \\ F_m^{(s)} \end{bmatrix}, \quad (22)$$

$$M_{ij}^{(st)} = \int_V N_i^{(s)T} \rho N_j^{(t)} dV, \quad K_{ij}^{(st)} = \int_V (AN_i^{(s)})^T C(AN_j^{(t)}) dV, \quad (23)$$

$$F_i^{(s)} = \int_S N_i^{(s)T} P dS, \quad (i \leftrightarrow j, \ i \leftrightarrow m), (s = 1, 2, \dots, r, \ t = 1, 2, \dots, r).$$

Для багатошарової оболонки матрицю динамічної жорсткості можна одержати синтезом окремих матриць $Z_k(i\omega)$ з урахуванням умов з'єднання шарів. Якщо розділити вектор переміщень k -го шару $q^{(k)}$ на блоки у відповідності з індексами i, m

$$q^{(k)} = \begin{bmatrix} q_i^{(k)} & q_m^{(k)} \end{bmatrix}^T, \quad (24)$$

то умови з'єднання шарів можна записати як умови рівності переміщень на поверхнях контакту шарів

$$q_m^{(k)} = q_i^{(k+1)}, \quad (k = 1 \dots r). \quad (25)$$

Рівняння, яке при цьому одержуємо, за формою не відрізняється від (20). Принципово можливо одержати спочатку редуційовані матриці $Z_k(i\omega)$ (при параболічній апроксимації переміщень) шляхом виключення переміщень на вузловій поверхні j . Матриця $Z_k(i\omega)$ для k -го шару набуде вигляду:

$$Z_k(i\omega) = \begin{bmatrix} Z_{ii} & Z_{ij} & Z_{im} \\ Z_{ji} & Z_{jj} & Z_{jm} \\ Z_{mi} & Z_{mj} & Z_{mm} \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} (Z_{ii} - Z_{ij}Z_{jj}^{-1}Z_{ji}) & (Z_{im} - Z_{ij}Z_{jj}^{-1}Z_{jm}) \\ (Z_{mi} - Z_{mj}Z_{jj}^{-1}Z_{ji}) & (Z_{mm} - Z_{mj}Z_{jj}^{-1}Z_{jm}) \end{bmatrix}. \quad (26)$$

Одержана таким способом редуційована матриця зберігає, на відміну від інших способів конденсації, усі динамічні властивості вихідної матриці.

Для аналізу розсіяння енергії необхідно розглянути нелінійну задачу на власні значення

$$Z(i\omega)q = 0. \quad (27)$$

Власні числа і вектори матриці $Z(i\omega)$ можна визначити за методикою, запропонованою у [7]. Декремент коливань, відповідний вибраній формі, визначається як відношення втраченої енергії до подвоєної потенціальної

$$\delta = \frac{\Delta W}{2W} = \pi \frac{q^H Z''(\omega) q}{q^H Z'(\omega) q}, \quad (28)$$

де q – власні вектори матриці $Z(i\omega)$;

$Z'(\omega), Z''(\omega)$ – дійсна й уявна частини матриці $Z(i\omega)$;

h – знак ермітового транспонування.

Декремент коливань може бути визначений і за відомими значеннями власних значень (комплексних частот) матриці $Z(i\omega)$:

$$\delta_k = \pi \cdot \arctg \frac{\omega_k''}{\omega_k'} \approx 2\pi \frac{\omega_k''}{\omega_k'}, \quad (29)$$

де $\omega_k = \omega_k' + i\omega_k''$ – комплексна частота коливань, відповідна k -й формі.

Приклади розрахунку оболонок оптимальної структури

Розглянемо приклади розрахунку пологої оболонки з шарнірно закріпленими кінцями. Функції апроксимації переміщень у координатах x, y для m, n -ї форми коливань запишемо у вигляді:

$$N_{xyu} = \cos \alpha x \sin \beta y, \quad N_{xyv} = \sin \alpha x \cos \beta y, \quad N_{xyw} = \sin \alpha x \sin \beta y,$$

$$\left(\alpha = \frac{m\pi}{l}, \quad \beta = \frac{n\pi}{b}, \quad m, n = 1, 2, \dots \right).$$

Відповідно до цього матриці динамічної жорсткості для лінійної й параболічної апроксимацій переміщень по товщині шару можна записати у вигляді блочних матриць. Кожний блок має розмір 3×3 .

Z_{ii}	Z_{ij}	Z_{im}	Z_{ii}	Z_{im}
Z_{ji}	Z_{jj}	Z_{jm}	Z_{mi}	Z_{mm}
Z_{mi}	Z_{mj}	Z_{mm}		

Компоненти блоків будуть такими:

$$Z_{ij}^{11} = a_{ij} (C_{11}\alpha^2 + C_{66}\beta^2) + C_{55}s_{ij} - \rho a_{ij}\omega^2, \quad Z_{ij}^{12} = a_{ij}\alpha\beta(C_{11} + C_{66}), \quad Z_{ij}^{21} = Z_{ij}^{12},$$

$$Z_{ij}^{13} = -\alpha(C_{11}k_1a_{ij} + C_{12}k_2a_{ij} + C_{13}g_{ij}) + C_{55}b_{ij}\alpha,$$

$$Z_{ij}^{31} = -\alpha(C_{11}k_1a_{ij} + C_{21}k_2a_{ij} + C_{13}g_{ij}) + C_{55}b_{ij}\alpha,$$

$$Z_{ij}^{22} = a_{ij} (C_{22}\beta^2 + C_{66}\alpha^2) + C_{44}s_{ij} - \rho a_{ij}\omega^2,$$

$$Z_{ij}^{23} = -\beta(C_{21}k_1a_{ij} + C_{22}k_2a_{ij} + C_{23}g_{ij}) + C_{44}b_{ij}\beta,$$

$$Z_{ij}^{32} = -\beta(C_{12}k_1a_{ij} + C_{22}k_2a_{ij} + C_{32}b_{ij}) + C_{44}g_{ij}\beta,$$

$$Z_{ij}^{33} = C_{11}k_1^2a_{ij} + C_{12}k_1k_2a_{ij} + C_{13}k_1g_{ij} + C_{21}k_1k_2a_{ij} + C_{22}k_2^2a_{ij} + C_{23}k_2g_{ij} + C_{31}k_1b_{ij} + C_{32}k_2b_{ij} + \\ + C_{33}s_{ij} + C_{44}\beta^2a_{ij} + C_{55}\alpha^2a_{ij} - \rho a_{ij}\omega^2, \quad (i \leftrightarrow j, i \leftrightarrow m),$$

де коефіцієнти $a_{ij}, b_{ij}, s_{ij}, g_{ij}$ визначаються з таблиць, поданих нижче.

Для параболічної апроксимації

$$a_{ij} = \begin{array}{c|ccc} & i & j & m \\ \hline i & 2h/15 & h/15 & -h/30 \\ j & h/15 & 8h/15 & h/15 \\ m & -h/30 & h/15 & 2h/15 \end{array} \quad g_{ij} = \begin{array}{c|ccc} & i & j & m \\ \hline i & -1/2 & 2/3 & -1/6 \\ j & -2/3 & 0 & 2/3 \\ m & 1/6 & -2/3 & 1/2 \end{array}$$

$$s_{ij} = \begin{array}{c|ccc} & i & j & m \\ \hline i & 7/3h & -8/3h & 1/3h \\ j & -8/3h & 16/3h & -8/3h \\ m & 1/3h & 8/3h & 7/3h \end{array} \quad b_{ij} = g_{ij}$$

Для лінійної апроксимації переміщень

$$a_{im} = \begin{array}{c|cc} & i & m \\ \hline i & h/3 & h/6 \\ m & h/6 & h/3 \end{array} \quad g_{im} = \begin{array}{c|cc} & i & m \\ \hline i & 1/2 & 1/2 \\ m & 1/2 & 1/2 \end{array} \quad s_{im} = \begin{array}{c|cc} & i & m \\ \hline i & 1/h & 1/h \\ m & 1/h & 1/h \end{array}$$

$$b_{im} = g_{im}$$

Як уже згадувалося вище, при необхідності синтезу багат шарової оболонки матриці динамічної жорсткості об'єднуються у відповідності з кінематичними умовами.

Зазначимо, що при необхідності розгляду коливань пластин у компонентах матриць для пологої оболонки достатньо видалити доданки з кривизнами k_1, k_2 .

Далі розглядається одношарова оболонка, для більш чіткого виявлення впливу структури армування на параметри коливань.

Параметри оболонки:

– габаритні розміри оболонки $L = 2 \text{ м}, B = 2 \text{ м}$, кривизни: $k_1 = 0,001 \text{ 1/м}, k_2 = 0,001 \text{ 1/м}$;

– середня густина матеріалу $\rho = 2,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$;

– комплексні модулі:

армуючого матеріалу – $K_1 = 4 \cdot 10^{11} + 4 \cdot 10^8 i, G_1 = 0,8 \cdot 10^{11} + 0,8 \cdot 10^8 i \text{ Па}$,

основи – $K_2 = 4 \cdot 10^9 + 4 \cdot 10^8 i, G_2 = 0,8 \cdot 10^9 + 0,8 \cdot 10^8 i \text{ Па}$.

На рис. 4 наведено характерні залежності декрементів коливань для пологої оболонки з композиційного ортотропного матеріалу від конструктивних параметрів, зокрема від кута і коефіцієнта армування, при коливаннях за двома формами. Екстремальний характер залежностей свідчить про можливість вибору оптимальних параметрів для досягнення максимального демпфірування.

На рис. 5 наведено осцилограми коливань оболонок з довільними (а) і оптимальними (б) значеннями кута і коефіцієнта армування, які забезпечують максимальне значення декременту на першій формі коливань. Для знаходження оптимальних значень параметрів армування використано пошуковий метод, побудований на основі програми Patternsearch математичного пакета Matlab, яка в усіх випадках знаходила глобальний максимум.

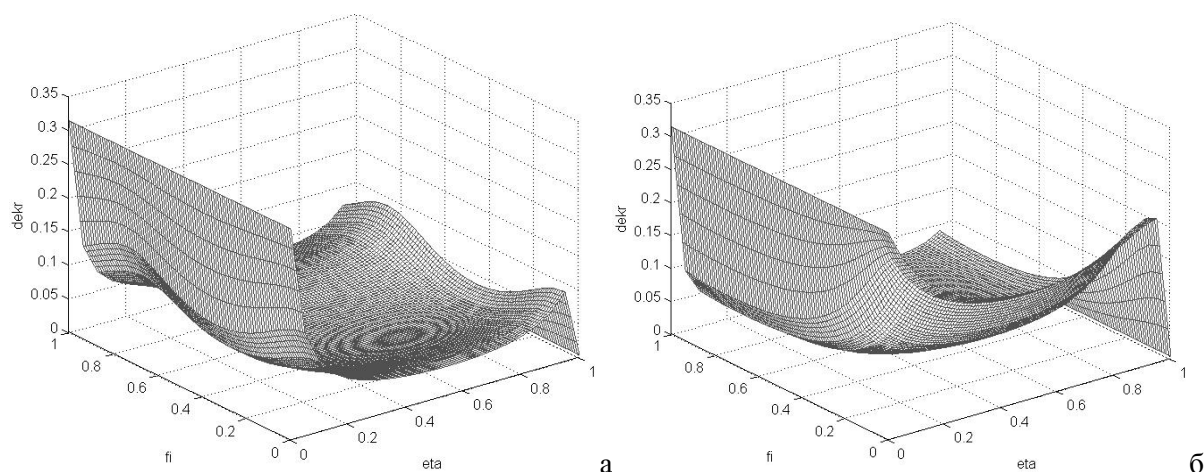


Рис. 4. Залежності декрементів коливань пологої оболонки з армованого волокнами матеріалу ортотропної структури від кутів $fi \cdot 2/\pi$ і коефіцієнтів армування eta для двох форм коливань: а) $m=1, n=1$; б) $m=2, n=4$

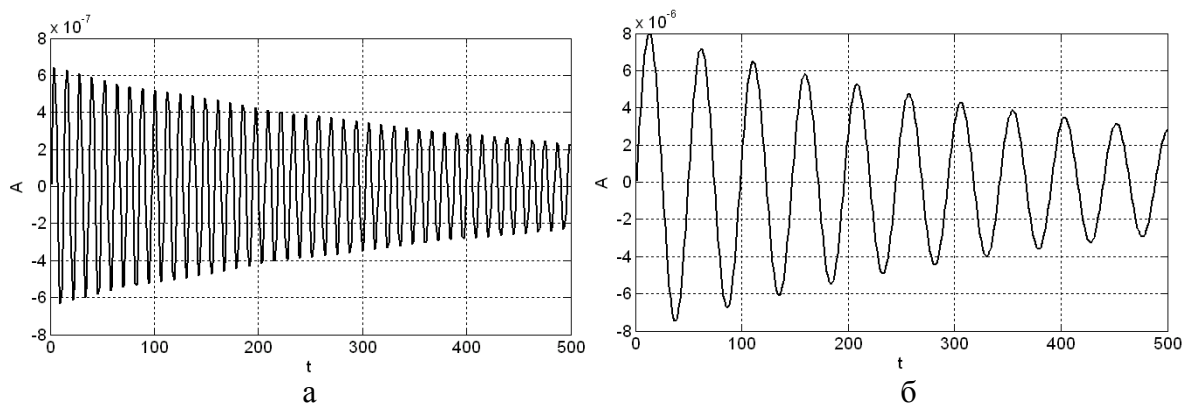


Рис. 5. Осцилограми коливань оболонки по першій формі з декрементами коливань $\Delta = 0,042$ (а) і $\Delta = 0,104$ (б)

Разом з тим виявляється, що аналіз результатів оптимізації за критерієм максимального розсіяння енергії, зокрема декременту коливань, не завжди приводить до конструкції, оптимальної за критерієм швидкості затухання коливань, і не повністю враховує параметри жорсткості оболонки, що приводить до неконтрольованої зміни частоти коливань. Як відомо, декремент коливань Δ пов'язаний зі швидкістю затухання коливань залежністю

$$\Delta = \frac{2\pi}{\omega a} \frac{da}{dt},$$

де ω – частота, a – амплітуда коливань, t – час.

Звідси швидкість затухання коливань – $\frac{da}{dt} = \frac{a}{2\pi} \Delta \omega$, тобто швидкість затухання коливань пропорційна добутку частоти і декременту коливань при даній величині амплітуди коливань. Очевидно, добуток $\Delta \omega$ можна використати як критерій швидкості затухання коливань. На рис. 6 наведено залежності добутку $\Delta \omega$ від параметрів армування оболонки, які свідчать про можливість знаходження оптимальних значень цього параметра.

На рис. 7 наведено осцилограми коливань оболонки по першій формі ($m=1, n=1$), які свідчать про доцільність використання комплексного критерію $\Delta \omega$ для побудови оболонок з максимальною швидкістю затухання коливань.

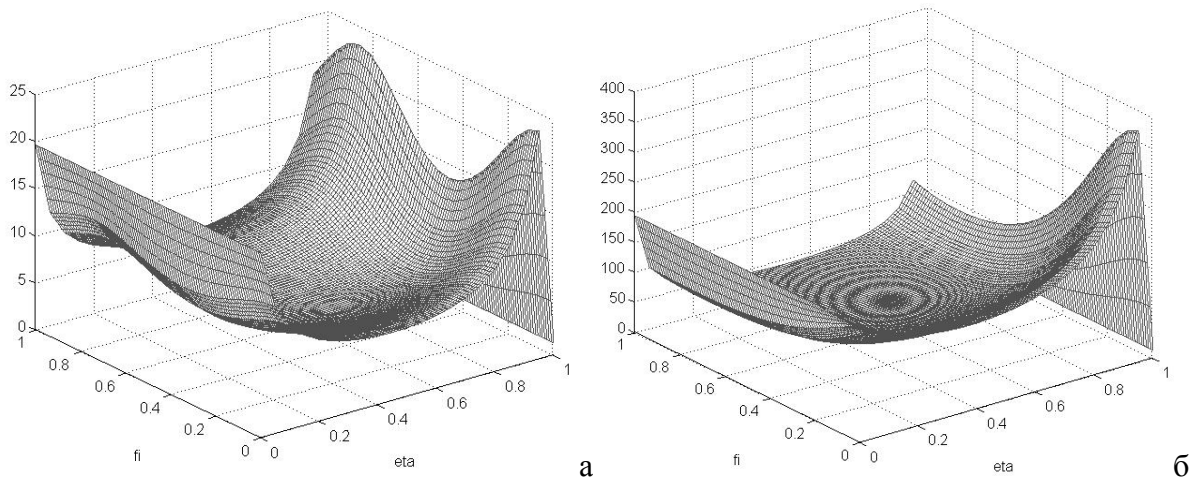


Рис. 6. Залежності добутку $\Delta\omega$ від кутів $f_i \cdot 2/\pi$ і коефіцієнтів армування η для двох форм коливань:
а) $m = 1, n = 1$; б) $m = 2, n = 4$

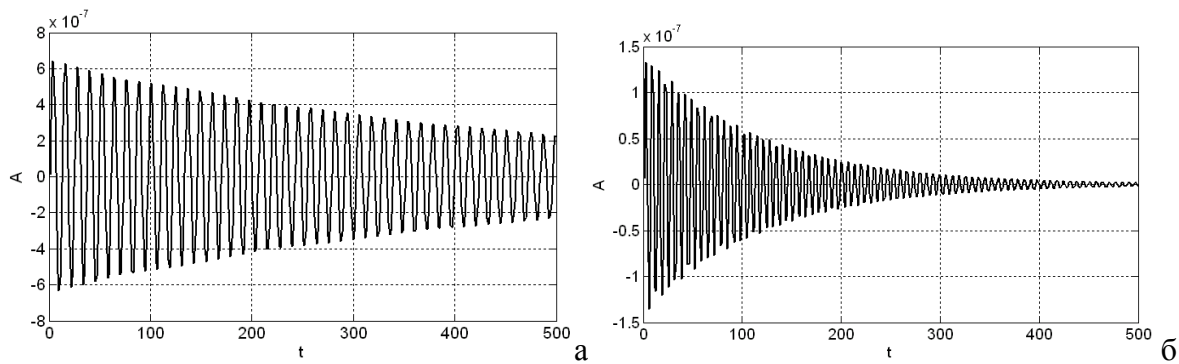


Рис. 7. Осцилограми коливань оболонки з довільним $\Delta\omega$ (а) і оптимальним $\Delta\omega_{opt}$ (б) параметрами армування

Висновки

Одержані результати свідчать про ефективність використання методики аналізу і оптимізації оболонок із композиційних матеріалів, яку побудовано на частотному варіанті напіваналітичного методу скінченних елементів (ЧМСЕ) і пошукових методах теорії нелінійного програмування. Необхідно також наголосити на доцільності комплексного підходу до вибору критеріїв оптимізації, які б ураховували, окрім демпфірування, також параметри жорсткості, міцності і маси.

Список літературних джерел

1. Болотин В.В., Новичков Ю.И. Механика многослойных конструкций. – М.: Машиностроение, 1980. – 375 с.
2. Васильев В.В. Механика конструкций из композиционных материалов. – М.: Машиностроение, 1988. – 272 с.
3. Композиционные материалы: справочник. – М.: Машиностроение, 1990. – 810 с.
4. Пискунов В.Г., Рассказов А.О. Развитие теории слоистых пластин и оболочек // Прикладная механика. – 2002. – № 2. – С. 22-56.
5. Сорокин Е.С., Муравский Г.Н. Об учете упругих несовершенств материалов методами теории наследственной упругости // Строительная механика и расчет сооружений, 1975. – № 4. – С. 52-58.
6. Савченко Е.В. Пассивное демпфирование колебаний композитных конструкций: монография. – Нежин: ООО “Видавництво “Аспект-Поліграф”, 2006. – 232 с.
7. Дубенец В.Г., Хильчевский В.В. Колебания демпфированных композитных конструкций. – Київ: Вища школа, 1995. – Т. 1. – 226 с.

УДК 539.3:539.4

В.Ю. Грицюк, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

РОЗРАХУНОК УДАРУ ТІЛОМ ПО БАЛКАХ З ПРОМІЖНИМИ ПРУЖНО ДЕФОРМІВНИМИ ОПОРАМИ

Відомий розрахунок С.П.Тимошенка поперечного удару тілом по шарнірно опертій балці узагальнюється на випадок поперечного удару тілом по шарнірно опертій балці з проміжними пружно деформівними опорами.

Вступ

Дана робота є узагальненням роботи [1] для випадку наявності проміжних пружно деформівних опор шарнірно опертої балки.

Математична модель

Розглянемо удар тілом по шарнірно опертій балці довжиною l з двома проміжними пружно деформівними опорами (рисунок 1, а). У загальному випадку залежності $\alpha(F_1)$ і $\alpha(F_2)$ абсолютних лінійних деформацій опор від зусиль $F_1(t)$ (ліва проміжна опора) і $F_2(t)$ (права проміжна опора) нелінійні. Залежність $\alpha(P)$ абсолютної контактної деформації у місці взаємодії тіла і балки від сили контактної взаємодії $P(t)$ також нелінійна.

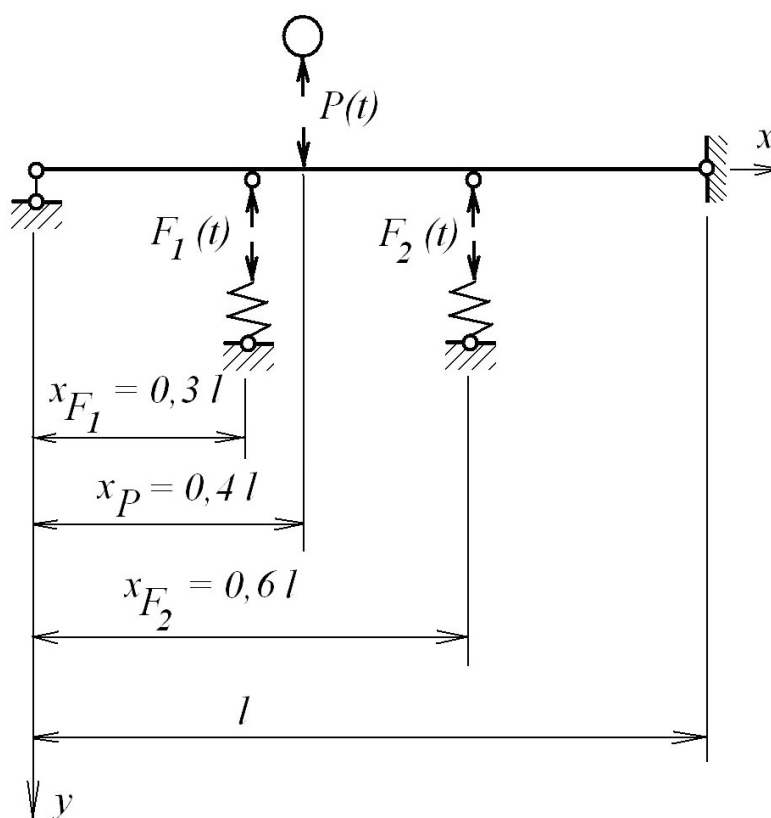


Рис. 1. Розрахункова схема балки

Сили $P(t)$, $F_1(t)$ і $F_2(t)$, які залежать від часу t , можна знайти із системи рівнянь

$$\begin{aligned}w(x_P, P, F_1, F_2) + \alpha(P) &= d(P), \\w(x_{F_1}, P, F_1, F_2) + \alpha(F_1) &= 0, \\w(x_{F_2}, P, F_1, F_2) + \alpha(F_2) &= 0,\end{aligned}\tag{1}$$

де d – вертикальні переміщення тіла;

x_P , x_{F_1} , x_{F_2} – відповідно горизонтальні координати розташування тіла на балці, лі-

вої проміжної опори, правої проміжної опори;

$w(x_P, P, F_1, F_2) = w_P$, $w(x_{F_1}, P, F_1, F_2) = w_1$, $w(x_{F_2}, P, F_1, F_2) = w_2$ – відповідно прогини

балки у місці знаходження тіла, лівої проміжної опори, правої проміжної опори.

Переміщення тіла d можна визначити за допомогою формули

$$d(t) = d_0 + \dot{d}_0 t + g \frac{t^2}{2} - \frac{1}{M} \int_0^t P(t_1)(t - t_1) dt_1,\tag{2}$$

де d_0 , $\dot{d}_0$ – початкові переміщення і швидкість тіла;

g – прискорення земного тяжіння;

M – маса тіла.

Якщо поперечний удар не вертикальний, а горизонтальний, то у формулі (2) $g = 0$.

Контактні деформації $\alpha(P)$ можна визначити за допомогою статичної контактної задачі Герця.

Прогини шарнірно опертої балки під дією сил $P(t)$, $F_1(t)$ і $F_2(t)$ можна визначити будь-яким способом. Можна застосувати модель системи з розподіленими параметрами (ця модель була застосована у даній роботі). Можна застосувати метод скінченних елементів. Ефективне розкладання коливань за власними формами. Якщо треба врахувати розсіяння енергії, то це можна зробити теж будь-яким способом.

Реалізація задачі

Сили $P(t)$, $F_1(t)$ і $F_2(t)$ з системи рівнянь (1) знаходимо чисельно методом послідовних наближень на послідовних малих кроках часу τ . Існують різні крокові алгоритми чисельної реалізації задачі. У даній роботі застосовувався метод, запропонований у [2].

Приклад розрахунку

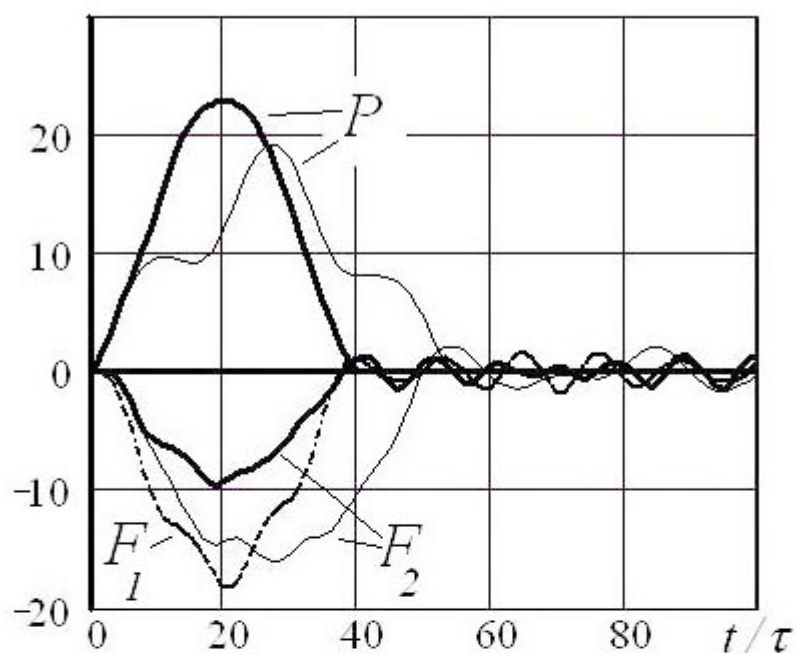
Розглянемо горизонтальний удар сталеві кулі радіуса 2 см по сталевій шарнірно опертій балці довжиною 15 см прямокутного поперечного перерізу 1 см $\times$ 1 см. Початкова швидкість кулі дорівнює 1,0 см/с. Розсіяння енергії не враховувалося. Залежності $\alpha(F_1)$ і $\alpha(F_{21})$ прийняті лінійними, коефіцієнти пропорційності дорівнюють (1/981000) см/Н.

Сили визначалися із точністю до 1%. Вибраний крок часу (крок інтегрування рівнянь) $\tau = 10^{-5}$ с.

Реалізація задачі виконувалася за допомогою математичного пакета MathCAD. На рисунку 2 наведені результати розрахунку.

На графіках рисунку 2 тонкою суцільною лінією наведені результати розрахунку у випадку відсутності лівої проміжної опори.

a)

 P, F_1, F_2, H 

б)

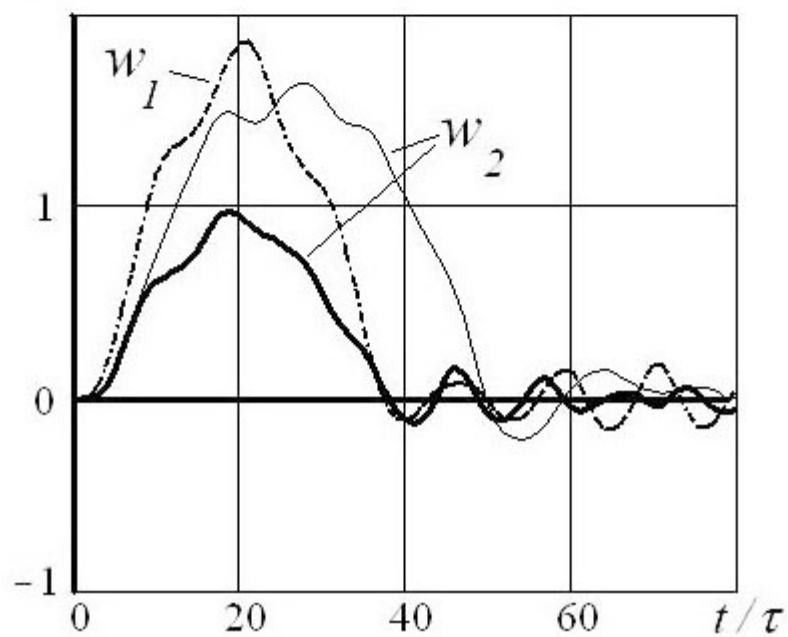
 $w_1, w_2 \cdot 10^{-5}, \text{ cm}$ 

Рис. 3, аркуш 1. Результати розрахунку

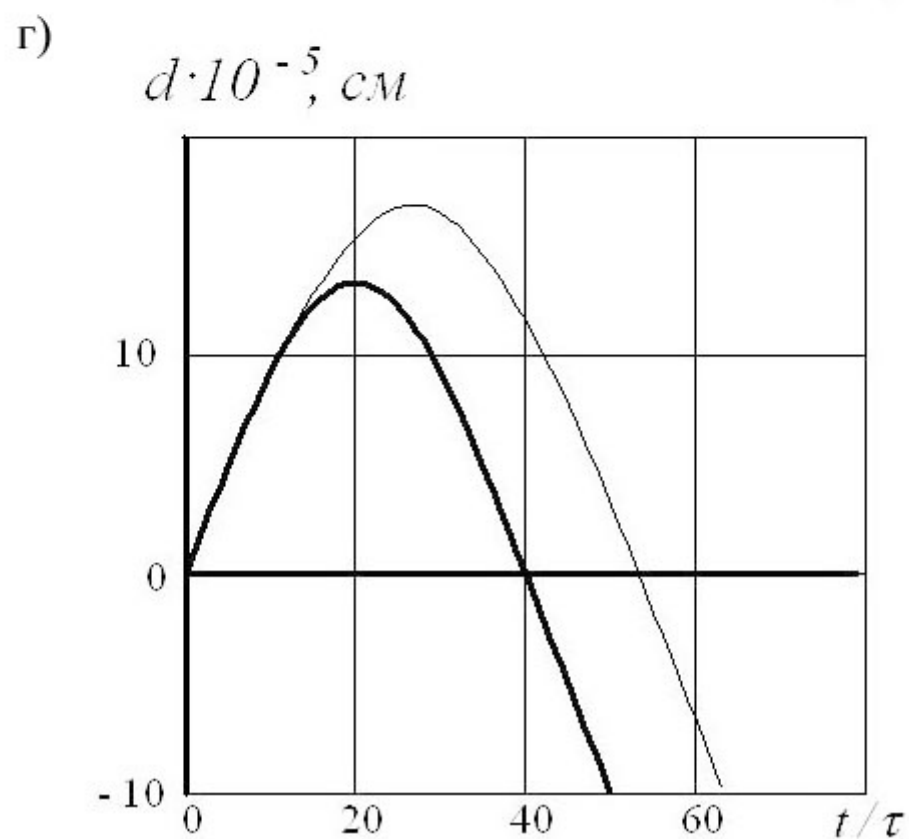
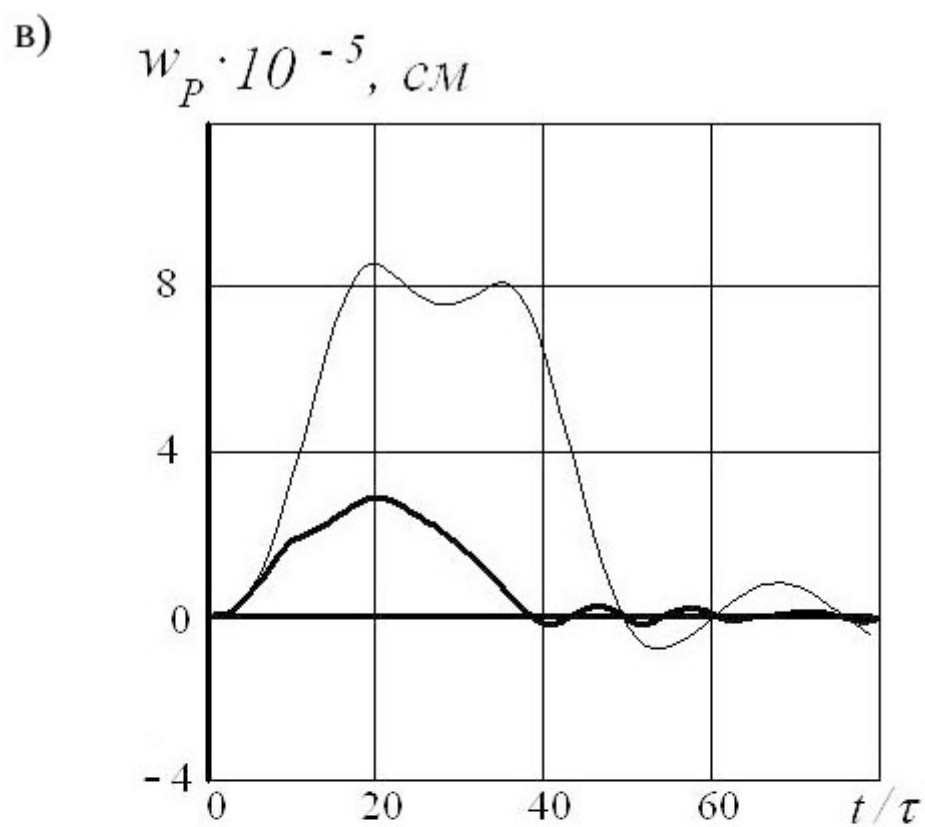


Рис. 3, аркуш 2. Результати розрахунку

Висновки

Якщо для наведеної у роботі шарнірно опертої балки з пружно деформівними проміжними опорами лінійні деформації цих опор прямо пропорційні зусиллям у цих опорах, то взагалі таку конструкцію цілком можна моделювати за допомогою методу скінченних елементів. Якщо ця залежність нелінійна, то ефективним є застосування моделі, запропонованої у даній роботі.

Змінюючи кількість проміжних опор, їх розташування і жорсткість, можна одержати конструкцію з оптимальними параметрами.

Список літературних джерел

1. Грицюк В.Ю. Розрахунок балок на ударне навантаження. // Вісн. Чернігівського держ. техн. ун-ту, 2006. – № 26. С. 31-36.
2. Грицюк В.Ю. Алгоритми чисельного розрахунку малих коливань механічних систем. // Вісн. Чернігівського держ. техн. ун-ту, 2001. – № 12. С. 43-46.

ТЕХНОЛОГІЇ АВТОТРАНСПОРТУ

УДК 629.113

В.І. Кальченко, д-р техн. наук

В.В. Кальченко, д-р техн. наук

В.І. Венжега, канд. техн. наук

А.В. Рудик, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ШЛЯХИ ПОКРАЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНИХ І ЕКОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОМОБІЛЯ

Представлені узагальнені результати досліджень методів і систем їх реалізації, що дозволяють повніше використовувати потужність автомобіля, знижувати шкідливі викиди в атмосферу і ефективно впливати на економічні характеристики роботи машини. Приведено рекомендації по вибору і застосуванню того або іншого методу.

Вступ

Відповідно закону України «Про автомобільний транспорт» він є галуззю транспорту, яка забезпечує задоволення потреб населення та суспільного виробництва у перевезеннях пасажирів та вантажів автомобільними транспортними засобами. Автомобільні транспортні засоби є одними з основних споживачів енергоносіїв, разом з тим спричиняючи різнобічний негативний вплив на довкілля.

Відпрацьовані гази, продукти зношування механічних частин і шин автомобіля, а також дорожнього покриття складають біля половини атмосферних викидів антропогенного походження. Ще у 1998 році автотранспортом в Україні викидалося в атмосферу 1432960т шкідливих речовин, або 0,360т на один автомобіль, а вже у 2004 р їх кількість перевищила 2 млн. тонн. За цей же період (1998р.) у США було викинуто 0,240т, а ФРН – 0,170т на один транспортний засіб [1].

Проблеми екології і економії матеріальних ресурсів на сьогодні є актуальними для всіх країн світу, тому на перший план виходять завдання розробки і впровадження нових технічних рішень, які б дозволяли найбільш повно використовувати корисну потужність автомобільних засобів, зменшувати споживання пального та викидів в атмосферу.

Аналіз досліджень і публікацій

Станом на липень 2007 року автомобільний парк України нараховував лише легковиків майже 7,0 млн., з яких 60% експлуатуються більше двадцяти років. Незважаючи на ріст продажу нових автомобілів, український парк продовжує старіти. Оновлення парку проходить в межах 2...3%, в той час як у Німеччині, Франції, Італії ця частка складає 6...8%.

Основним джерелом забруднення автомобіля є автомобільний двигун, тому постійно ведуться роботи, спрямовані на конструктивне вдосконалення двигунів за рахунок більш детального вивчення фізичних процесів, що відбуваються в двигунах, і створення електрично керованих виконавчих пристроїв по командах мікропроцесорних систем. Але навіть сучасні автомобільні двигуни, якими оснащуються автомобілі, розроблені і виготовлені в пострадянському просторі, мають відставання по економічності від західно-європейських і японських.

Іншим напрямком досліджень є більш повне використання потужності. Сьогодні в енергію руху на практиці перетворюється всього від 25 до 30% енергії, що міститься в пальному. Велика частина переходить в тепло, яке використовується далеко не повністю. Крім того, постійно зростає частка потужності двигуна, що відбирається для вироблення електроенергії для бортової мережі [2].

Окремі методи, що дозволяють повніше використовувати потужність автомобіля, знижувати шкідливі викиди в атмосферу і ефективно впливати на економічні характеристики роботи машини наведені в роботах [2, 3, 4, 5], але системна класифікація таких методів і рекомендації по їх вибору і застосуванню відсутні.

Постановка завдання

Метою роботи є дослідження напрямків розвитку конструкцій двигунів і автомобілів з метою більш повного використання енергії автомобіля.

Виклад основного матеріалу

Розглянемо основні напрямки робіт, за допомогою яких світові лідери автомобілебудування вирішують проблему підвищення ефективності використання автомобільних транспортних засобів.

1. Розробка і впровадження електромобілів [3]. Але електромобіль не є ідеальним засобом для покращення екології планети, оскільки електростанції виробляють електроенергію, яка приходить до споживача через багатократні перетворення, і ККД системи паливо-потужність на тягових колесах електромобіля має низький показник. Єдиною перевагою електромобіля є усунення шкідливих викидів з району проживання населення.

Окрім того, традиційні свинцево-кислотні акумулятори не придатні по причині великої ваги, тобто із-за поганого співвідношення накопиченої енергії до маси акумулятора і малої кількості повних циклів зарядження-розрядження. Літій-іонні акумулятори мають гарне співвідношення енергії до маси, проте вартість акумуляторної батареї порівняльна з вартістю решти всього електромобіля. В результаті електромобіль має ціну в два рази більше, ніж аналогічний по споживчим властивостям бензиновий аналог. Експлуатаційні властивості акумуляторних батарей з часом погіршуються, що призводить до скорочення міжрозрядного пробігу і динамічних параметрів автомобіля. Заміна акумуляторної батареї у декілька разів дорожча за капітальний ремонт ДВС.

2. Перспективним напрямом підвищення екологічної безпеки і економічності транспортних засобів в даний час є застосування гібридних силових установок (ГСУ) [3,4]. Протягом двох останніх десятиліть розвиток автомобілів з гібридними силовими установками прогресував від дослідних зразків в середині 90-х років ХХ століття до виробництва сотень тисяч в рік в наш час. За прогнозами авторитетних експертів до 2020 року частка гібридних автотранспортних засобів на світовому ринку досягне близько 25 %. Це означає, що до 2020 року річний випуск гібридних автомобілів буде нараховуватись вже десятками мільйонів.

Є немало причин, завдяки яким гібридні автомобілі зобов'язані своїм розвитком, але найголовніші з них – мінімальний викид шкідливих речовин в атмосферу і заощадження від 15 до 40 % палива в міському циклі руху.

Найбільше розповсюдження в гібридних силових установках мають на сьогоднішній день схеми, що включають двигун внутрішнього спалювання (ДВС), зворотну електромашину і акумуляторну батарею. Рядом фірм-виробників вже багато років успішно ведуться роботи по використанню пневмодвигунів як у складі гібридних установок, так і в ролі самостійного силового агрегату [4].

Серійними автомобілями, що випускаються, із ГСУ є Toyota Prius, Honda Civic Hybrid, Lexus 400 h, Lexus 450 h, Ford Escape Hybrid. По характеру взаємодії силових агрегатів гібридні силові установки бувають паралельного, послідовного і змішаного типу.

Активно ведуться нові розробки. Американська компанія AFS Trinity Power продемонструвала гібридний автомобіль ХН-150 з сенсаційною середньою витратою пального 1,57 л/100 км. Незалежно від режиму руху перші 64 км. шляху ХН-150 проходить, не підключаючи ДВС. І лише тоді, коли розрядяться батареї, заряджені від побутової ме-

режі, запускається ДВС .

3. Покращення показників роботи двигуна, що ведеться в напрямі конструктивних вдосконалень і доробок, важливу роль в яких відіграють електрично керовані виконавчі органи по командах мікропроцесорних систем.

Одними з останніх конструктивних удосконалень двигуна є змінна залежно від навантаження ступінь стиснення, керована величина ходу відкриття клапанів газорозподільного механізму, управління режимами вприскування палива, підвищення тиску вприскування палива, застосування паливних акумуляторів, застосування двоступінчатого турбонаддуву та ін. Ці зміни направлені на підвищення ефективності ДВС за рахунок поліпшення показників використання енергії палива [2].

4. Регенерація енергії гальмування: гальмівна система стає джерелом енергії. Метою розробки є генерування електроенергії без використання потужності двигуна і, отже, без витрати енергії пального. Недорога в цьому сенсі електроенергія виробляється не тільки в режимі примусового холостого ходу генератором, але і при гальмуванні в результаті так званої рекуперації енергії, що вивільняється при цьому. Так, енергія, що до цих пір пропадала у вигляді тепла, що виділялось на гальмівних дисках, також подаватиметься в бортову мережу автомобіля. Тим самим значно знижується необхідність генерування електричного струму в режимі тяги двигуна. Безпосереднє перетворення пального в електроенергію відбуватиметься тільки у виняткових випадках. В результаті регулювання генератора і регенерації енергії гальмування помітно підвищується ефективність двигуна і економічність автомобіля.

Однією із схем, яку планують використовувати найближчим часом на автомобілях Формули 1, є варіант KERS (Kinetic Energy Recovery Systems) приводу до коліс з паралельним підключенням до трансмісії генератора-електродвигуна, включеного в ланцюг з літій-іонною акумуляторною батареєю. Така схема дозволяє значною мірою використовувати рекуперацію кінетичної енергії автомобіля при гальмуванні і русі на спусках, заряджаючи батарею, і істотно поліпшити динаміку автомобіля, оскільки паралельно з двигуном або окремо можливо використовувати електропривод коліс [2].

5. Інтелектуальне управління енергією, що переслідує дві мети. По-перше, загальне споживання електроенергії необхідно обмежити без зниження функціональних можливостей. По-друге, цілеспрямоване управління перетворенням енергії, що міститься в пальному, в електричний струм повинно звести до мінімуму втрати в загальному балансі енергії. У сучасних моделях BMW вже створені важливі передумови для реалізації обох завдань. Інтелектуальне управління енергією вже сьогодні здійснюється на серійних моделях. Так, нові електричні водяні насоси рядних шестициліндрових двигунів BMW працюють залежно від потреби в охолодженні. Це означає, що з максимальною потужністю вони працюють тільки при високих і максимальних швидкостях і навантаженні. Відразу після запуску насос не включається. В результаті прискорюється прогрівання двигуна. Оскільки водяний насос має електропривод і не пов'язаний з двигуном, він не відбирає у силового агрегату енергії. В цілому такий принцип роботи дозволяє економити близько 2 % пального за результатами європейського тесту на допуск до експлуатації [2].

6. Рекуперація енергії коливальних мас [2]. В процесі руху автомобіля колеса і кузов автомобіля здійснюють вертикальні і кутові коливання, які гасяться амортизаторами. Механічна енергія коливань перетворюється на теплову і передається в зовнішнє середовище, що призводить до нераціонального використання енергії автомобіля. Як накопичувач енергії багато виробників використовують акумуляторні батареї. Проте, на сьогодні стає актуальним застосування механічного накопичувача енергії – супермаховика . При установці накопичувача енергії на автомобіль виникає проблема забезпечення безпеки водія і пасажирів. Так, в електричному накопичувачі енергії напруга досягає

близько 300 В, а в механічному розганяють маховик до таких швидкостей, при яких міцність звичайної конструкції може бути недостатньою.

7. Обмеження подачі пального в режимі примусового холостого ходу [5, 6].

Режим примусового холостого ходу (ПХХ) двигуна внутрішнього спалювання автомобіля має місце при відпущеній педалі акселератора і включеній трансмісії. Цей режим займає значний час, особливо при русі в місті і на пересіченій місцевості. Якщо в режимі ПХХ (частині режиму ПХХ) відбувається подача пального, помітно зростають викиди шкідливих речовин в атмосферу. Тому в автомобілях, що мають двигуни з циклом Отто, режим ПХХ супроводжується відключенням подачі пального для зменшення його витрати і для зменшення шкідливих викидів.

Для досягнення максимальної економічності і мінімальних шкідливих викидів необхідне відключення подачі пального на весь час, поки триває режим ПХХ. Проте, в сучасних автомобілях ПХХ має два різновиди: режим ПХХ з відключенням подачі пального і режим ПХХ без відключення подачі пального. Другий різновид режиму ПХХ – вимушений і обумовлений необхідністю запобігти зупинці двигуна при раптовому відключенні його від трансмісії рухомого автомобіля. Зазвичай для кожного двигуна визначають мінімальні оберти, при яких натиснення педалі зчеплення з подальшим виключенням передачі не призводить до зупинки двигуна, а забезпечує стійкий перехід на режим самостійного холостого ходу. Значення мінімальних обертів вноситься до карти мікроконтролера (у позицію «оберти відновлення подачі палива на ПХХ») чи апаратно забезпечується в електронних блоках економайзера ПХХ.

Висновки

Підвищення ефективності автомобіля можливе шляхом розробок нових конструкцій автомобілів або цілеспрямованого керування потоками енергії, яку отримують його системи і агрегати, за допомогою інтелектуальної системи регулювання і регенерації енергії, що відповідним чином програмується і налагоджується. Сучасні конструкції накопичувачів і перетворювачів енергії дають можливість їх установки на вітчизняних автомобілях без істотних змін конструкції базового автомобіля.

Список літературних джерел

1. Автомобільний транспорт України: стан, проблеми, перспективи розвитку: Монографія / Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут; За заг. ред. А. М. Редзюка. – К.: ДП "ДержавтотрансНДІпроект", 2005. – 400 с.
2. Сергиенко А.Н., Самородов В.Б., Сергиенко Н.Е. Анализ работ по повышению эффективности использования энергии автомобиля. //Автомобильный транспорт: Сборник научных трудов. – Харьков: ХНАДУ. – 2009. – №25. – С. 126-132.
3. Бажинов А.В., Паникарский А.С., Боженков В.С. Методика определения основных параметров электросиловой установки гибридного автомобиля. //Автомобильный транспорт: Сборник научных трудов. – Харьков: ХНАДУ. – 2009. – №25. – С. 145-151.
4. Туренко А.Н., Богомолков В.А., Абрамчук Ф.И., Харченко А.И., Шилов А.И. О выборе параметров поршневого пневмодвигателя, работающего в составе гибридной электроустановки автомобиля. //Автомобильный транспорт: Сборник научных трудов. – Харьков: ХНАДУ. – 2008. – №22. – С. 7-17.
5. Солтус А.П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля: навчальний посібник. – К: Арістей, 2006. – 176с.
6. Бажинов А.В., Двадненко В.Я., Колесников А.В. Улучшение экономических и экологических характеристик автомобиля в режиме принудительного холостого хода. //Автомобильный транспорт: Сборник научных трудов. – Харьков: ХНАДУ. – 2009. – №25. – С. 141-145.

УДК 514.182.7:519.651

І. М. Хоменко, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ КЛАПАНА АВТОМОБІЛЬНОГО ДВИГУНА

Запропоновано розрахунковий метод визначення пропускної спроможності клапана двигуна внутрішнього згоряння, який відрізняється від традиційного тим, що не потребує розрахунку і побудови графіка залежності підйому клапана від кута повороту кулачкового вала, вимірювання площі, визначення масштабів графіка тощо.

Вступ

При проектуванні клапанного механізму швидкохідного автомобільного двигуна діаметри клапанів по можливості вибирають настільки великими, наскільки це допустимо, виходячи з розмірів циліндра і розміщення камери згоряння та елементів паливоподачі у головці блоку.

У якості основного відправного розміру клапанів приймають діаметр горловини впускного клапана $d_{з.вн.}$.

Попередньо рекомендують користуватись наступними співвідношеннями між діаметром горловини впускного каналу і діаметром поршня двигуна D [1]:

– для карбюраторних двигунів з клиновидною і плоскоовальною камерами згоряння $d_{з.вн.} = (0,42...0,46)D$;

– для карбюраторних двигунів з напівсферичними камерами згоряння $d_{з.вн.} = (0,46...0,52)D$;

– для дизелів з розділеною камерою $d_{з.вн.} = (0,35...0,40)D$;

– для дизелів з нерозділеною камерою $d_{з.вн.} = (0,38...0,42)D$.

Діаметри горловин випускних клапанів приймають на 10...20% меншими, ніж діаметри горловин впускних клапанів.

Максимальна прохідна площа при двох клапанах становить 25...30%, а при чотирьох – до 40% від частини площі головки, яка перекриває циліндр.

Висота підйому клапана обмежується рівністю площ прохідного перерізу горловини і клапана за умови повного відкриття клапана (рисунок 1).

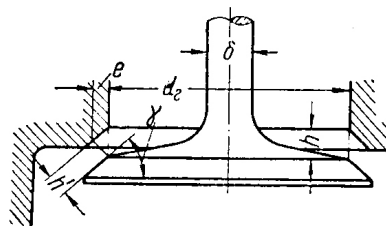


Рис. 1. Схема перерізу прохідних каналів клапана

На рис. 1 наведено характерні розміри клапана:

d_z – діаметр горловини; h' – ширина прохідного каналу; γ – кут фаски; h – висота підйому клапана.

Для впускних клапанів $\gamma = 45^\circ$ або 30° ; для випускних – приймають майже завжди $\gamma = 45^\circ$.

Якщо припустити, що кут фаски $\gamma = 0$, то з рисунку 1 отримуємо:

$$\frac{\pi \cdot d_z^2}{4} = \pi \cdot d_z \cdot h_{\max}.$$

Звідки максимальна висота підйому клапана $h_{\max}$ буде дорівнювати:

$$h_{\max} = d_z / 4. \quad (1)$$

Рівність площ горловини і клапана виконується при $\gamma = 30^\circ$ і $h_{\max} \approx 0.26 \cdot d_z$, а при $\gamma = 45^\circ$ – при $h_{\max} \approx 0.31 \cdot d_z$.

Для сучасних двигунів значення $h_{\max} = (0.16 \dots 0.32) \cdot d_z$.

Площу прохідного перерізу горловини впускного клапана $F_{k \max}$ визначають за умови нестискуваності газу, що протікає в горловині, при максимальному підйомі клапана і для режиму номінальної частоти обертання колінчастого вала за формулою:

$$F_{k \max} = \frac{V_{n.c.} \cdot F_n}{i \cdot V'}, \quad (2)$$

де V' – швидкість потоку газу в горловині клапана, м/с;

$V_{n.c.}$ – середня швидкість поршня, м/с;

$F_n = \pi \cdot D^2 / 4$ – площа дна поршня, м²;

i – кількість однойменних (впускних або випускних) клапанів у циліндрі. Переважно $i = 1$.

Для сучасних автомобільних двигунів середня швидкість заряду в горловині впускного клапана на режимі максимальної потужності двигуна $V_{en}' = 40 \dots 80$ м/с. Для карбюраторних двигунів слід приймати для впускних клапанів $V_{en}' = 40$ м/с, а для випускних – $V_{en}' = 70 \dots 100$ м/с. Для двигунів з наддувом середні швидкості повітря і газів у горловинах клапанів не повинні перевищувати 100 м/с [1].

Згідно з формулою (2) проведемо чисельні розрахунки для впускного клапана при наступних вихідних даних: $V_{n.c.} = 11.6$ м/с, $F_n = 0.00374$ м², $i = 1$, $V_{en}' = 50$ м/с :

$$F_{k \max} = 0.000868 \text{ м}^2.$$

Враховуючи, що через горловину проходить стержень клапана, її площу звичайно приймають:

$$F_z = (1.1 \dots 1.2) F_{k \max}.$$

При максимальному значенні коефіцієнта знаходимо площу перерізу горловини клапана:

$$F_z = 1.2 \cdot F_{k \max} = 1.2 \cdot 8.68 = 10.416 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Діаметр горловини:

$$d_z = \sqrt{\frac{4 \cdot F_z}{\pi}} \cdot 10 = \sqrt{\frac{4 \cdot 10.416}{3.14}} \cdot 10 = 36.41 \text{ мм}.$$

Прийнявши для нашого прикладу $\gamma = 30^\circ$, $h_{\max} \approx 0.26 \cdot d_z$, знаходимо:

$$h_{\max} = 0.26 \cdot 36.41 = 9.47 \text{ мм}.$$

Достатність максимального прохідного перерізу клапана $F_{k \max}$ перевіряється другою середньою швидкістю газу V_z'' (обмежує висоту підйому клапана в припущенні, що весь період дії відкритий максимально), за формулою

$$V_z'' = V_{n.c.} \cdot F_n / F_{k \max} \cdot i. \quad (3)$$

З рисунку 1 величина прохідного перерізу клапана може бути визначена також за формулою:

$$F_k = \pi \cdot h (d_z \cdot \cos \gamma + h \cdot \sin \gamma \cdot (\cos \gamma)^2). \quad (4)$$

Тобто максимальна величина прохідного перерізу клапана

$$F_{k \max} = \pi \cdot h_{\max} (d_z \cdot \cos \gamma + h_{\max} \cdot \sin \gamma \cdot (\cos \gamma)^2), \quad (5)$$

У нашому прикладі максимальна площа горловини, визначена за останньою фо-

рмулою, а також швидкість V''_2 , визначена в припущенні, що на протязі всього такту впуску клапан повністю залишається відкритим, мають наступні значення:

$$F_{k \max} = 3.14 \cdot 9.47 \cdot (36.41 \cdot \cos 30^\circ + 9.47 \cdot \sin 30^\circ \cdot (\cos 30^\circ)^2) = 1060.12 \text{ мм}^2 = 0.001061 \text{ м}^2;$$

$$V''_2 = 11.6 \cdot 0.00374 / 0.001061 \cdot 1 = 40.9 \text{ м/с},$$

Значення швидкості $V''_{2.вип}$ у прохідних перерізах випускних клапанів бензинових двигунів приймають на 40–50 %, а у дизелів – на 25–40 % більше, ніж для впускних клапанів.

Фактичну пропускну спроможність клапана перевіряють по третій середній швидкості $V'''_{вп}$, яка визначається за наступною формулою:

$$V'''_{вп} = V_{н.с} \cdot F_n / F_{к.с} \cdot i, \quad (6)$$

де $F_{к.с}$ – середнє значення площі прохідного перерізу клапана за такт впуску, мм^2 .

Визначається з діаграми «час-переріз» або за формулою:

$$F_{kc} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} F_k dt}{t_2 - t_1}, \quad (7)$$

де F_k – площа перерізу клапана для кожної миті часу;

t_1, t_2 – відповідно час відкриття і закриття впускного клапана.

При визначенні значення показника «час-переріз» необхідно мати криву $F_k = f(t)$. Ординати останньої кривої для різних положень кулачка знаходять графічним або аналітичним способом. У останньому випадку використовують діаграму підйому клапана $h = f(\alpha_k)$ (α_k – кут повороту кулачка).

Форма кривої підйому клапана залежить від кута повороту кулачка і у певному масштабі також виражає «час-переріз». Графік для визначення показника «час-переріз» наведено на рисунку 2 [1].

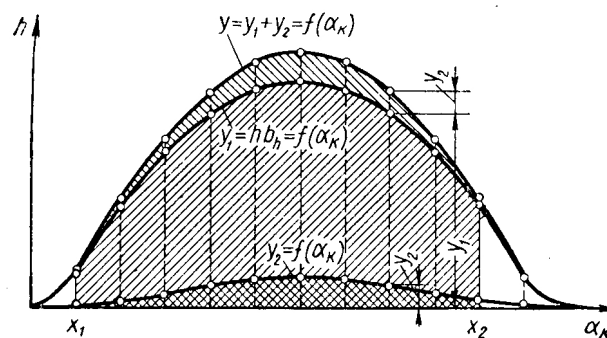


Рис. 2. Діаграма для визначення показника «час-переріз» впускного клапана

Для визначення показника «час-переріз» на рисунку 2 використано криву підйому клапана $h = f(\alpha_k)$, масштаби якої α_k мм/град – по осі абсцис і b_h мм діаграми / мм підйому клапана – по осі ординат.

Площа прохідного перерізу клапана при цьому визначається у вигляді суми площ:

$$F_k = y_1 + y_2, \quad (8)$$

де $y_1 = \pi \cdot h \cdot d_c \cdot \cos \gamma$, $y_2 = \pi \cdot h^2 \cdot \sin \gamma \cdot (\cos \gamma)^2$.

Якщо «час – переріз» клапана $F_{ч.п.} = \int_{t_1}^{t_2} F_k dt$ визначається з діаграми підйому клапана $F_k = F(t)$ за час переміщення від відкриття до закриття клапана графічним способом, то середня площа прохідного перерізу клапана (мм^2) визначається за формулою:

$$F_{k.c} = \int_{t_1}^{t_2} F_k \cdot dt = \mu_t \cdot \mu_F \cdot F_{q.n.}, \quad (9)$$

де μ_t і μ_F – відповідно масштаби часу (мм/с) і площі перерізу клапана (мм/мм²);

$F_{q.n.}$ – час-переріз клапана на ділянці впуску (мм²·с);

$\mu_F = \mu_h \cdot 2.72 \cdot d_c$ (при $\gamma = 30^\circ$); $\mu_t = \mu_a \cdot 6n_k$;

n_k – частота обертання розподільного вала, хв⁻¹.

При використанні графічного способу третя швидкість $V'''_{вп}$ знаходиться після встановлення профілю кулачка і побудови кривої підйому клапана.

Графічному способу визначення показника «час-переріз» притаманні певні ускладнення, а саме: необхідність визначення аналітичним способом залежності підйому кулачка від кута повороту кулачкового вала, побудова графіка вказаної залежності, перехід від залежності $h = f(\alpha_k)$ до діаграми підйому клапана $F_k = F(t)$.

Побудова діаграми і визначення її площі приводить до певних похибок в оцінках результатів. Отже доцільно зосередити увагу на аналітичному способі – більш точному і, за наявності сучасних обчислювальних засобів, – більш простому.

Методи і результати досліджень

Значення F_{kc} у залежності від кута повороту кулачка α_k можна розрахувати аналітично, використовуючи для цього криву підйому клапана $h = f(\alpha_k)$ і програму системи Mathcad.

Прийнявши кулачок опуклим, отриманий при спряженні дугою двох кіл, розглянемо можливий аналітичний спосіб визначення середнього значення площі прохідного перерізу клапана.

Схему переміщення штовхача клапана (або самого клапана) залежно від кутів повороту кулачка наведено на рисунку 3 [1].

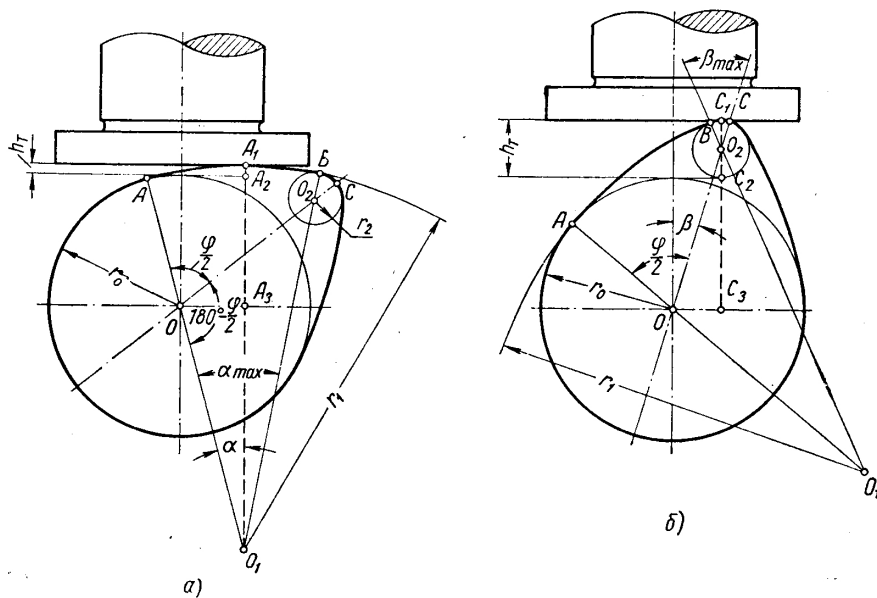


Рис. 3. Куты поворота кулачкового вала і переміщення штовхача (клапана)

При повороті кулачка штовхач (клапан) переміщується на першій ділянці, яка визначається кутом α згідно з рівнянням:

$$h_1(\alpha) = (r_1 - r_0) \cdot (1 - \cos \alpha), \quad (10)$$

а на другій, де положення штовхача (клапана) визначається кутом β , –

$$h_2(\beta) = (r_2 - r_0) + a \cdot \cos \beta, \quad (11)$$

де $a = r_0 + h_{\max} - r_2$;

Для прийнятих нами значень: $r_2 = 3 \text{ мм}$; $r_0 = 2 \cdot h_{\max} = 2 \cdot 9.47 = 18.94 \text{ мм}$;
 $a = 18.94 + 9.47 - 3 = 25.41 \text{ мм}$.

Залежності площі прохідного перерізу клапана від кута повороту кулачка мають наступний вигляд:

$$F(\alpha) = \pi \cdot (r_1 - r_0) \cdot (1 - \cos \alpha) \cdot [0.866 \cdot d_z + 0.375 \cdot (r_1 - r_0) \cdot (1 - \cos \alpha)] \quad (12)$$

$$F(\beta) = \pi \cdot ((r_2 - r_0) + a \cdot \cos \beta) \cdot [0.866 \cdot d_z + 0.375 \cdot (r_2 - r_0 + a \cdot \cos \beta)] \cdot \quad (13)$$

Отримані функції інтегруємо по відповідному куту повороту кулачка, а саме:

$$I1 = \int_0^{\alpha_{\max}} \pi \cdot (r_1 - r_0) \cdot (1 - \cos \alpha) \cdot [0.866 \cdot d_z + 0.375 \cdot (r_1 - r_0) \cdot (1 - \cos \alpha)] d\alpha, \quad (14)$$

$$I2 = \int_0^{\beta_{\max}} \pi \cdot ((r_2 - r_0) + a \cdot \cos \beta) \cdot [0.866 \cdot d_z + 0.375 \cdot (r_2 - r_0 + a \cdot \cos \beta)] d\beta, \quad (15)$$

де $\alpha_{\max}$ і $\beta_{\max}$ – максимальні значення кутів повороту кулачка на першій і другій ділянках переміщення штовхача (кулачка).

Значення $\alpha_{\max}$ і $\beta_{\max}$ визначаються за наступними формулами:

$$\sin \alpha_{\max} = \sin(\varphi_{po}) \cdot \frac{a}{r_1 - r_2}, \quad (16)$$

$$\beta_{\max} = \varphi_{po} - \alpha_{\max}. \quad (17)$$

У формулах (15) і (16) теоретичний кут дії профілю кулачка визначається за формулою:

$$\varphi_{po} = \frac{\varphi_{ov} + 180 + \varphi_{зв}}{4}, \quad (18)$$

де φ_{po} , φ_{ov} , $\varphi_{зв}$ – відповідно кути дії профілю кулачка, відкриття і закриття впускного клапана згідно з фазами газорозподілу;

r_1 – радіус спряження кіл кулачка, визначається за формулою:

$$r_1 = \frac{r_0^2 + a^2 - r_2^2 - 2 \cdot r_0 \cdot a \cdot \cos(\varphi_{po})}{2 \cdot (r_0 - r_2 - a \cdot \cos(\varphi_{po}))}. \quad (19)$$

Наприклад, кут відкриття впускного клапана $\varphi_{ov} = 9^\circ$ повороту колінчастого вала до верхньої мертвої точки, а його закриття – $\varphi_{зв} = 48^\circ$ – після нижньої мертвої точки (двигун МЕМЗ-245).

Після підстановки значень кутів і параметрів у формули (18) і (19) знаходимо:

$$\begin{aligned} \varphi_{po} &= \frac{9 + 180 + 48}{4} = 59.25^\circ, \\ r_1 &= \frac{18.94^2 + 25.41^2 - 3^2 - 2 \cdot 18.94 \cdot 25.41 \cdot \cos(59.25^\circ)}{2 \cdot (18.94 - 3 - 25.41 \cdot \cos(59.25^\circ))} = 85.35 \text{ мм.} \\ \sin \alpha_{\max} &= \sin(59.25^\circ) \cdot \frac{25.41}{83.35 - 3} = 0.265. \end{aligned}$$

Звідки $\alpha_{\max} = 15.5^\circ$.

За формулою (17) знаходимо:

$$\beta_{\max} = 59.25 - 15.5 = 43.75^\circ.$$

Середнє значення площі прохідного перерізу при переміщенні клапана визначається діленням суми отриманих інтегралів на кут дії профілю кулачка φ_{po} , а саме:

$$F_{kc} = \frac{I1 + I2}{\varphi_{po}} \quad (20)$$

Нижче наведено алгоритм визначення середнього значення площі прохідного перерізу впускного клапана у системі MathCad [2] для вибраних розрахункових параметрів бензинового двигуна. Значення параметрів наведено у системі СІ.

$$\begin{aligned} r0 &:= 18.94 \cdot 10^{-3} & r1 &:= 85.35 \cdot 10^{-3} & r2 &:= 3 \cdot 10^{-3} & a &:= 25.41 \cdot 10^{-3} & dr &:= 36.41 \cdot 10^{-3} \\ hT &:= 9.47 \cdot 10^{-3} & \alpha_{\max} &:= \frac{15.5 \pi}{180} & \beta_{\max} &:= \frac{43.75 \pi}{180} & \varphi0 &:= \frac{43.25 \pi}{180} & N &:= 5 & i &:= 0..N \\ \alpha_i &:= \frac{3.1 \cdot i}{180} & h1(\alpha) &:= (r1 - r0) \cdot (1 - \cos(\alpha)) & h2(\beta) &:= r2 - r0 + a \cdot \cos(\beta) \\ f(\alpha) &:= \pi \cdot [(r1 - r0) \cdot (1 - \cos(\alpha))] \cdot [0.866 dr + 0.375 [(r1 - r0) \cdot (1 - \cos(\alpha))]] \\ f(\beta) &:= \pi \cdot (r2 - r0 + a \cdot \cos(\beta)) \cdot [0.866 dr + 0.375 (r2 - r0 + a \cdot \cos(\beta))] \\ I1 &:= \int_0^{\alpha_{\max}} \pi \cdot [(r1 - r0) \cdot (1 - \cos(\alpha))] \cdot [0.866 dr + 0.375 [(r1 - r0) \cdot (1 - \cos(\alpha))]] d\alpha \\ I2 &:= \int_0^{\beta_{\max}} \pi \cdot (r2 - r0 + a \cdot \cos(\beta)) \cdot [0.866 dr + 0.375 (r2 - r0 + a \cdot \cos(\beta))] d\beta \\ I1 &= 2.2 \times 10^{-5} & I2 &= 5.839 \times 10^{-4} & I &:= I1 + I2 & F_{kc} &:= \frac{I}{\varphi0} & F_{kc} &= 8.027 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

За розрахунком середнє значення площі прохідного перерізу впускного клапана становить 0.00083 м^2 , що можна вважати прийнятним результатом, оскільки при

максимально відкритому клапані вона становить 0.00104 м^2 .

Перевіримо достатність показника «час-переріз» впускного клапана по третій середній швидкості V'''_{en} , яка враховує фактичну пропускну спроможність клапана, за формулою (6):

$$V'''_{en} = 11.6 \cdot 0.00374 / 8.027 \cdot 1 = 54.05, \text{ м/с.}$$

Значення третьої середньої швидкості потоку газу у проходному перерізі клапана V'''_{en} не повинні виходити за межі:

- для бензинових двигунів $90 \dots 150 \text{ м/с}$;
- для дизелів – $80 \dots 120 \text{ м/с}$.

Висновки

При розрахунках прохідних каналів клапанів одним з основних параметрів є середнє значення площі прохідного каналу за час, на протязі якого клапан залишається відкритим. Використання для вказаної мети показника «час-переріз» пов'язано з необхідністю визначення функції і побудовою графіка підйому клапана

залежно від кута повороту кулачкового вала і часу.

Запропонований спосіб полягає у визначенні функції підйому клапана у залежності від кута повороту кулачкового вала, інтегруванні вказаної функції по куту повороту вала і діленні отриманого чисельного значення інтеграла на інтервал кутів повороту кулачка за час від відкриття і до закриття клапана.

Список літературних джерел

1. Вихерт М.М. и др. (под редакцией проф. Степанова Ю.А.). Конструкция и расчет авто-тракторных двигателей / М. М. Вихерт, Р. П. Доброгаев и др. –М.: Машгиз. – 1957. – 604 с.
2. Херхагер М., Партолль Х. MathCad 2000: Полное руководство: Пер с нем.– Киев: Издательская группа BHV, 2000.– 416 с.

УДК 621.438

Д.М. Барановський, канд. техн. наук**С.В. Мямлін**, д-р техн. наук**В.В. Драгобецький**, д-р техн. наук

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

**МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ МОДИФІКУВАННЯ ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ
ДИЗЕЛІВ СПЕЦІАЛЬНОГО САМОХІДНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ
ЗАЛІЗНИЦЬ**

Проведено моделювання напружено-деформованого та термонапруженого стану гільз циліндрів дизелів спеціального самохідного рухомого складу (ССРС) залізниць для подальшого застосування при лазерному модифікуванні. Модифікування відповідно до моделювання дозволить отримувати робочу поверхню гільз циліндрів дизелів з дискретними властивостями.

Вступ

У міру зростання напружування деталей, вузлів та агрегатів ССРС залізниць, безперервно відбуваються зміни їх технічного стану, пов'язані з процесами зношування, корозії, накопичення втоми, деформацій, забруднення та ін. Ці процеси мають незворотний характер: знижується або втрачається працездатність техніки в результаті відмов і несправностей, а тому постає проблема у визначенні їх довговічності.

Відмова будь-якого агрегату чи вузла ССРС залізниць обумовлює їх нездатність виконувати задані функції. При цьому відбувається зупинка ССРС для ремонту і регулювання.

Особливе місце в сукупності відмов ССРС мають системи дизелів. Дослідження [1-3] надійності та довговічності агрегатів сучасного ССРС показує, що в середньому 34...47% відмов приходить на дизель, 7...19% – на трансмісію, 6...19% – на ходову частину, 5...18% – на електрообладнання, 7...24% – робоче (навісне) обладнання. Значний діапазон даних по відмовах пояснюється різним призначенням та областю використання ССРС залізниць.

Майже половина дизелів ССРС залізниць марки ЯМЗ.

Експлуатація дизелів ЯМЗ ССРС залізниць в робочих умовах збільшує знос деталей в 2,0...4,9 рази в порівнянні з їх використанням в інших умовах експлуатації [4].

Реалізація технологічних операцій колійного та енергогосподарств залізниці відбувається при роботі дизелів ССРС на режимах середнього і найбільшого навантаження – в межах від граничної потужності до найбільшого крутного моменту, що створює максимальні механічні та теплові навантаження на їх деталі [4].

Найбільш значимими факторами, що дозволяють більш повно використати запланований ресурс дизеля, при нормальній його експлуатації є неприпустимість перегрівів, своєчасна заміна мастила, справність повітряних, мастильних та паливних фільтрів, застосування якісних паливно-мастильних матеріалів та ін.

Головною і постійно діючою причиною зміни технічного стану дизелів є зношування його деталей. Примітною особливістю його деталей під час експлуатації є одночасна дія різних видів зношування, співвідношення яких залежать від конструкції дизеля, технології виготовлення деталей, якості вживаних експлуатаційних матеріалів, зовнішніх умов [2, 4].

Актуальність проблеми

Довговічність для всіх періодів експлуатації дизелів, перш за все, залежить від технічних характеристик деталей кривошипно-шатунного механізму (КШМ) та циліндропоршневої групи (ЦПГ).

Деталі ЦПГ відносяться до найбільш навантажених і відповідальних деталей дизелів. Ресурс дизелів, у першу чергу, визначається надійною і довговічною роботою його основних трибосистем (ТС): "гільза циліндра – кільце" та "вкладиш – колінчастий вал". Ці деталі знаходяться в найбільш важких умовах експлуатації і є найменш довговічними з його основних деталей. На процес зношування гільз циліндрів, поршнів, поршневих кілець, вкладишів та колінчастого валу впливає велика кількість факторів, що залежать від типу дизеля, його конструктивних особливостей, рівня форсування, застосованих палива й мастила, підготовки обслуговуючого персоналу, кліматичної зони експлуатації та багатьох інших факторів.

Згідно зібраних статистичних даних встановлено, що кількість відмов у 25...40 випадках з 100 вибракувань циліндрових гільз дизелів відбувається через тріщини в галтелях під посадочним буртом і ресурсний знос внутрішньої поверхні, так званого "дзеркала".

Це пов'язано з цілим рядом обставин: форсування дизелів, відстала технологія виготовлення і ремонту окремих деталей, складання вузлів і дизеля в цілому, підсилення умов експлуатації, погіршення якості палива і мастила, відсутність вискоефективних присадок до охолоджуючої рідини, низька корозійна і кавітаційно-ерозійна стійкість матеріалів, що використовуються, відсутність ясності в питаннях про механізми руйнування матеріалів і покриттів.

При застосуванні будь-якого технологічного методу підвищення зносостійкості ТС дизелів, алгоритм його вибору повинен ґрунтуватися на даних, що характеризують знос гільзи циліндра чи інших деталей, а також визначення необхідних властивостей деталей у кожній точці робочої поверхні та параметрів технологічного процесу.

Зміцнення деталей шляхом модифікування поверхні має ряд переваг у порівнянні з нанесенням зміцнюючих покриттів. В останнє десятиріччя почали використовувати лазерне модифікування поверхонь тертя. Але широкого застосування воно, поки що, не знайшло: по-перше – висока вартість; по-друге – однозначних висновків дослідників ще не зроблено.

При лазерному модифікуванні впливу підлягає шар основного матеріалу деталі, товщиною і властивостями якого можна керувати за рахунок технологічних параметрів процесу обробки. Цей процес можна реалізувати без спеціальних операцій підготовки поверхні. Крім того, можна відмовитися від використання легуючих елементів, що дорого коштують. Найважливішою перевагою лазерного модифікування є те, що модифікована поверхня є єдиним цілим з основою.

Застосування технологічних методів підвищення довговічності гільз циліндрів дизелів ССРС залізниць вимагає індивідуального підходу, особливо при модифікуванні.

У роботі [5] запропоновано лазерне модифікування робочої поверхні гільз циліндрів. Але воно вимагає індивідуального підходу до кожного типорозміру гільзи з метою вибору оптимальних умов зміцнення, регулювання ширини зони модифікування, кроку обробки і кута нахилу зміцненої доріжки стосовно верхнього бурту для виключення східчастого зносу в зоні ВМТ, а також повного усунення термічних деформацій.

Тому для проведення лазерного модифікування гільз циліндрів необхідно провести моделювання їх термонапруженого стану. Це дозволить визначити дискретну густину потужності лазерного випромінювання, що потрібна для забезпечення необхідних зносостійких властивостей за робочою поверхнею гільз циліндрів дизелів.

Мета роботи

Метою роботи є моделювання процесів модифікування гільз циліндрів дизелів.

Методи та результати

Спрацювання гільз циліндрів дизелів має чітко виражену границю зношування на відстані 15...20 мм від верхньої площини, що обумовлено конструктивними особливостями – верхнє компресійне кільце на цю відстань не доходить до краю гільзи циліндрів. Також незначний знос спостерігається від нижньої мертвої точки і до краю гільзи циліндрів внизу, де діаметри гільзи циліндрів майже не змінюються і не виходять за допустимі межі.

Для адекватності обраних режимів лазерного модифікування гільз циліндрів дизелів було використано прикладний пакет CosmosWorks середовища Solid Works та проведено моделювання напружено-деформованого стану гільз циліндрів, що виникає в процесі роботи дизелів.

Результати моделювання гільзи циліндрів дизелів сімейства ЯМЗ наведені на рис. 1 – 4.

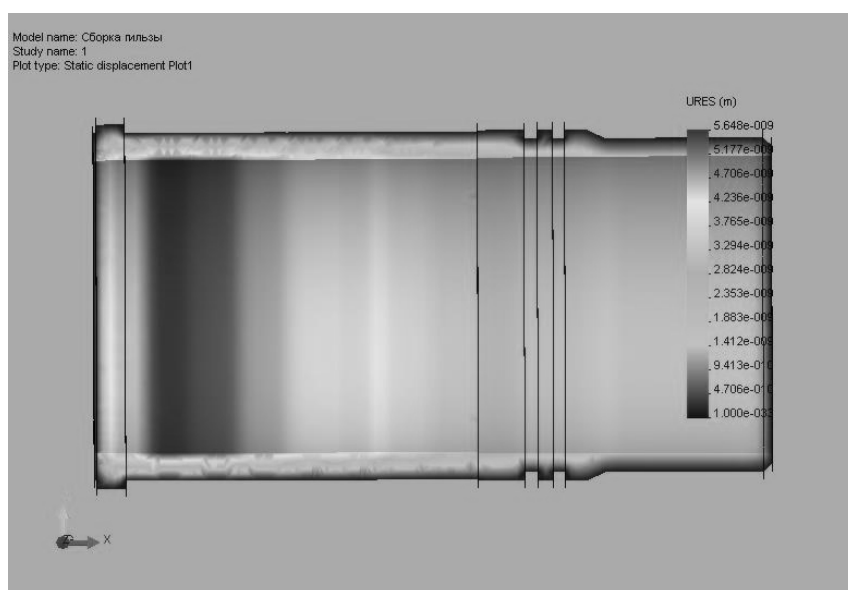
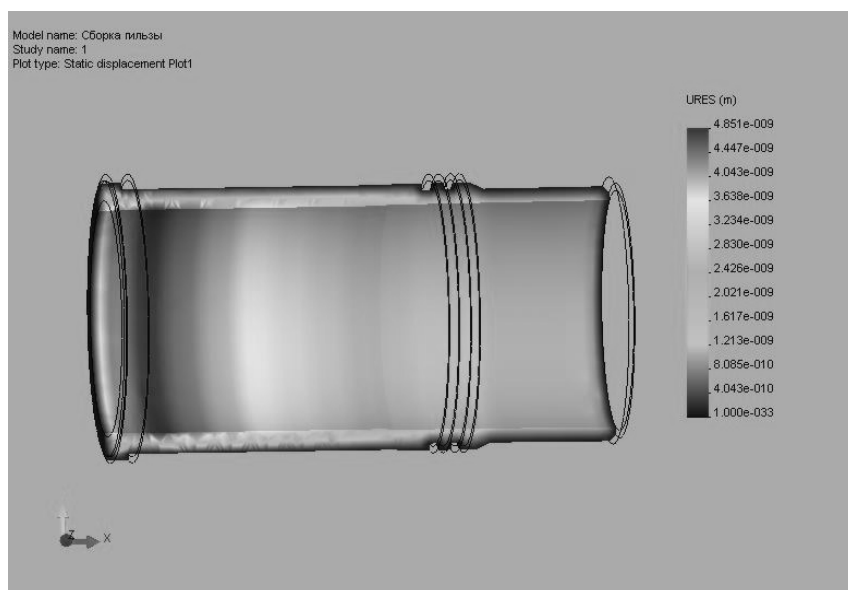
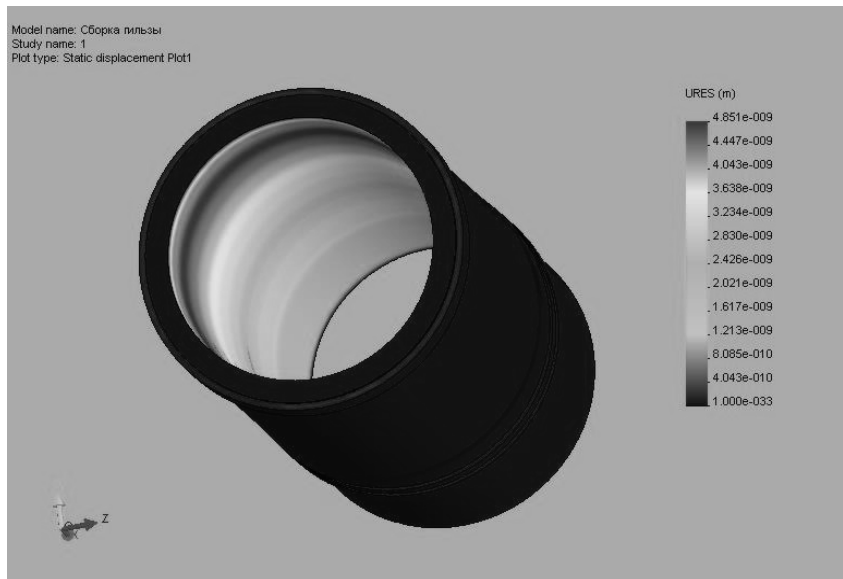


Рис. 1. Напружено-деформований стан гільз циліндрів дизелів сімейства ЯМЗ під час робочого ходу поршня



a



б

Рис. 2. Термонапружений стан гільз циліндрів дизелів сімейства ЯМЗ в момент загорання робочої суміші: а – в розрізі; б – загальний вигляд

З рис. 1, 2 спостерігається наступна картина напружено-деформованого стану гільз циліндрів дизелів ЯМЗ: при робочому ході поршня область найбільших навантажень локалізовано у верхній частині гільзи на відстані 12...65 мм. Спостерігається проявлення чітко вираженого, характерного градієнту напружень, а в момент загорання робочої суміші – пік навантаження зміщується вгору, що пояснюється комбінацією впливів тиску, температури, хімічної адсорбції та дифузії взаємодіючих речовин.

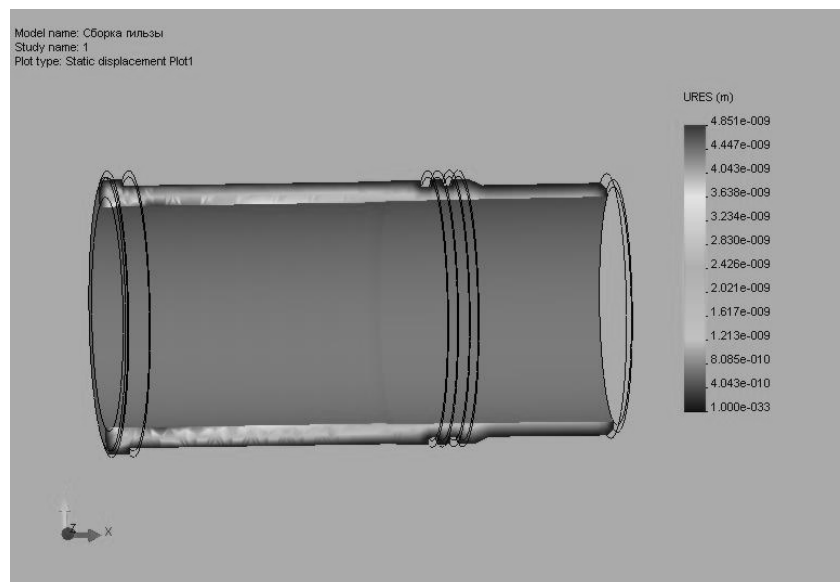


Рис. 3. Розподіл внутрішніх напружень гільз циліндрів дизелів сімейства ЯМЗ при максимальних тисках

Моделювання, що наведене на рис. 3, свідчить про явний перерозподіл внутрішніх напружень за глибиною поверхневого шару матеріалу гільзи циліндрів дизелів.

Можна твердити, що у випадку максимальних напружено-деформованих зон проявляється найбільша інтенсивність зносу.

При навантаженні з умовно знятими обмеженнями (рис. 4) розподіл термонапружених пластичних деформацій матеріалу гільзи циліндрів дизелів ЯМЗ свідчить про умо-

вний сумарний вплив дієвих визначальних факторів. Тобто, проявляється переорієнтація впливів при відповідних тактах роботи циліндрів дизелів. Відповідно до моделювання, знос проявляється як результат сукупності дій чинників впливу.

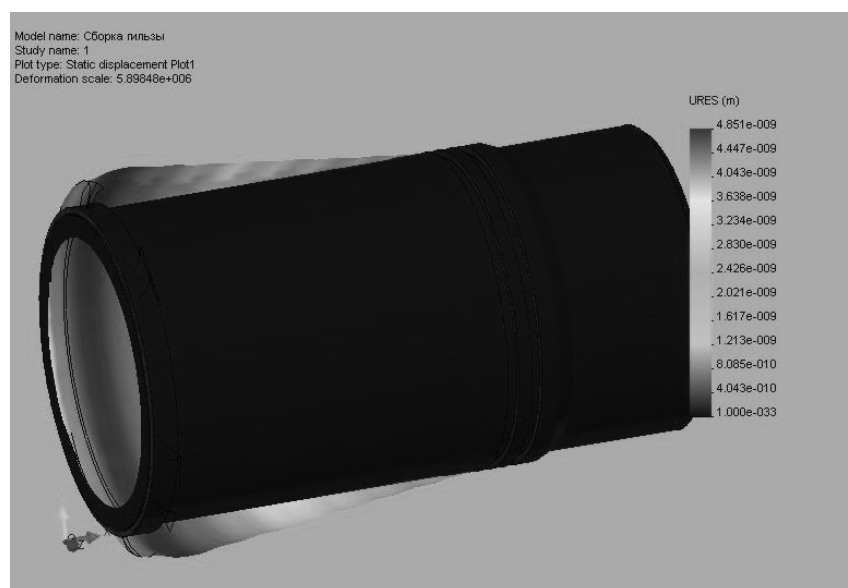


Рис. 4. Розподіл термонапружених пластичних деформацій матеріалу гільз циліндрів дизелів сімейства ЯМЗ при їх навантаженні з умовно знятими обмеженнями

Характерний колір робочої поверхні гільзи циліндрів є ознакою в застосуванні відповідної густини потужності лазерного випромінювання. Тому моделювання є основою для вибору режимів лазерного модифікування гільз циліндрів дизелів ССРС залізниць.

Висновки

Моделювання напружено-деформованого та термонапруженого стану гільз циліндрів дизелів спеціального самохідного рухомого складу залізниць дозволяє вибрати густину потужності лазерного випромінювання при модифікуванні їх робочої поверхні. Модифікування відповідно до моделювання дозволить отримувати робочу поверхню гільз циліндрів дизелів з дискретними властивостями, які забезпечать підвищення довговічності дизелів у цілому.

Список літературних джерел

1. Канарчук В.Е. Долговечность и износ двигателей при динамических режимах работы. – К.: Наукова думка, 1978. – 256 с.
2. Барановський Д.М., Жулай О.Ю. Проблема довговічності дизелів засобів транспорту // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – 2009. – Вип. 5/2009 (58) ч. 1. – С. 96-99.
3. Сухарев Э.А. Эксплуатационная надежность машин. Теория, методология, моделирование: Учебное пособие. – Ровно, НУВХП, 2006. – 192 с.
4. Барановський Д.М. Теоретичне обґрунтування зниження інтенсивності зношування трибосистем дизелів // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. – 2010. – № 1. – С. 62-66.
5. Барановський Д.М. Теоретичне обґрунтування зниження зносу трибосистем дизелів при лазерному модифікуванні // Проблеми машиностроения. – 2010. – № 2. – С. 25-31.

ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ

УДК 621.922

В.І. Кальченко, д-р техн. наук
В.В. Кальченко, д-р техн. наук
А.В. Кологойда, аспірант

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ТОРЦІВ ГОЛОК ПРИ ШЛІФУВАННІ ЗІ СХРЕЩЕНИМИ ОСЯМИ КРУГА ТА РОБОЧОГО ВАЛИКА

Пропонується методика розрахунку, яка дозволяє визначити локальні, на конкретній ділянці поверхні, миттєві і середні температури на кінцях голок під час шліфування зі схрещеними осями інструмента і робочого валика.

Голчасту поверхню барабанів і робочих валків текстильних машин на відомих верстатах [1] шліфують периферією циліндричного круга при паралельних осях його і деталі в процесі багатопрохідної обробки з поздовжньою подачею. Знімання припуску здійснюється за пружною схемою, де в процесі створення натягу в системі круг-деталь голки оплавляються за рахунок високих температур в зоні шліфування, що знижує якість заточування.

Запропоновано новий спосіб шліфування голчастої поверхні зі схрещеними осями круга і деталі [2]. Чорнове шліфування голчастої поверхні робочих валиків 1 (рис. 1, А-А, М, К) здійснюється торцем круга 2, а чистове – периферією з поступовим зменшенням глибини різання в напрямку формоутворюючої ділянки, за рахунок повороту круга в вертикальній площині, що підвищує якість заточування.

Для аналізу температури θ в процесі шліфування голок у вигляді вигнутих циліндричних стержнів, у яких тепло розповсюджується вздовж їх осі у напрямку однієї координати, була використана формула [3]

$$\theta = \frac{2 \cdot q}{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{\omega \cdot \tau}{\pi}} + \theta_0, \quad (1)$$

де q – густина теплового потоку; ω – коефіцієнт температуропровідності матеріалу, що обробляється; λ – коефіцієнт теплопровідності; θ_0 – температура оточуючого середовища; τ – час контакту круга і голки.

Густина теплового потоку

$$q = \frac{b \cdot N}{F}, \quad (2)$$

де b – коефіцієнт, який враховує розподіл теплового потоку між стружкою та голкою; N – ефективна потужність шліфування; F – площа поверхні контакту круга і голки.

У загальному вигляді ефективна потужність шліфування торця голки дорівнює [3]

$$N = \frac{a \cdot Q}{\tau}, \quad (3)$$

де Q – об'єм металу, зішліфованого кругом з торця голки; a – питома робото спроможність круга, яка визначається потужністю, що витрачається на знімання одиниці об'єму металу.

При визначенні миттєвої потужності N_m у вираз (3) підставляють миттєву продуктивність Q_m шліфування торця голки, яка визначається об'ємом металу, що підводиться до поверхні контакту F і F_l (рис. 1, М, К), і має вигляд поверхневого інтегралу

$$Q_m = \int_{i_1}^{i_2} \left(\int_{\theta_{2ki}}^{\theta_{2ki}} V_n \cdot R_i \cdot d\theta_k \right) \sqrt{\left(\frac{dR_i}{di} \right)^2 + \left(\frac{dZ_i}{di} \right)^2} \cdot di, \quad (4)$$

де R_i – радіус перерізу круга в межах i -тої точки; Z_i – його осьова координата; θ_k – кутовий параметр круга; $R_i \cdot d\theta_k$ – довжина плями контакту, яка вимірюється вздовж кола i -тої точки профілю круга (рис. 1, М); $\sqrt{\left(\frac{dR_i}{di} \right)^2 + \left(\frac{dZ_i}{di} \right)^2}$ – елементарна ширина плями контакту.

Границі плями контакту визначаються з рішення векторних рівнянь поверхонь круга і деталі в системі координат круга. Загальна тривимірна модель робочих поверхонь круга при шліфуванні зі схрещеними осями інструмента і деталі, яка враховує умови правки круга, його знос, припуск, що знімається, і форму заготовки, наведена в роботі [5]. 3D моделювання поверхонь, що обробляються при шліфуванні зі схрещеними осями круга і деталі, викладена в роботі [6].

В рівнянні (4)

$$V_n = V_x \cdot n_{0x} + V_y \cdot n_{0y} + V_z \cdot n_{0z}, \quad (5)$$

де V_x, V_y, V_z – проекції вектора відносної швидкості (рис. 1) деталі і круга на його координатні осі; n_{0x}, n_{0y}, n_{0z} – проекції вектора одиничної нормалі n_0 .

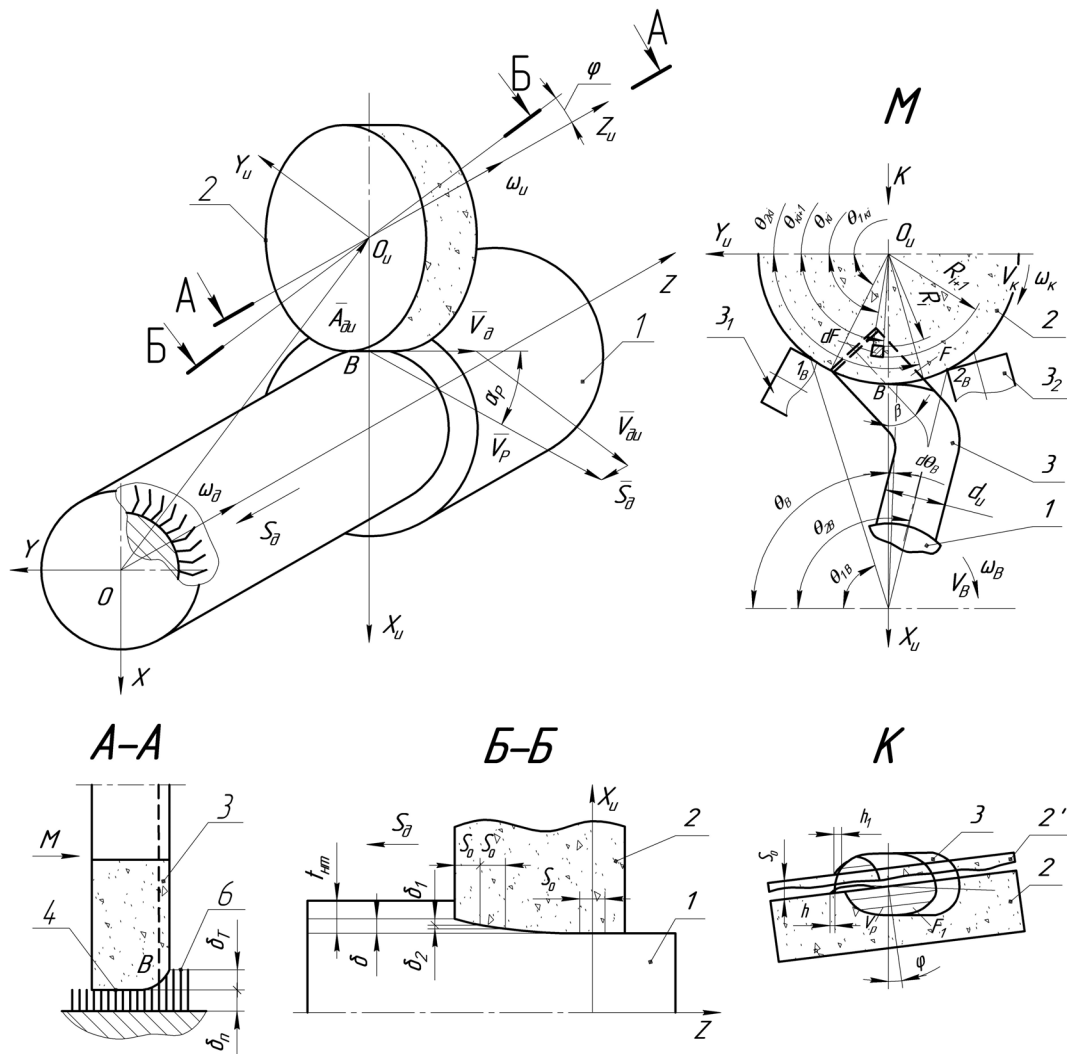


Рис. 1. Схема шліфування голчастої поверхні зі схрещеними осями круга і робочого валика

З рівняння (5) визначають V_n , а потім з (4) – миттєву Q_m продуктивність шліфування.

Для розрахунку потужності шліфування за формулою (3) необхідно знати значення a – питомої працездатності круга. У роботі [7] наведено методику та вираз для розрахунку a , яке отримано на базі експериментальних досліджень. При експериментальному визначенні значень a (3) активний контроль припуску, що знімається з торця голок здійснювали за методикою, наведеною у роботі [8].

Час контакту τ (1) (3) шліфувального круга і голки визначається за формулою

$$\tau = \int_{\theta_{1B}}^{\theta_{2B}} \frac{d\theta_B}{\omega_B}, \quad (6)$$

де θ_{1B} , θ_{2B} – граничні значення кута θ_B контакту голки 3, у положеннях 3₁ і 3₂, (рис. 1, М) і круга 2, в положеннях 1В і 2В, під час її шліфування; ω_B – кутова швидкість робочого валика 1, на якому закріплені голки 3.

Визначивши з рівняння (4) миттєву продуктивність шліфування Q_m і підставивши її в формулу (3), отримаємо миттєву потужність шліфування N_m . При визначенні питомої потужності шліфування N_y , що припадає на один мм висоти круга 2 або на величину S_o поздовжньої подачі круга на оберт деталі (рис. 1, К; при швидкісному шліфуванні голок), у формулу (3) підставляють значення питомої продуктивності шліфування Q_y , отриманої з рівняння

$$Q_y = \int_{\theta_{1ki}}^{\theta_{2ki}} V_n \cdot R_i \cdot d\theta_k, \quad (7)$$

де θ_{1ki} , θ_{2ki} і R_i (рис. 1, М) – аналогічні наведеним у рівнянні (4), визначаються рішенням векторних рівнянь круга r_i [5] і деталі r_o [6].

Для визначення локальної потужності шліфування N_l , яка, наприклад, необхідна при визначенні локальних максимальних температур на шліфуємій поверхні голки, у формулу (3) підставляють локальну продуктивність шліфування Q_l . Її знаходять з рівняння (4) для локальної елементарної площадки dF (рис. 1, М), яка визначається межами інтегрування i_1 , i_2 і θ_{1ki} , θ_{2ki} . Середню потужність шліфування N_{cp} однієї голки визначають з формули (3), підставляючи в неї середню продуктивність шліфування Q_c , яку знаходять з рівняння

$$Q_c = \int_0^\pi Q_m \cdot d\tau, \quad (8)$$

де τ – час обробки однієї голки, переміщуваної з положення 3₁ в 3₂ (рис. 1, М), знаходять за формулою (6).

При визначенні щільності q теплового потоку (2), площинки F і F_l поверхонь контакту круга 2 (рис. 1, М, К) та голки 3 знаходять з рівняння

$$F_m = \int_{i_1}^{i_2} \left(\int_{\theta_{1ki}}^{\theta_{2ki}} R_i \cdot d\theta_k \right) \sqrt{\left(\frac{dR_i}{di} \right)^2 + \left(\frac{dZ_i}{di} \right)^2} \cdot di, \quad (9)$$

де F_m – миттєва площа контакту круга і голки, при цьому параметри в рівнянні (9) аналогічні значенням в рівнянні (4).

Питому площу F_y , яка (9) представляє собою внутрішній інтеграл, знаходять з виразу

$$F_y = \int_{\theta_{1ki}}^{\theta_{2ki}} R_i \cdot d\theta_k. \quad (10)$$

Локальну площу F_l знаходять з рівняння (9) для локальної елементарної площадки dF (рис. 1, М). Середню площу контакту F_c однієї голки з колом за час τ її обробки, знаходять з рівняння

$$F_c = \int_0^{\tau} F_m \cdot d\tau. \quad (11)$$

Коефіцієнт температуропровідності ω оброблюваного матеріалу

$$\omega = \frac{\lambda}{c \cdot \gamma}, \quad (12)$$

де c – питома теплоємність; γ – щільність речовини.

Робочий елемент голки 3 (рис. 1, М, К) має форму еліпса, розміри більшої осі якого залежать від кута β нахилу голки відносно прямої, що перпендикулярна осям обертання круга 2 і деталі 1.

Як показали розрахунки (1) і експериментальні дослідження [1] відомих методів шліфування голчастих поверхонь за пружною схемою, температури θ (1), які виникають в процесі шліфування, перевищують 750°C . Це призводить до оплавлення вершини голки, у результаті чого виникає задирка h , розміри якої залежать від режиму заточування, оброблюваного матеріалу, характеристики круга і знаходяться у межах $h = 0,03-0,15$ мм, при допустимих значеннях $h = 0,01-0,02$ мм.

При шліфуванні голчастої поверхні за новим способом [2] зі схрещеними осями круга 2 (рис. 1) і робочого валика 1 весь припуск знімається за один прохід.

При зніманні чорнового припуску торцем круга 2 (рис. 1, М, К) спочатку отримуємо максимальну задирку h на вертикальній поверхні F (рис. 1, М) голки, яка потім зрізується тим же торцем круга в процесі його осьової подачі S_o (рис. 1, К). Чистове шліфування торця голки 3 здійснюється периферією круга 2. При цьому орієнтація його на кут φ (рис. 1, К) здійснюється таким чином, щоб після знімання чорнового припуску $t_{\text{нт}}$ торцем круга (рис. 1, Б-Б), отримана величина дефектного шару на торці голки не перевищувала половини припуску δ для чистового шліфування периферією круга. Переріз орієнтованого круга 2 (рис. 1, Б-Б) площиною, що проходить через початок координат O_n і вісь OZ оброблюваної деталі 1, дає на периферії круга еліпс з величиною випуклості δ формоутворюючої ділянки, яка залежить від кута орієнтації φ круга, його діаметра і висоти [9].

Напрямок і розмір вектора V_p результуючої швидкості заточування голчастої поверхні барабана визначають її якість. V_p – знаходимо векторним засобом з рівняння

$$\bar{V}_p = (\bar{\omega}_\delta + \bar{\omega}_{\text{ду}}) \times \bar{r}_\delta + \bar{A}_{\text{ду}} \times \bar{\omega}_{\text{ду}} + \bar{S}_\delta \quad (13)$$

де ω_δ – вектор кутової швидкості деталі в її системі координат; $\omega_{\text{ду}}$ – вектор кутової швидкості круга в системі координат деталі; r_δ – радіус-вектор точок голчастої поверхні деталі в її системі координат; $A_{\text{ду}}$ – радіус-вектор початку O_u координат інструмента в системі координат деталі; S_δ – вектор швидкості осьової подачі деталі в її системі координат.

Розв'язавши рівняння (13), отримаємо квадратну матрицю четвертого порядку, останній стовпець якої визначає проекції V_x , V_y , V_z вектора V_p у системі координат деталі. Модуль результуючої швидкості різання визначають з виразу

$$|\bar{V}_p| = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2} \quad (14)$$

Кут α_p (рис. 1) між вектором V_p результуючої швидкості заточення і площиною нахилу голок гарнітури, яка перпендикулярна до осі деталі, знаходимо з співвідношення

$$\alpha_p = \arctg \frac{V_z}{V_y} \quad (15)$$

Зі збільшенням V_p і α_p зменшується величина задирки h на робочому кінці голки. В залежності від допустимої величини h задирки з рівняння (13) визначають конструктивні і налагоджувальні параметри верстата для заточування голок.

При заточуванні голчастої поверхні по новому способу за один прохід припуск δ_n , який залишається для чистового шліфування периферією круга, повинен бути більшим, ніж розмір задирки h , яка отримана після чорнового шліфування торцем круга. Наладка на розрахунковий припуск δ_n здійснюється поворотом на кут φ осі круга відносно осі O_uX_u , яка співпадає з нормаллю до утворюючої деталі. Кут φ повороту круга розраховують з виразу

$$\varphi = \arcsin \frac{2\sqrt{\delta_n \cdot D_{кр}}}{K}, \quad (16)$$

де δ_n – припуск, який знімається при чистовому шліфуванні периферією круга; $D_{кр}$ – діаметр круга; K – висота круга, яка виконує чистове шліфування периферією круга.

Відстань L між осями круга і деталі при шліфуванні розраховують з виразу

$$L = \frac{D_{кр}}{2} + \frac{D_d}{2} - \delta_T - \delta_n, \quad (17)$$

де D_d – діаметр деталі до обробки; δ_T – припуск, який зрізається торцем круга при чорновому шліфуванні.

Позначення $D_{кр}$ і δ_n аналогічні наведеним у формулі (16).

Експериментальні дослідження шліфування голок зі схрещеними осями круга і деталі здійснювались на верстаті з ЧПК моделі ВЗ 208-ФЗ. Було оброблено робочий валик з зовнішнім діаметром голчастої поверхні 145 мм і довжиною робочої частини 450 мм. Шліфування голок діаметром 0,3 мм проводилось одночасно периферією і торцем циліндричного круга I-200×25×32 25 А 25 СМ1 7К зі швидкістю шліфування 35 м/с. Чорновий припуск, який знімався торцем круга $t_{нт} = 0,5$ мм, чистовий – його периферією, $t = 0,05$ мм, який забезпечувався кутом орієнтації $\varphi = 6^\circ$ (рис. 1, К) круга 2. Кругова подача деталі (голок) $V_g = 15$ м/с, осьова подача $S_o = 0,051$ мм на оберт робочого валика.

Для розрахунку температури θ на торці голки за формулою (1), при визначенні густини теплового потоку q (2), підставляли експериментально визначену ефективну потужність шліфування.

Границі плями контакту F і F_l (рис. 1, М, К) голчастої поверхні робочого валика 1 і циліндричного абразивного круга 2 визначали рішенням векторних рівнянь поверхонь інструменту r_i [5] і деталі r_d [6]. Знаючи площу контакту і число голок, розташованих на ній, знаходили ефективну потужність шліфування однієї голки і температуру θ (1) на її торці.

Для визначення локальних температур θ_i на різних ділянках профілю круга експериментально знаходили на них питому потужність N_y шліфування. При цьому визначали частини загального припуску δ (рис. 1, Б-Б) для чистового шліфування, кожна з яких знімається одним міліметром периферії круга 2, $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_i$ за один оберт деталі 1, при величині поздовжньої подачі $S_o = 1$ мм /об. Знаючи питому потужності N_{yi} уздовж периферії круга, знаходили локальні температури θ_{li} на торцях голок. Кількість їх визначали з питомої площі F_y контакту (10).

При визначенні температури θ_i на торцях голок, які шліфуються торцем круга, знаходимо загальну потужність шліфування N_o периферією N_{II} і торцем N_T круга, а потім, знаючи N_o та N_{II} , визначали N_T

$$N_T = N_o - N_{II}. \quad (18)$$

Після визначення площі контакту торця круга і голчастої поверхні знаходили потужність шліфування однієї голки і температуру θ (1) на її торці.

Запропонована методика визначення локальних температур уздовж профілю круга була використана не тільки при заточенні голок, але й при шліфуванні циліндричної поверхні валика (рис. 1, Б-Б), призначеної для монтажу голчастої гарнітури.

Локальну температуру θ_i уздовж профілю круга визначали, починаючи з калібруючої ділянки його периферії (рис. 1, точка В). Глибина різання для кожного наступного оберту валика 1 збільшувалася на величину δ_i (рис. 1, Б-Б), що забезпечує додатковий контакт профілю круга 2 уздовж осі деталі 1 на довжині, рівній подачі S_o . Для кожного оберту деталі записувалася потужність N_{Pi} . Питому потужність N_{Pi} для i -тої точки профілю круга визначали із співвідношення

$$N_{yi} = N_{ni+1} - N_{ni}. \quad (19)$$

У такий спосіб визначали питомі потужності уздовж усього профілю периферії круга й з (1) – локальні температури θ_i на поверхні контакту круга й циліндричної поверхні деталі.

Висновки

Запропонована методика розрахунку, яка дозволяє визначати локальні θ_i , питомі θ_y , миттєві θ_m і середні θ_c температури на торцях голок під час шліфування зі схрещеними осями круга і робочого валика. Це дає можливість оцінити теплонапруженість процесів шліфування голок різними методами і якість обробленої поверхні.

Розроблено новий спосіб глибинного шліфування торців голок периферією й торцем круга, що забезпечує підвищення продуктивності і якості заточення, при максимальній величині задири на торці голки $h = 0,02$ мм.

Список літературних джерел

1. Кальченко В.В. Влияние кинематики заточки на качество обработанной поверхности барабанов текстильных машин // Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье. Материалы межд. – научн. – техн. конф. – Харьков, 12–14 мая 1997. Часть 2, С. 278-281.
2. Деклараційний патент України на винахід (корисну модель) № 14240 В24В19/00 “Спосіб заточування голчастої поверхні периферією і торцем орієнтованого круга” /В.В. Кальченко, – Опубл. 15.05.2006р. Бюл. № 5.
3. Давыдов В.М. Исследование тепловых явлений при шлифовании твердого сплава алмазными кругами // Известия вузов. Машиностроение, 1967, № 11, С. 141-146.
4. Кальченко В.В. Визначення потужності шліфування орієнтованим інструментом // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 1999. - №9. С. 120-126.
5. Кальченко В.В. Общая трехмерная 3D модель поверхностей кругов при шлифовании со скрещивающимися осями инструмента и деталей // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. Збірка наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2001. №6. – С. 114-118.
6. Кальченко В.В. 3D моделирование обрабатываемых поверхностей при шлифовании со скрещивающимися осями кругов и деталей // Високі технології в машинобудуванні. Збірник наукових праць НТУ “ХПІ”. – Харків, 2001 – Вип. 1 (4). – С. 149-153.
7. Шахновский С.С. Расчет мощности торцового шлифования. Станки и инструмент, №2, 1987, С. 23 – 24.
8. Кальченко В.В., Пасов Г.В., Лясота В.Ю. Активний контроль зняття припуску при шліфуванні торців циліндричних деталей // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Міжн. наук.-техн. журнал. – Хмельницький: Технол. ун-т Поділля, 1999. № 3, С. 165 – 167.
9. А.с. 1234163 СССР МКИ В24В 5 / 04. Способ круглого шлифования с продольной подачей // Кальченко В.И., опубл. 1986, бюл. 20.

УДК 621.923.42

Рудик А.В., канд. техн. наук,

Рудик В.А., студент

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ПРОДУКТИВНІСТЬ ОБРОБКИ ТОРЦІВ НА ТОРЦЕВО-ШЛІФУВАЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ

Виконані порівняльні розрахунки швидкості підведення металу до ділянок робочої торцевої поверхні абразивних кругів, що мають різний профіль при довільній кінематиці. Встановлено характер зміни товщини шару, що зрізається, по координатах торцевої поверхні з врахуванням її стану та наладки верстату 3342 АДО.

Вступ

Продуктивність шліфування торцевою поверхнею абразивного інструмента є високоефективним процесом оздоблювальної обробки торців деталей. Вона визначає навантаження на ділянки його робочої поверхні, знос профілю, потужність, що витрачається на різання, та теплову напруженість. Відома залежність для визначення продуктивності підведення припуску в зону обробки [1,2]:

$$Q = \iint_S V_n \cdot dS, \quad (1)$$

де V_n – проекція швидкості відносного руху на напрям вектору одиничної нормалі $\vec{n}$ до поверхні інструмента,

S – розміри поверхні контакту між заготовкою та абразивним інструментом, які визначають рішенням векторних рівнянь поверхонь.

Для визначення гранично можливої продуктивності, теплової напруженості, товщини зрізу по координаті обробки процесу торцевого шліфування та проведення аналізу можливостей методу слід вміти знаходити інтенсивність V_n підведення металу до торцевої поверхні круга вздовж її координат. Задачі по розрахунку продуктивності обробки на верстаті 3342 АДО рішались у наукових працях Кальченка В.В., Венжеги В.І. [2,4] та інших авторів для нових та традиційних методів. Однак не було отримано рівняння у явному вигляді для розрахунку швидкості підведення металу по координаті обробки, що ускладнює аналіз можливостей різних методів.

Мета статті

Метою даної роботи є підвищення ефективності та точності процесу торцевого шліфування шляхом знаходження у явному вигляді та аналізу рівняння підведення металу до поверхні круга і розрахунок товщини шару, що зрізається, по координатах обробки з врахуванням стану робочої поверхні круга та параметрів наладки верстату.

Досягнення мети потребує рішення наступних задач:

- спростити кінематику верстата та залишити лише ті швидкості, що безпосередньо впливають на підведення металу;
- визначити в залежності від кутів орієнтації шліфувальної бабки рівняння вектору нормалі до поверхні круга ;
- скласти рівняння у явному вигляді та провести його аналіз для швидкості V_n підведення припуску до робочої торцевої поверхні круга;
- розрахувати товщину шару, що зрізається різними ділянками торцевої поверхні інструмента.

Виклад основного матеріалу

Процес торцевого шліфування на двохсторонніх верстатах моделі 3342АДО за-

безпечує ефективну обробку деталей. Схема наладки даного верстату приведена на рисунку 1.

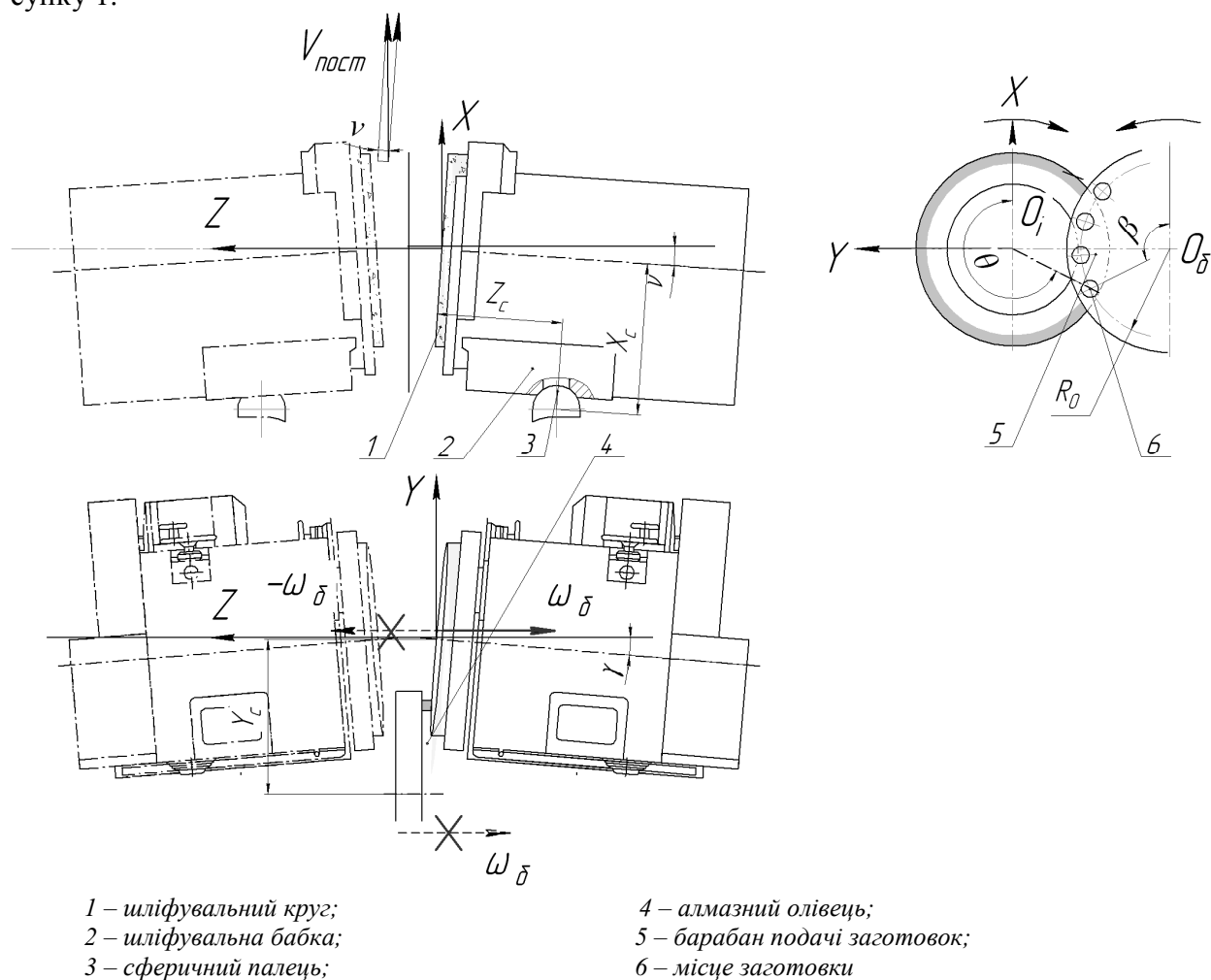


Рис. 1. Схема наладки верстату 3342АДО

Шліфувальна бабка 2 з кругом 1 орієнтована на кути розвороту γ та ν у горизонтальній та вертикальній площинах навколо сферичного пальця 3, встановленого на станині верстату. Кругову подачу заготовок здійснює завантажувальний барабан 5, в якому їх розміщують в отвори 6. Під час правки в отвір встановлюють алмазний олівець 4. Кінематика процесу шліфування торців деталей включає наступні обертальні рухи:

- інструменту, що призводить до ковзання його поверхні «самій по собі» та не змінює відносне положення щодо заготовки, тому цей рух можна не враховувати;
- барабану подачі ω_6 заготовок у робочий простір;
- заготовок відносно власної осі – цей рух не раціонально впливає на рівномірність та, по результатах роботи [6], не покращує якість шліфування.

Тому враховують лише обертання барабану подачі. Для спрощення кінематики перенесемо всі рухи до системи координат, зв'язаної з абразивним кругом. У інверсному русі, під час зупинки барабану подачі, шліфувальний круг здійснює обертання навколо його осі в протилежному напрямку, яке може бути показаним за допомогою вектора кутової швидкості ω_δ . Прикладемо два рівних протилежно спрямованих вектори кутової швидкості ω_δ у точці, яка розташована на осі круга. Протилежно спрямовані вектори (на рисунку перекреслені) утворюють пару обертань, яку можна замінити век-

тором швидкості поступального руху $V_{\text{пост}}$, спрямованого перпендикулярно площині пари, вздовж осі X системи координат верстата, що дорівнює

$$V_{\text{пост}} = \omega_{\delta} \cdot Y_c. \quad (2)$$

У системі координат круга за рахунок орієнтації шліфувальної бабки цей вектор має проекції на осі

$$V_{\text{пост}} = \omega_{\delta} \cdot Y_c \cdot [1 \ 0 \ v]^T. \quad (3)$$

Сумарний кут орієнтації інструмента δ (рис.1) можна визначити за правилом складання векторів повороту у горизонтальній та вертикальній площинах [1, 4]

$$\delta = \sqrt{\gamma^2 + v^2}. \quad (4)$$

Приведений до центру інструмента вектор кутової швидкості ω_{δ} , у свою чергу, можна розкласти на складові (рис.2, А-А,б), одна з яких спрямована по осі, а інша – у його площині обертання. Першу складову можна не враховувати, проекції іншої на осі системи координат круга дорівнюють

$$\omega_{\delta} \cdot \text{tg} \delta \approx \omega_{\delta} \cdot \sqrt{\gamma^2 + v^2} \approx [\omega_{\delta} \cdot v \ \omega_{\delta} \cdot \gamma \ 0]^T. \quad (5)$$

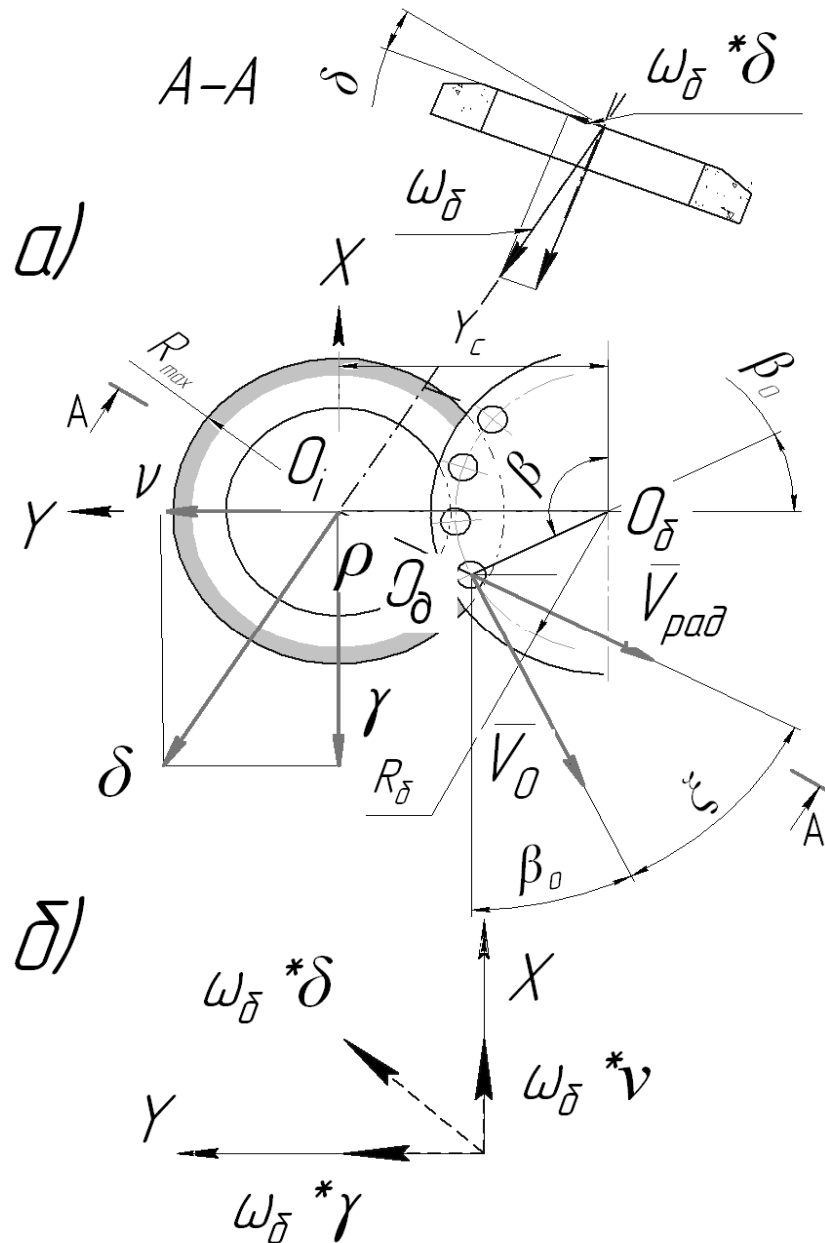


Рис. 2. Розкладання кутової швидкості на складові

Тоді сумарний рух заготовки відносно абразивного інструменту, який має проекцію на нормаль до його поверхні, у системі XYZ може бути визначений як

$$\vec{V}(\rho, \theta) = \vec{V}_{ном} + \vec{\omega}_n \times \vec{O_i O_o} = \dot{i} \cdot \vec{\omega}_o \cdot Y_c \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ v \end{bmatrix} + \begin{vmatrix} \dot{i} & \dot{j} & \dot{k} \\ \vec{\omega}_o \cdot v & \vec{\omega}_o \cdot \gamma & 0 \\ \rho \cdot \cos \theta & \rho \cdot \sin \theta & 0 \end{vmatrix}, \quad (6)$$

де $\rho = |\vec{O_i O_o}|$ – радіус біжучої точки торцевої поверхні (без врахування координати Z через її малість);

θ – кут, що визначає кутове положення цієї точки та має відлік від осі X.

У вигляді вектора стовпчика швидкість можна представити як

$$\vec{V}(\rho, \theta) = \vec{\omega}_o \cdot \rho \cdot \begin{bmatrix} \frac{Y_c}{\rho} & 0 & (v \sin \theta - \gamma \cdot \cos \theta) + \frac{Y_c}{\rho} \cdot v \end{bmatrix}^T. \quad (7)$$

Рівняння для визначення вектору нормалі до заправленої олівцем периферійної ділянки круга було отримано у роботі [2]:

$$\vec{n}(\rho, \theta) = [\cos \theta \cdot \sin \alpha(\rho) \quad \sin \theta \cdot \sin \alpha(\rho) \quad \cos \alpha(\rho)]^T, \quad (8)$$

де $\alpha(\rho)$ – кут між дотичною до ділянки профілю круга, яка розташована на радіусі ρ , та площиною обертання.

Враховуючи малі значення кута $\alpha(\rho)$, нехтуючи нескінченно малими другого порядку, вираз (8) можна переписати (рисунок 2):

$$\vec{n}(\rho, \theta) = [\cos \theta \cdot \alpha(\rho) \quad \sin \theta \cdot \alpha(\rho) \quad 1]^T. \quad (9)$$

Рівняння плоского торця отримаємо, якщо прийняти кут $\alpha(\rho) = 0$.

З урахуванням виразів (7), (9) можна визначити швидкість підведення металу по криволінійних координатах торця як скалярний добуток векторів:

$$V_n(\rho, \theta) = \vec{\omega}_o \cdot \rho \cdot \left[\frac{Y_c}{\rho} \cdot \cos \theta \cdot \alpha(\rho) + (v \sin \theta - \gamma \cdot \cos \theta) + \frac{Y_c}{\rho} \cdot v \right]. \quad (10)$$

Даний вираз є універсальним, він не накладає обмежень на форму торцевої поверхні круга та може бути використаним для визначення $V_n(\rho, \theta)$ інструменту, що має зношений профіль.

Для плоского торця подібне рівняння може бути отримане з (10) при $\alpha=0$

$$V_n(\rho, \theta) = \vec{\omega}_o \cdot \rho \cdot \left[v \cdot \left(\sin \theta + \frac{Y_c}{\rho} \right) - \gamma \cdot \cos \theta \right]. \quad (10a)$$

Однак, рівняння по визначенню кута $\alpha(\rho)$ в залежності від способу правки та розмірів наладки верстата не було отримано в явному вигляді.

Для визначення кута $\alpha(\rho)$, який вимірюють в осьовій площині, розглянемо схему формоутворення торцевої поверхні круга алмазним олівцем (рисунок 3). У площині його руху, що визначається вектором V_0 та віссю Z, знайдемо кут між цими напрямками

$$\alpha_0 \approx \cos(90^\circ - \alpha_0) = \frac{-V_z}{|\vec{V}_0|} = \frac{(-\vec{k}) \cdot \vec{V}_0}{|\vec{V}_0|}. \quad (11)$$

У свою чергу, швидкість переміщення олівця можна знайти за допомогою диференціювання за часом функції формоутворення [6]

$$\begin{aligned} \vec{r}_0(\beta) &= A^3(-Z_c) \cdot A^1(-X_c) \cdot A^5(-v) \cdot A^4(\gamma) \cdot \\ &A^3(Z_c) \cdot A^2(-Y_c) \cdot A^1(X_c) \cdot A^6(\beta) \cdot A^1(R_b) \cdot \vec{e}^4, \end{aligned}$$

де R_b, β – радіальне та кутове положення олівця під час правки круга (рис.2,3); X_c, Y_c, Z_c – координатні розміри, які характеризують положення сферичного пальця від-

носно барабану подачі:

$$\begin{aligned}\vec{V}_0(\beta) &= \frac{\partial \vec{r}_0(\beta)}{\partial t} = A^3(-Z_c) \cdot A^1(-X_c) \cdot A^5(-v) \cdot A^4(\gamma) \cdot \\ &A^3(Z_c) \cdot A^2(-Y_c) \cdot A^1(X_c) \cdot \frac{\partial A^6(\beta)}{\partial t} \cdot A^1(R_6) \cdot \vec{e}^4.\end{aligned}\quad (12)$$

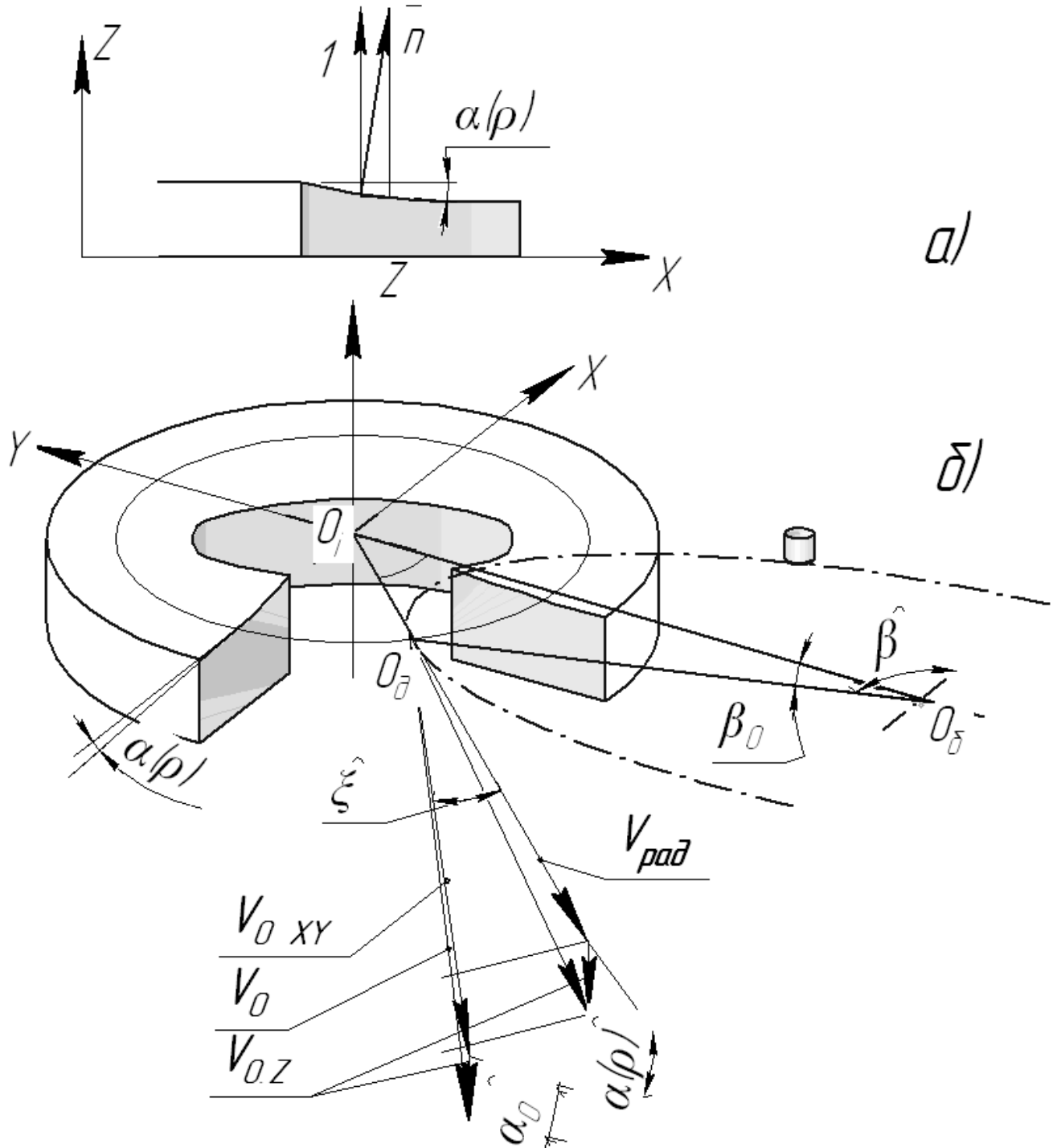


Рис. 3. Схема правки круга

Після спрощень отримали вираз

$$\vec{V}_0(\beta) = R \cdot [-\sin \beta \quad \cos \beta \quad \gamma \cdot \cos \beta - v \cdot \sin \beta]^T. \quad (13)$$

З урахуванням виразів (11), (13) та рівняння $\beta = \beta_0 + 90^\circ$ отримали

$$\alpha_0 \approx \sin \alpha_0 = \frac{-V_{0z}}{|\vec{V}_0|} \approx v \cdot \sin \beta - \gamma \cdot \cos \beta = v \cdot \cos \beta_0 + \gamma \cdot \sin \beta_0. \quad (14)$$

Кут між векторами V_0 та V_{pad} дорівнює ξ .

$$\alpha(\rho) \approx \operatorname{tg} \alpha(\rho) = \frac{V_z}{V_{pad}} = \frac{V_z}{V_{0xy} \cdot \cos \xi} \approx \frac{\alpha_0}{\cos \xi}.$$

Тоді кут нахилу ділянки профілю торцевої поверхні круга щодо площини обертання $\alpha(\rho)$, який заправлений за допомогою барабану подачі, визначається як

$$\alpha(\rho) = v \cdot \frac{\cos \beta_0}{\cos \xi} + \gamma \cdot \frac{\sin \beta_0}{\cos \xi} \quad (15)$$

Виключимо значення кута ξ з отриманого рівняння.

Використовуючи теорему синусів для трикутника $O_i O_6 O_d$, виражають значення відношення

$$\frac{\rho}{Y_c} = \frac{\sin \beta_0}{\sin(90 + \xi)} = \frac{\sin \beta_0}{\cos \xi},$$

$$\frac{\cos \beta_0}{\cos \xi} = \frac{\sqrt{1 - \sin^2 \beta_0}}{\cos \xi} = \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \xi} - \left(\frac{\rho}{Y_c}\right)^2}.$$

Значення $\cos \xi$ знаходимо з трикутника $O_i O_6 O_d$, використовуючи теорему косинусів. Після перетворень, враховуючи рівняння (15), остаточно отримуємо значення кута $\alpha(\rho)$ нахилу ділянки профілю інструменту радіусом ρ щодо площини обертання в залежності від кутів орієнтації шліфувальної бабки γ та v (рисунок 4)

$$\alpha(\rho) = \frac{\rho}{Y_{cm}} \cdot [v \cdot C(\rho) + \gamma], \quad (16)$$

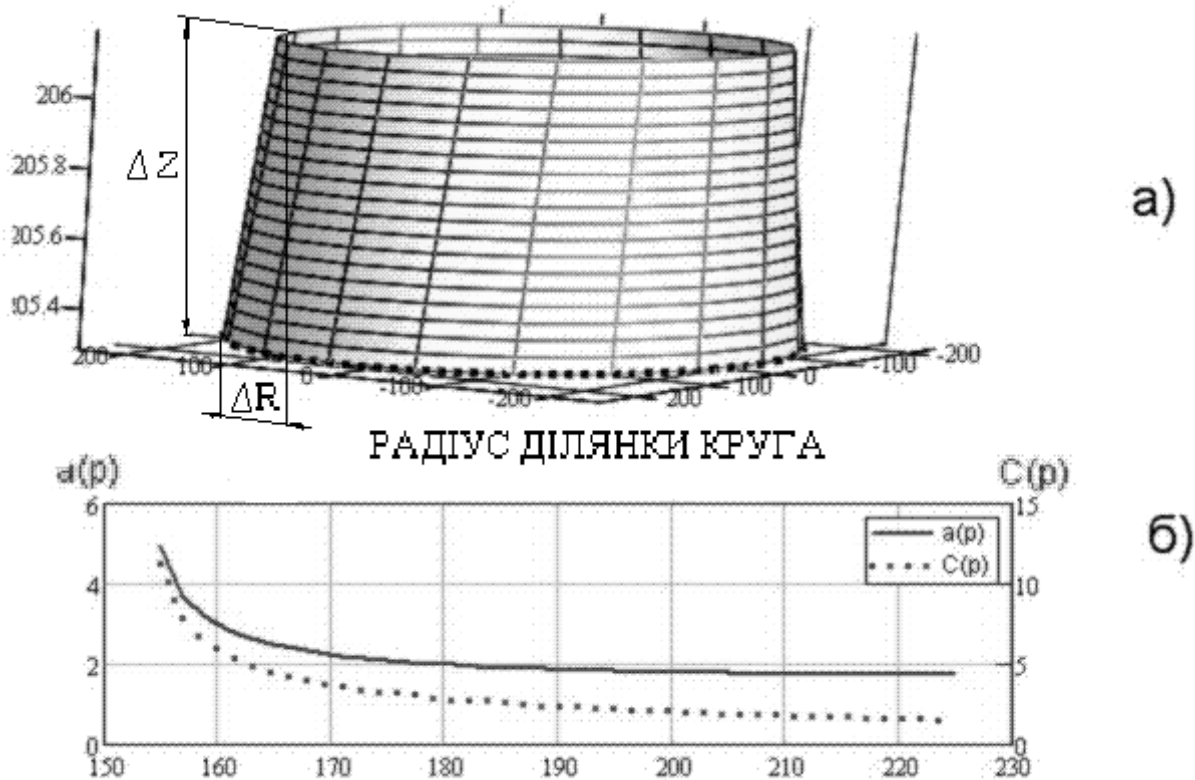


Рис. 4. Торцева ділянка шліфувального круга при збільшенні масштабу вздовж осі (а) та графіки зміни кута $\alpha(\rho)$ та коефіцієнта наладки $C(\rho)$ по радіусу (б) при $\gamma=0.025$, $v=0.016$

$$\text{де } C(\rho) = \frac{R_o^2 + Y_{cm}^2 - \rho^2}{\sqrt{\left[(\rho + R_o)^2 - Y_{cm}^2\right] \left[Y_{cm}^2 - (\rho - R_o)^2\right]}} - \text{змінний коефіцієнт, що враховує роз-}$$

міри наладки верстату 3342 АДО.

Отримана залежність перевірялась за результатами розрахунків, отриманих у співпраці з іншими авторами [5,6]. Відмінності результатів незначні. Так, для периферійної калібрувальної ділянки кут нахилу профілю (рисунок 4) можна знаходити як відношення

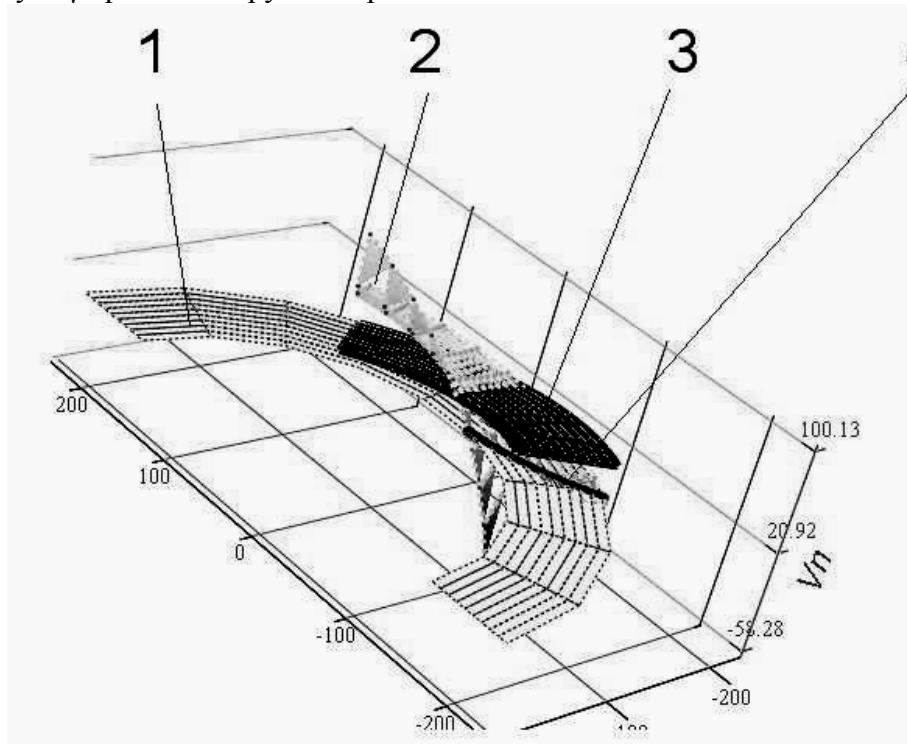
$$\alpha = -\arctan \frac{\Delta Z}{\Delta R} \approx -\frac{\Delta Z}{\Delta R}, \quad (17)$$

де Z , R – перепад розмірів сусідніх точок торця круга, що виміряні в осьовому та радіальному напрямках.

Визначимо проекцію швидкості підведення матеріалу на напрям вектору одиничної нормалі V_n в точці з криволінійними координатами (ρ, θ) , використовуючи рівняння (10), (16) для способу правки за допомогою олівця, встановленого до барабану подачі

$$V_n(\rho, \theta) = \varpi_o \cdot \rho \cdot v \cdot \left[\cos \theta \cdot C(\rho) + \sin \theta + \frac{Y_c}{\rho} \right]. \quad (18)$$

Відзначимо, що для даного методу правки швидкість підведення матеріалу не залежить від кута γ орієнтації круга в горизонтальній площині.



- 1 – поверхня відліку;
- 2 – $V_n(\rho, \theta)$ для нового способу правки при установці олівця в отвір барабану подачі заготовок;
- 3 – $V_n(\rho, \theta)$ для плоского торця;
- 4 – лінія контакту (характеристика) $V_n(\rho, \theta) = 0$, що визначає формоутворення торцем

Рис.5. Епюри зміни швидкості підведення матеріалу $V_n(\rho, \theta)$ по координаті обробки при співвідношенні кутів $\gamma=0.025$, $v=0.016$

З отриманої формули також випливає, що кутова швидкість барабану подачі заготовок та кут орієнтації його у вертикальній площині однаково впливають на швидкість підведення металу до торця інструменту, який заправлений новим способом.

При заданих розмірах $Y_{cm}=365$ мм, $R_0=212$ мм, кутовій швидкості обертання барабану подачі $\omega_0=5$ хв⁻¹ [6] графіки залежності $V_n(\theta, \rho)$ для точок торця круга приведені на рисунку 5 в залежності від способу правки.

Як бачимо, швидкість підведення припуску $V_n(\rho, \theta)$ зростає при плоскому торці $\alpha=0$ в міру наближення до виходу із зони обробки (поверхня 2), що не доцільно з точки зору забезпечення якості поверхні, та зменшується при правці алмазним олівцем (поверхня 3), встановленим в отвір барабану подачі заготовок, що сприяє перерозподілу функцій ділянок торця інструмента по мірі наближення до виходу з робочої зони.

Для моменту формоутворення $V_n(\rho, \theta)=0$ трансцендентне рівняння характеристики (лінія 4 на рис.5) визначається виразом у дужках для (18). Для плоского торця формоутворення здійснюється кромкою на виході.

Рівняння (10) та (18) можна використати для визначення товщини шару, що зрізається різальною кромкою при торцевому шліфуванні з метою підвищення його продуктивності до гранично можливого рівня, який визначається різальною здатністю інструмента.

Для цього обираємо довільний проміжок часу τ , в межах якого настає стабілізація ймовірностей графа системи «процес різання» [7]. Наприклад, приймаємо час одного оберту інструменту $\tau = \frac{2\pi}{\omega_u}$. Цей час поділимо на загальну кількість кроків K для ви-

значення часу, що потребує система на здійснення одного кроку для переходу до наступного стану. Тоді проміжок часу τ_k , за який відбувається k кроків по зміні стану системи різання при торцевому шліфуванні можна визначити:

$$\tau_k = \frac{2\pi}{\omega_u} \cdot \frac{k}{K}, \quad (19)$$

де K – загальна кількість кроків за час τ .

Траєкторії руху сусідніх різальних кромок близькі. Тому стовщення стружки по довжині можна вважати рівним нулю $=0$, на відміну від круглого шліфування, коли утворюються комоподібні зрізи.

Зміну швидкості підводу металу до робочої поверхні круга за час τ_k для деякого положення барабану подачі заготовок можна не враховувати та вважати практично постійною через малу зміну координат обробки, що обумовлені невеликою його кутовою швидкістю. У цьому випадку розрахунки значно спрощуються.

Глибину занурення припуску вглиб робочої поверхні круга за час τ_k визначають як

$$z_k = \int_0^{\tau_k} V_n(\rho, \theta) d\tau \approx V_n(\rho, \theta) \cdot \frac{2\pi}{\omega_u} \cdot \frac{k}{K}. \quad (20)$$

Решту розрахунків проводять згідно алгоритму, наведеному у роботі [7].

Проведені розрахунки дозволили знайти розподілення товщини зрізів вздовж координат обробки з урахуванням режимних параметрів, стану робочої поверхні інструмента після правки (або шліфування) та його зернистості (рисунки 7). Графіки побудовані для круга, заправленого за новим способом від барабану подачі заготовок.

Враховуючи те, що кути орієнтації γ та ν шліфувальних бабок верстату за умови досягнення кращої точності обробки звичайно пов'язані співвідношенням [2,4,5], можна визначити середнє значення товщини зрізу в функції від кутів β повороту барабану подачі та ν орієнтації шліфувальних бабок (рис.8) для різних профілів інструмента.

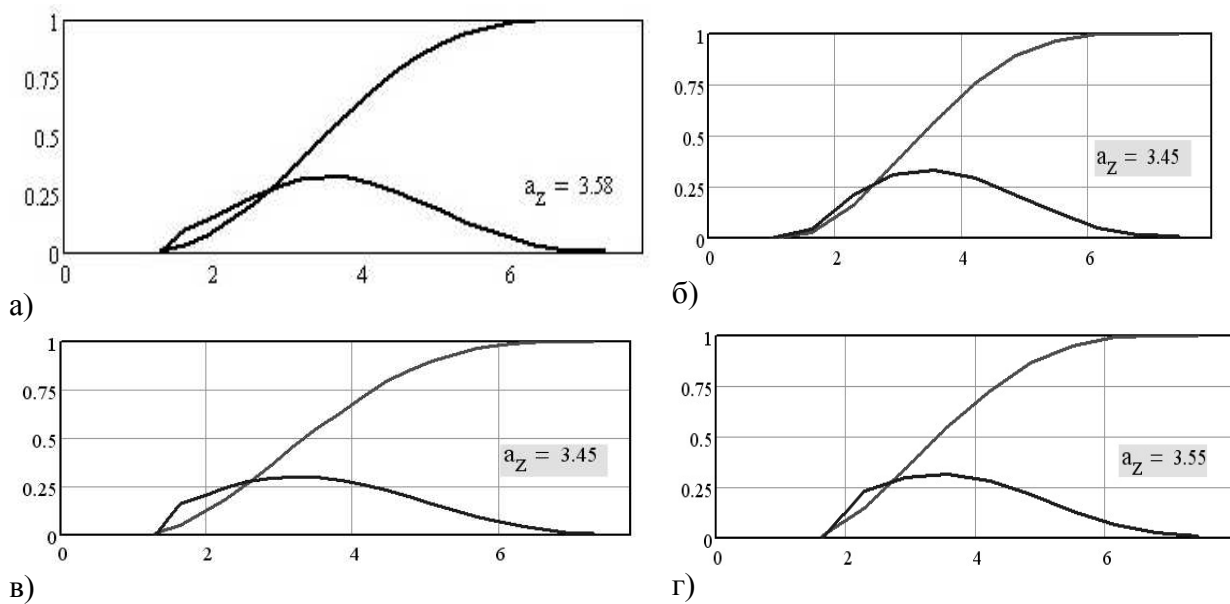


Рис.6. Функції та щільності розподілення товщини зрізів при значеннях кутів орієнтації $\gamma=0.032$ та $\nu=\gamma/1.57$ шліфувальних бабок, швидкості різання $V_{кр}=30$ м/с та кута повороту барабану подачі а,в) $\beta=70^\circ$ ($\rho=185$ мм); б,г) $\beta=120^\circ$ ($\rho=217$ мм); а,б – круг 40 СМ після правки та шліфування; в,г – круг 25 СМ після правки та шліфування

Порівнюючи графіки зміни об'ємів металу, які підводяться по куту повороту барабану подачі, та потужності процесу різання, що отримані експериментально [5], виявлена спільна тенденція до їх зменшення. У процесі обробки вимірювали осьове переміщення деталі через нерівномірне зняття металу кругами за допомогою оригінального датчика переміщень (ФСП-1), зібраного для контактного виміру і закріпленого на голові датчика ДМ-2 [6]. Сигнали датчиків зняття припуску й потужності шліфування відповідно оброблялися вимірювальними підсилювачами, після чого реєструвалися самописами (рисунк 7).

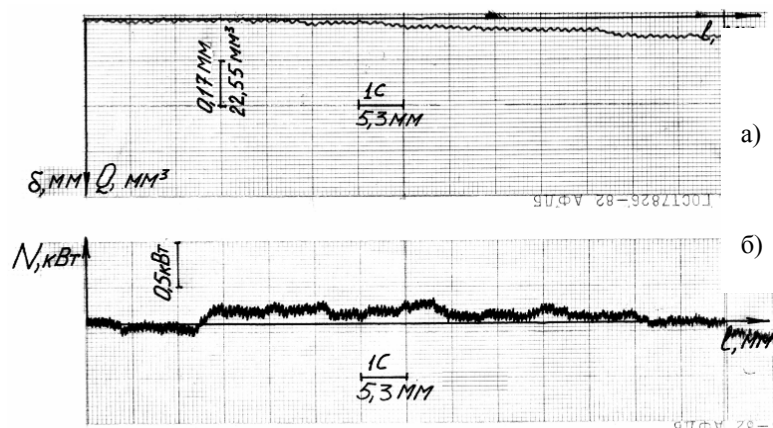


Рис. 7. Осцилограми зняття припуску(а) та потужності (б) процесу шліфування [5]

Контроль фактичного об'єму припуску, що знімається по координаті обробки, дає можливість визначити зношення абразиву для поточного радіуса. Це дозволяє розраховувати фактичний профіль круга з урахуванням зносу та визначити похибку торця деталі.

Висновки

Основними рівняннями, отриманими в даній роботі, є залежності по швидкості підведення металу до робочої поверхні круга $V_n(\theta, \rho)$ та товщини зрізу у її довільній точці. Методика перевірена для загального розташування круга і деталі на прикладі верстату моделі 3342АДО. Вона дозволяє знаходити $V_n(\rho, \theta)$ у явному вигляді. Доведено, що $V_n(\rho, \theta)$ залежить від кутів орієнтації кругів та нахилу ділянок профілю, розмірів верстату та способу правлення.

Складені методики розрахунку швидкості підведення металу $V_n(\rho, \theta)$ та товщини зрізу по координаті обробки можуть бути використаними для оцінки ефективності довільного способу обробки торцевою поверхнею круга, наприклад для методу, запропонованого фірмою Junker (Німеччина) [8].

Проведені розрахунки дозволили знайти розподілення товщини зрізів по координаті обробки, що у свою чергу, дозволяє визначати теплову напруженість процесу торцевого шліфування.

Список літературних джерел

1. Решетов Д.Н., Портман В.Т. Точность металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1986. – 336 с.
2. Кальченко В.В. Повышение эффективности двухстороннего шлифования торцов цилиндрических деталей ориентированными абразивными кругами / Дисс. ... канд. техн. наук – Харьков, 1998. – 212 с.
3. Кальченко В.В. Научные основы эффективного шлифования со скрещивающимися осями инструмента и обрабатываемой детали: Автореф. дис. на соиск. уч. степ. доктора техн. наук. – Харьков, 2006. – 36 с.
4. Венжега В.І. Підвищення ефективності шліфування торців зі схрещеними осями деталі та круга із калібрувальною ділянкою Автореф. дис. ... канд. техн.наук. Харків, 2008. – 16 с
5. Кальченко В.І., Кальченко В.В., Рудик А.В., Венжега В.І. Контроль зняття припуску під час обробки на двохсторонніх торцево-шліфувальних верстатах // Высокие технологии: тенденции развития.: Материалы XIV международного научно-технического семинара (12-17 сентября 2005 г. Харьков-Алушта) – Харьков: НТУ „ХПИ”, 2005.– С.5-7
6. Рудик А. В., Венжега В.І. Формоутворення торців деталей автомобілів при двохсторонньому шліфуванні // Вісник Чернігівського державного технологічного університету: збірник наукових праць. – Чернігів: ЧДТУ. – 2008.– Вип. 34.– С.80–88.
7. Рудик А.В. Визначення товщини шару, що зрізається кромкою орієнтованого абразивного інструменту // Вісник Чернігівського державного технологічного університету: Збірник – Чернігів: ЧДТУ, 2010. – Вип.№42.– С.128-136.
8. Круглое шлифование с ЧПУ/ Проспект фирмы “Junker maschinen” на станке “Quickpoint 1001” и “Quickpoint 1002”. Erwin Junker. Maschinen fabrik Gmbh, Junkerstraße 2. Postfach 25. D 7618 Nordrach. Germany. 1991. – 16 с.

УДК 621.9.06: 621.941: 621.9-112.5

Чуприна В.М., канд. техн. наук,

Пасов Г.В., канд. техн. наук,

Шолупець В.М., бакалавр

Чернігівський державний технологічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШПИНДЕЛЬНИХ ВУЗЛІВ У РОБОЧОМУ ПРОСТОРІ БАГАТОЦІЛЬОВОГО ВЕРСТАТУ МОДЕЛІ ІР500ПМФ4

Виконані порівняльні розрахунки динамічних характеристик шпиндельного вузла в робочому просторі багатоцільового верстату. Встановлено вплив механічних параметрів інструментальних оправок та інструменту на динамічні характеристики шпиндельних вузлів.

Вступ

Шпиндельний вузол є найбільш важливою підсистемою динамічної системи верстата і до 90% визначає його динамічні характеристики [1-3]. Динамічні характеристики верстатів і вузлів можна отримати як експериментальним, так і розрахунковим шляхом [4-6]. Найбільша доцільність динамічного розрахунку проявляється під час проектування нових моделей верстатів та їх вузлів на стадії оптимізації, коли виникає необхідність у швидкій оцінці розроблених конструкцій за динамічними критеріями, наприклад, в САПР при виборі кращого варіанту з ряду конструкцій.

Підсистема шпиндельного вузла (шпиндель, оправка та інструмент) складає обертальну роторну систему, яка при різних роботах на верстаті може змінювати свої характеристики в досить широких межах. Особливо це стосується багатоопераційних верстатів, де система дуже часто змінює свої механічні параметри в залежності від необхідних технологічних операцій та потрібного інструмента.

Роторна підсистема шпиндельного вузла може розглядатись у вигляді двох складових:

- постійна компонента (її параметри в процесі роботи верстата незмінні) – це є безпосередньо шпиндельний вузол;
- змінна (варіативна) компонента – це є інструмент, закріплений на інструментальній оправці (розточна борштанга з розточним різцем, дискова, торцева чи кінцева фреза, свердло та ін.).

Розподіл між цими підсистемами зазвичай здійснюється по фланцю (конусу) шпинделя. На фланці також нормується статична жорсткість шпинделя.

В залежності від технологічних вимог обробки (при зміні інструменту з магазину) інструментальна оправка та інструмент можуть суттєво змінювати свої механічні параметри (довжину, діаметр, масу). Попередній аналіз показує, що ці параметри для багатоцільових верстатів змінюються в досить широких межах. Так, наприклад, для верстата моделі ІР500ПМФ4 довжина інструментальної оправки досягає 500 мм, діаметр оправки (для забезпечення її жорсткості) – 250-300 мм, маса інструмента (наприклад, при зміні діаметру торцевої фрези) – до 50 кг.

Мета статті

Метою даної статті є розрахункове динамічне дослідження шпиндельного вузла, який працює в робочому просторі багатоцільового верстату типу оброблюючий центр моделі ІР500ПМФ4. В досліді планується змінювати довжину оправки, її діаметр, а також масу інструмента. При цьому необхідно визначити статичну і динамічну податливість переднього кінця шпинделя, резонансні частоти шпинделя, моди його коливань та інше. На основі цих досліджень можна буде зробити висновки про вплив даних параметрів на динамічні характеристики шпиндельного вузла.

Методи і результати

Динамічний розрахунок шпиндельного вузла проводиться за методом початкових параметрів у матричній формі, який дозволяє по переміщеннях та силових впливах на початку ділянки вала визначити значення тих же параметрів в кінці ділянки. Він дозволяє звести розрахунок складної системи до ряду циклів алгебраїчних операцій, які багаторазово повторюються і відповідають переходу від однієї ділянки системи до іншої, та успішно застосовувати комп'ютери [5]. Розрахунок здійснюється в програмі «DYNAMO-S», яка була розроблена за участю авторів на кафедрі металорізальних верстатів Чернігівського державного технологічного університету [6].

Розрахункові динамічні дослідження шпиндельних вузлів були проведені на базі високошвидкісного шпиндельного вузла багатоцільового верстату моделі ІР500ПМФ4. Конструкція шпиндельного вузла та її динамічна модель з розбиттям на ділянки показані на рисунку 1. В опорах застосовані кулькові радіально-упорні підшипники, які зібрані за схемами «триплекс» і «дуплекс» в передній і задній опорах відповідно.

Наведемо приклад динамічного розрахунку одного з варіантів шпиндельного вузла.

Початковими даними для розрахунку є:

- побудована параметрична 3-D модель шпиндельного вузла з оправкою;
- розрахункова динамічна модель роторної системи «шпиндель-оправка-інструмент»;
- обчислені вихідні дані по кожному перерізу і кожній ділянці роторної системи;
- номер перерізу з прикладеною радіальною силою (на кінці оправки);
- розрахунковий частотний діапазон для обчислення динамічних характеристик.

Розбиття динамічної моделі на ділянки за допомогою перерізів здійснювалось з урахуванням таких факторів: зміна діаметра вала, зосереджена (ножова) опора (підшипник, що має жорсткість і демпфірування), зосереджений вантаж з масою і моментом інерції, жорстко закріплений безпосередньо на балці, підвісний вантаж з масою і моментом інерції та інші впливові фактори.

Черговим кроком розрахунку було визначення параметрів, що характеризують окремі ділянки динамічної моделі. До них зазвичай відносяться:

- довжина ділянки, l_i ;
- зосереджена маса, M_i ;
- розподілена маса, m_i ;
- згинна жорсткість, EI_i , де E - модуль Юнга, I_i - момент інерції i -го перерізу;
- розподілена жорсткість в підшипнику;
- коефіцієнт демпфірування в підшипнику.

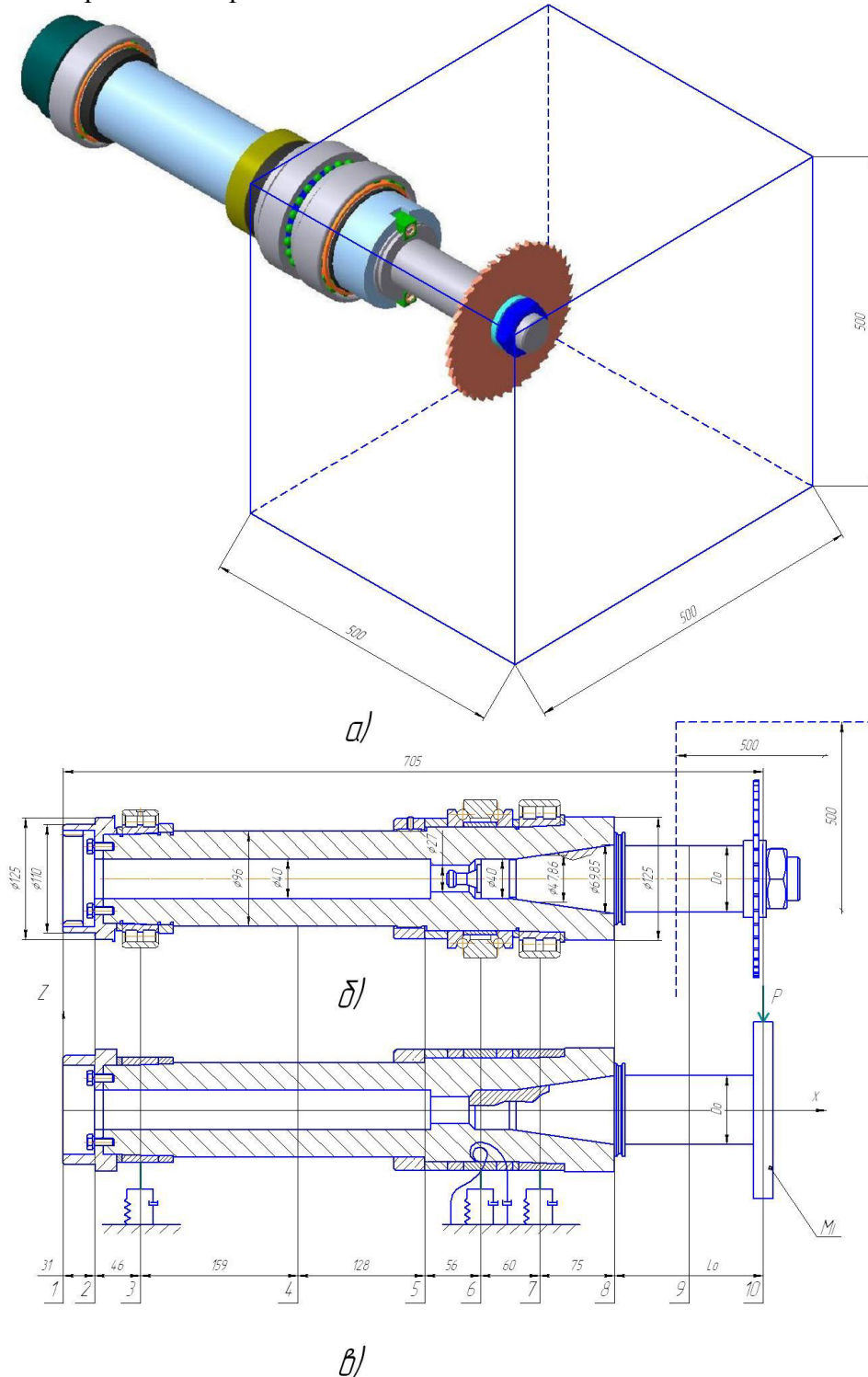
Оскільки робочим простором багатоцільового верстата моделі ІР500ПМФ4 є куб з розмірами $500 \times 500 \times 500$ (в мм), то перше дослідження було проведене для оправок з максимальною довжиною $L_o = 500$ мм.

В розрахунковому експерименті змінювалась довжина оправки L_o від 10 до 500 мм з кроком приблизно 50 мм. При цьому незмінними параметрами залишались діаметр оправки $D_o = 70$ мм та маса, що закріплена на її кінці $M_i = 0.632 \text{ г} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{см}^{-1}$.

Для кожного значення L_o на основі отриманих розрахунків будувались АЧХ, ФЧХ і АФЧХ шпиндельного вузла, як це показано на рисунках 2, 3 і 4 відповідно (прикладі характеристик наведені для довжини оправки $L_o = 150$ мм).

На основі результатів розрахунків були також побудовані графіки залежності основних параметрів АФЧХ шпиндельного вузла (K_{enc} , A_{pl} , ω_{pl}) від довжини інструментальної оправки L_o (рисунок 5).

Аналіз даного дослідження показав, що починаючи з довжини оправки $L_o = 250$ мм, статична і динамічна податливість на кінці оправки в місці закріплення інструменту значно зростає. Так, статична податливість K_{enc} зростає в 10 разів (з 0.000025 до 0.0002 мм/Н), а резонансна амплітуда A_{pl} – практично на два порядки, і при довжині $L_o = 500$ мм досягає $A_{pl} = 0.394$ мм/Н, що є неприпустимим з точки зору жорсткості системи і точності обробки на верстаті.



а) 3-D модель шпиндельного вузла (з робочою зоною 500×500×500 мм)
 б) робоче креслення шпиндельного вузла;
 в) розрахункова модель шпиндельного вузла;

Рис.1. Вихідні робочі та розрахункові моделі шпиндельного вузла багатоцільового верстата

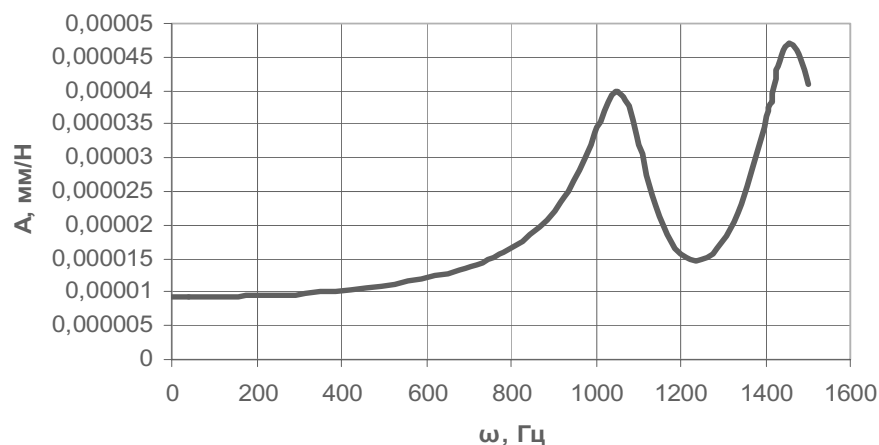


Рис.2. Амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) шпиндельного вузла (для довжини оправки $L_o=150$ мм)

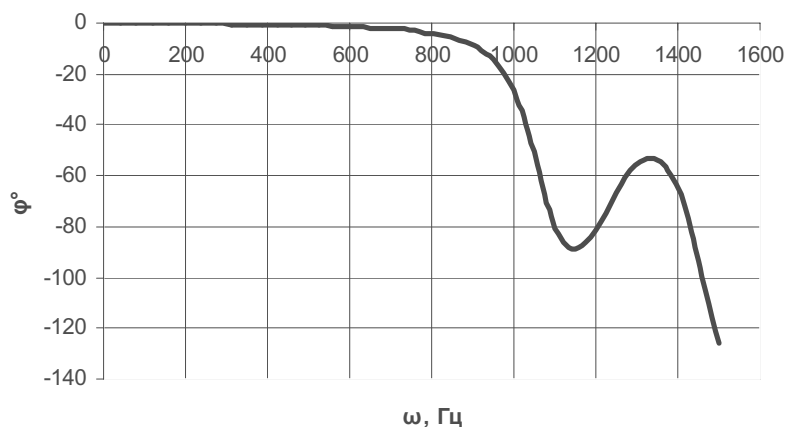


Рис.3. Фазово-частотна характеристика (ФЧХ) шпиндельного вузла (для довжини оправки $L_o=150$ мм)

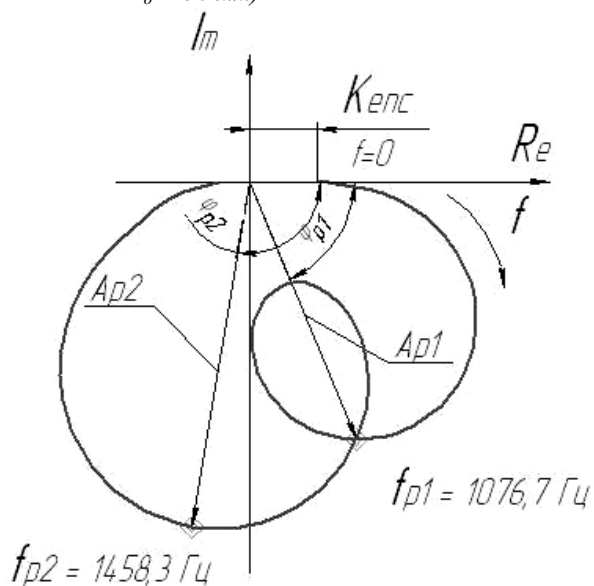
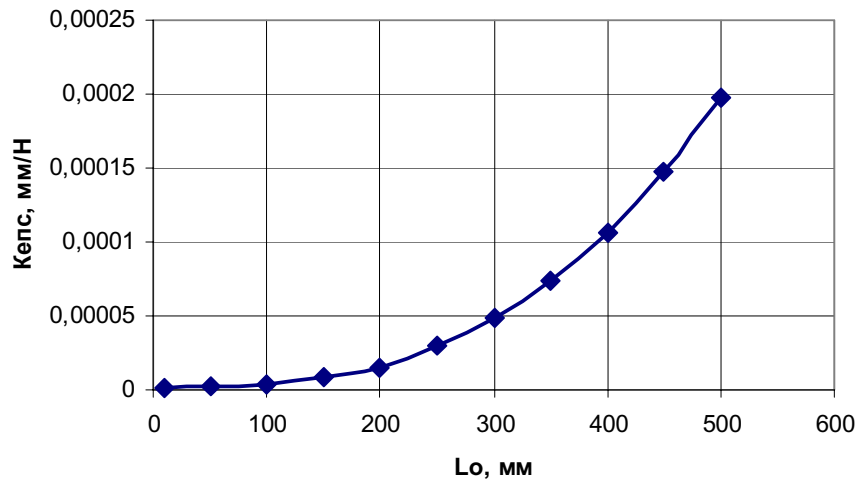
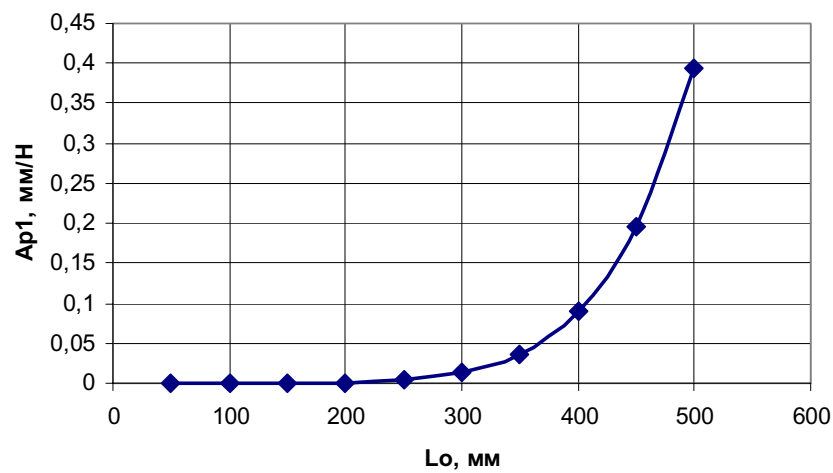


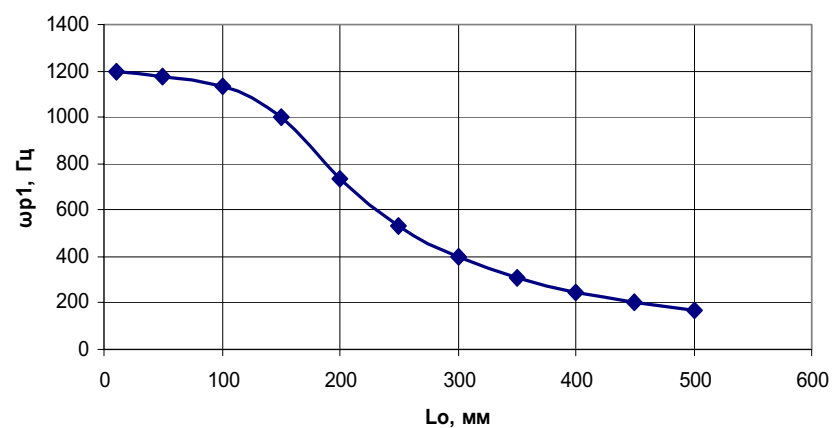
Рис.4. Амплітудно-фазочастотна характеристика (АФЧХ) шпиндельного вузла (для довжини оправки $L_o=150$ мм)



а)



б)



в)

- а) статична податливість;
б) резонансна амплітуда;
в) частота першого резонансу.

Рис.5. Графіки залежності основних параметрів АФЧХ від довжини оправки L_o
(при постійному діаметрі оправки $D_o=70$ мм та маси на кінці оправки $M_i=0.632$, $г \cdot c^2 \cdot cm^{-1}$)

Однак, в конструкції багатоцільового верстата моделі ИР500ПМФ4 передбачено використання поворотного столу, що забезпечує обробку деталі з чотирьох боків. Це дозволяє зменшити максимально необхідні довжини оправок під час обробки на верстаті практично в два рази, тобто до 250-300мм.

Враховуючи вищезазначене, в наступному досліді розглянемо вплив на динамічні характеристики довжини скороченої оправки L_o , а також діаметра насадженого на неї інструмента D_i . При цьому довжина інструментальної оправки L_o в експерименті змінювалась від 10 до 300мм (при незмінному діаметрі оправки $D_o=70$ мм). Вплив зосередженої маси моделювався за рахунок варіювання діаметра інструмента D_i (умовної дискової чи торцевої фрези). При цьому зміни діаметра інструмента D_i від 50 до 250мм еквівалентні зміні маси інструмента M_i від 0.632 до 43.48 г·с²·см⁻¹.

Для розрахунку за програмою «DYNAMO-S» створено файл вхідних даних Z_dat.dat, до якого заносилися попередньо визначені параметри роторної системи «шпиндель-оправка-інструмент». В результаті отримано файл Z_rez.dat, в якому для різних частот розраховані всі координати для побудови годографа АФЧХ, а також – форм коливань роторної системи.

На рисунках 6–8 показані фрагменти роздруківки результатів розрахунку в файлі Z_rez.dat. В наведених прикладах роздруківки результатів розрахунку статична податливість в зоні різання (переріз 10) дорівнює $K_{enc}=0.48735 \cdot 10^{-4}$ мм/Н (рисунок 6), перша резонансна частота – $\omega_{p1}=400.7$ Гц (рисунок 7), друга – $\omega_{p2}=1173.9$ Гц (рисунок 8).

П А Р А М Е Т Р Ї А Ф Ч Х

N	F	AM	PH	AM	PH
1	.0	.49139E-07	.00000E+00	.33293E-07	.00000E+00
		.97797E-08	.00000E+00	.80340E-07	.00000E+00
		.18462E-06	.00000E+00	.24287E-06	.00000E+00
		.76013E-06	.00000E+00	.26231E-05	.00000E+00
		.18861E-04	.00000E+00	.48735E-04	.00000E+00

Рис.6. Статична податливість шпиндельного вузла

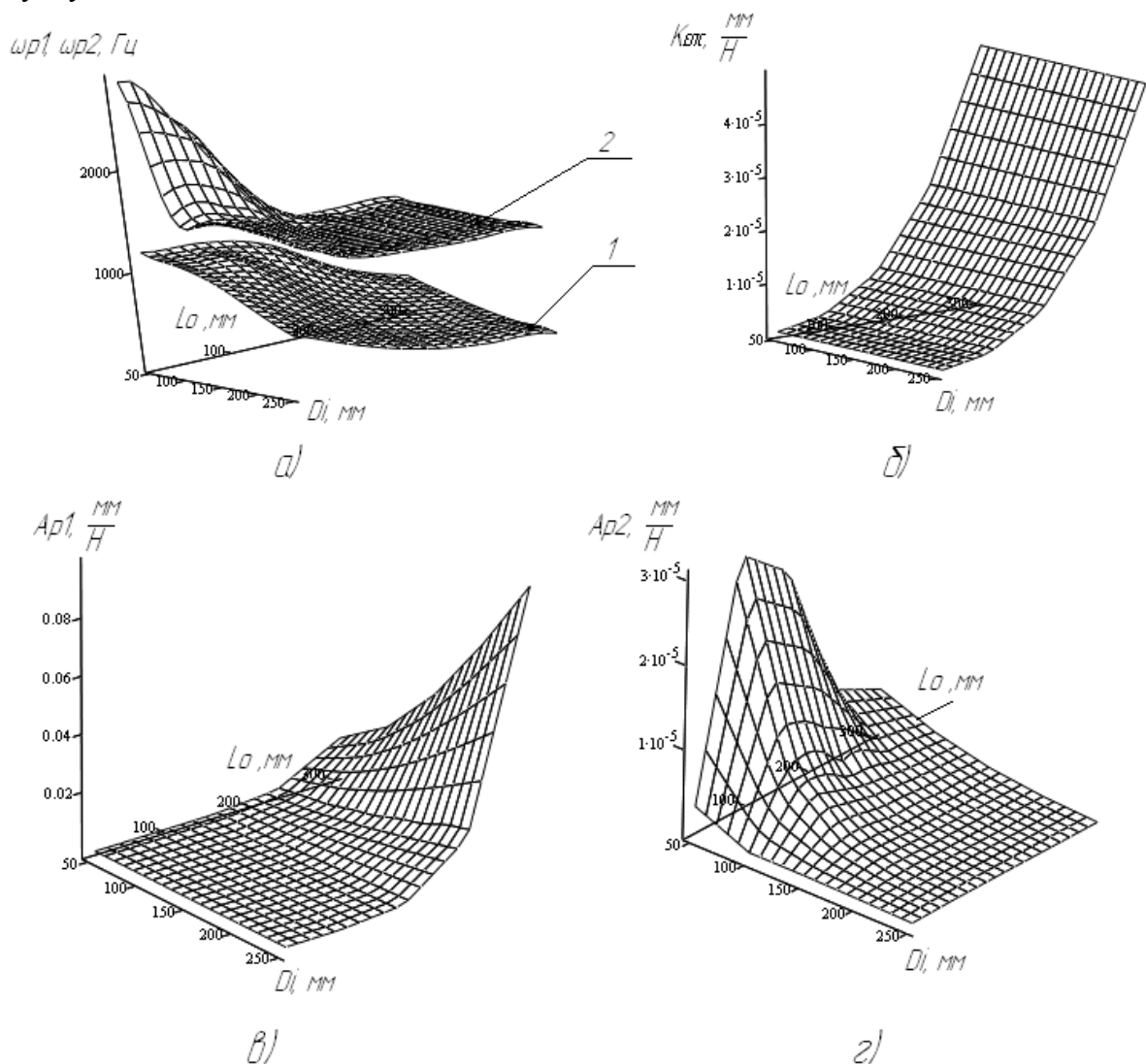
74	400.6	.37087E-04	-.28055E+03	.20362E-04	-.27944E+03
		.45609E-05	-.11297E+03	.85786E-04	-.10219E+03
		.13820E-03	-.10127E+03	.15790E-03	-.10081E+03
		.31830E-03	-.96982E+02	.89243E-03	-.94324E+02
		.53976E-02	-.92923E+02	.12853E-01	-.92729E+02
W=	.4006E+03	-РЕЗОНАНСНАЯ ЧАСТОТА КООРДИНАТЫ			
W=	.4006E+03	-РЕЗОНАНСНАЯ ЧАСТОТА КООРДИНАТЫ			
W=	.4006E+03	-РЕЗОНАНСНАЯ ЧАСТОТА КООРДИНАТЫ			
W=	.4006E+03	-РЕЗОНАНСНАЯ ЧАСТОТА КООРДИНАТЫ			
W=	.4006E+03	-РЕЗОНАНСНАЯ ЧАСТОТА КООРДИНАТЫ			
W=	.4006E+03	-РЕЗОНАНСНАЯ ЧАСТОТА КООРДИНАТЫ			

Рис.7. Перша резонансна частота для шпиндельного вузла 400.6 Гц

164	1173.9	.56096E-06	-.37066E+02	.45927E-06	-.34579E+03
		.89858E-06	-.29956E+03	.25589E-05	-.27903E+03
		.26358E-05	-.27562E+03	.25651E-05	-.27472E+03
		.25074E-05	-.26981E+03	.25930E-05	-.25373E+03
		.40185E-05	-.19857E+03	.53791E-05	-.15694E+03
W=	.1174E+04	-РЕЗОНАНСНАЯ ЧАСТОТА КООРДИНАТЫ			
W=	.1174E+04	-РЕЗОНАНСНАЯ ЧАСТОТА КООРДИНАТЫ			
W=	.1174E+04	-РЕЗОНАНСНАЯ ЧАСТОТА КООРДИНАТЫ			

Рис.8. Друга резонансна частота для шпиндельного вузла 1173.9 Гц

На основі проведених розрахунків побудовані графіки залежності основних параметрів АФЧХ роторної системи «шпиндель-оправка-інструмент» від довжини оправки L_o та діаметра інструмента D_i (при постійному діаметрі оправки $D_o = 70$ мм), які показані на рисунку 9.



- а) частоти першого 1 та другого 2 резонансів;
б) статичні податливості;
в) перші резонансні амплітуди;
з) другі резонансні амплітуди.

Рис.9. Графіки залежності основних параметрів від довжини оправки L_o та діаметра(маси) інструмента D_i (при постійному діаметрі оправки $D_o = 70$ мм)

Аналіз графіків, приведених на рисунку 9-а показує, що із збільшенням довжини оправки L_o та діаметра інструмента D_i (маси M_i) обидві резонансні частоти зменшуються. При цьому частота першого резонансу ω_{p1} зменшується при збільшенні довжини оправки і діаметра інструмента, але більш суттєво впливає параметр L_o – довжина оправки. Максимальна резонансна частота дорівнює 1194.4 Гц при $D_i = 50$ мм ($M_i = 0.632, \text{г} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{см}^{-1}$) та $L_o = 10$ мм, мінімальна – 106.3 Гц при $D_i = 250$ мм ($M_i = 43.483, \text{г} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{см}^{-1}$) та $L_o = 300$ мм.

Характер зміни ω_{p1} аналогічний рисунку 5-в для обох параметрів, а ω_{p2} різко зменшується тільки при невеликих значеннях мас (тобто D_i) і вильотів L_o . Очевидно це пов'язане з другою формою коливань шпинделя.

З рисунку 9-б видно, що статична податливість при збільшенні L_o зростає аналогічно рисунку 5-а, а маса інструменту (тобто D_i) не впливає на зміну K_{enc} (тобто статична податливість взагалі не залежить від маси).

Однак, як показують рисунки 9-в,г збільшення діаметрів D_i (мас) дуже сильно впливає на резонансні амплітуди коливань шпинделя, різко збільшуючи A_{p1} і зменшуючи A_{p2} , особливо при достатньо великих вильотах оправок L_o .

З рисунку 9-в видно, що перша резонансна амплітуда в більшій мірі залежить від діаметра інструмента D_i (тобто маси інструмента), ніж від довжини оправки L_o . Але слід відзначити, що різке зростання резонансної амплітуди відбувається при довжині оправки $L_o = 225-300$ мм. Максимального значення перша резонансна амплітуда набуває при $D_i = 250$ мм і $L_o = 300$ мм – $A_{p1} = 0.09808$ мм/Н.

Значення другої резонансної амплітуди (рисунок 9,г) зменшується при зменшенні діаметра інструмента (тобто маси інструмента), максимальні значення – при $D_i = 50$ мм, але при даному діаметрі зменшуються не прямолінійно. При $D_i = 50$ мм і $L_o = 75$ мм – максимальне значення другої резонансної амплітуди $A_{p2} = 0.00003047$ мм/Н.

Однак, отримані графіки не враховують вплив ще одного важливого параметра – діаметра інструментальної оправки D_o , який може змінюватись в широких межах (від 50 до 200-250 мм). Тому в наступному дослідженні будемо змінювати усі фактори одночасно: довжину оправки, її діаметр та масу інструмента M_i .

В результаті розрахунку отримані графіки залежності основних параметрів АФЧХ роторної системи «шпиндель-оправка-інструмент» від вищевказаних параметрів, які показані на рисунках 10 та 11.

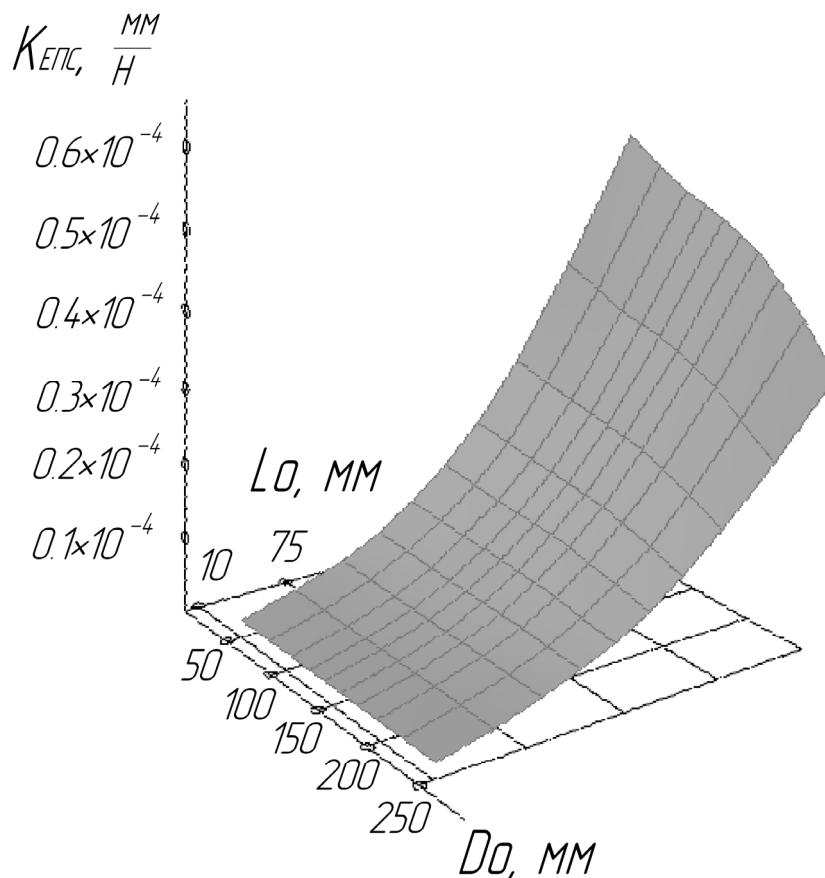
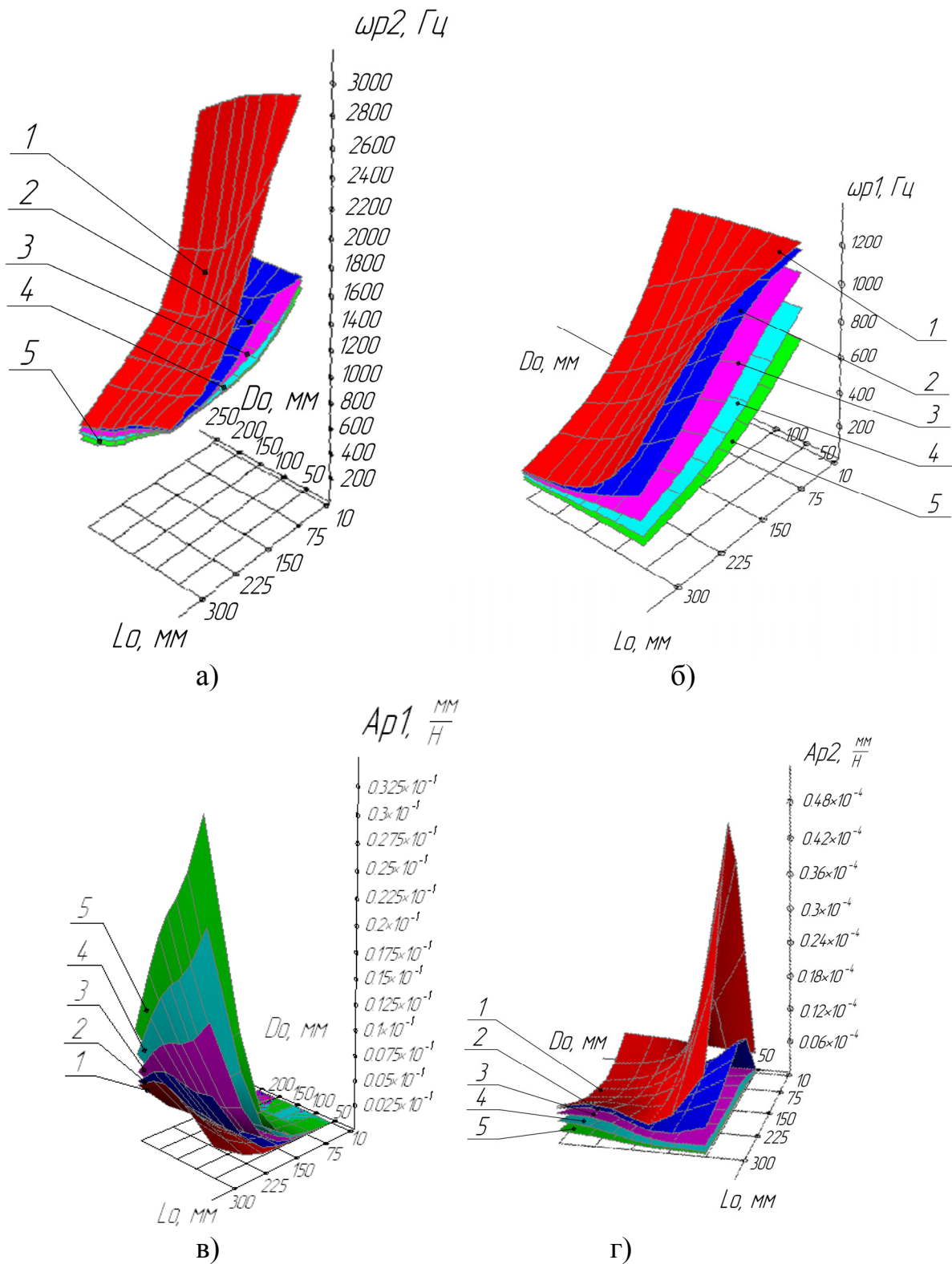


Рис.10. Графік залежності статичної податливості K_{enc} від довжини L_o і діаметра D_o оправки



- а) частоти першого резонансу;
б) частоти другого резонансу;
в) перші резонансні амплітуди;
г) другі резонансні амплітуди.

Рис.11. Графіки залежності основних параметрів АФЧХ від довжини оправки L_0 та діаметра оправки D_0 при різних значеннях мас інструменту M_i ($г \cdot c^2 \cdot cm^{-1}$):
(1 - $M_i=0.632$, 2 - $M_i=3.479$, 3 - $M_i=9.962$, 4 - $M_i=22.769$, 5 - $M_i=43.483$)

З графіка на рисунку 10 видно, що збільшення довжини оправки L_o впливає на зростання статичної податливості K_{enc} значно сильніше, ніж зменшення діаметра інструменту D_i .

Аналіз графіків, приведених на рисунку 11, показує, що маса інструменту M_i суттєво впливає як на амплітуди, так і на резонансні частоти першого і другого резонансів шпинделя.

При малих значеннях L_o і D_i збільшення маси інструменту M_i призводить до зменшення частоти першого резонансу ω_{p1} (рисунок 11-а) з 1200 Гц до 700 Гц, частоти другого резонансу ω_{p2} (рисунок 11-б) – з 3000 Гц до 1600 Гц, амплітуди другого резонансу A_{p2} (рисунок 11-г) – більш ніж на порядок.

При великих значеннях L_o збільшення маси інструменту M_i призводить до збільшення амплітуди першого (основного) резонансу A_{p1} (рисунок 11-в) більш, ніж в 6 разів.

Висновки

Результати наведених досліджень дозволяють зробити головний (якісний) висновок про те, що динамічні характеристики шпиндельного вузла (роторної підсистеми «шпиндель-оправка-інструмент») в робочому просторі багатоперіодичних верстатів змінюють свої параметри в досить широких межах, впливаючи на динамічні характеристики всього верстата, що необхідно обов'язково враховувати під час обробки деталей на верстатах.

При цьому встановлено наступне:

1. Статична податливість значно збільшується при збільшенні довжини (вильота) оправки (приблизно по параболічному закону) та несуттєво зменшується (майже пропорційно) при збільшенні діаметра.

2. Значення резонансної амплітуди зростає, а резонансної частоти зменшується при збільшенні довжини оправки, маси інструмента та зменшенні діаметра оправки. Тут найбільш суттєво впливає збільшення довжини оправки, тому що одночасно зменшується згинна жорсткість і збільшується приведена маса оправки.

3. Для забезпечення менших значень статичної податливості та резонансної амплітуди доцільно використовувати порожнисті оправки, що призведе до зменшення маси оправки (практично при незмінності її жорсткості), і як наслідок – підвищення власних частот коливань та покращення основних параметрів динамічних характеристик верстата.

4. Для зменшення резонансних амплітуд при великих вильотах оправок слід використовувати полегшений ріжучий інструмент.

5. Доцільно використовувати також ступінчасті оправки (телескопічної форми), що дає можливість зменшити її статичну податливість і в цілому забезпечити необхідну жорсткість і вібростійкість обробки на верстаті.

Список літературних джерел

1. Кудинов В.А. Динамика станков. М., Машиностроение, 1967 – 360с.
2. Пуш А.В. Шпиндельные узлы: качество и надежность. – М.: Машиностроение 1992 – 288с.
3. Данильченко Ю.М., Кузнецов Ю.М. Прецизійні шпиндельні вузли на опорах кочення. – Тернопіль.: „Економічна думка”, 2003 – 342с.
4. Чуприна В.М., Дмитренко М.А., Лоскутов С.В. Порівняльний розрахунок динамічних характеристик шпиндельного вузла верстату 16K20Ф3 в САПР // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – Чернігів: ЧДТУ, 2009. – № 37. – С. 105 - 116.

5. *Ивович В.А.* Переходные матрицы в динамике упругих систем. Справочник. 2-е издание М., Машиностроение, 1981 – 183с
6. *Чуприна В.М., Липлянський Ю.С.* Динамічний розрахунок шпиндельних вузлів у САПР металорізальних верстатів. // Вісник ЧДТУ. Серія "Технічні науки"-Чернігів, 2001, № 13.- С.44-51.

УДК 371.315.7

Кирієнко С.Ю., студент**Полуян А.В.**, магістрант**Пасов Г.В.**, канд. техн. наук**Чуприна В.М.**, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

АНІМАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГНУЧКОЇ ВИРОБНИЧОЇ СИСТЕМИ

Розглянуто анімаційне моделювання обробки поверхонь на металорізальних верстатах на прикладі 3D моделі механічного цеху. Описано основні системи та підсистеми гнучкої виробничої системи анімаційно-змодельованого механічного цеху та перспективи інтерактивного ним керування в подальшому.

Вступ

Освіта є основою будь-якого суспільства. В наш час при вивченні різноманітних дисциплін використовується багато джерел різноманітної інформації: підручники, посібники, журнали, збірники, інтернет. В сучасних умовах широкі можливості відкриває використання електронно-обчислювальних машин (ЕОМ) в навчальному процесі [1-6], особливо персональних комп'ютерів (ПК) і високоінтелектуальних програмних продуктів. Проаналізуємо цю проблему, спираючись на останні досягнення в технологіях навчання [1].

Аналіз досліджень і публікацій

Використання ЕОМ в навчальному процесі дозволяє інтенсифікувати об'єм навчальної інформації, яка надходить студентам через зір. Науково доведено, що візуальний інтерфейс для людини є найбільш інформативний, через нього отримується біля 90% всієї інформації. При цьому вона надходить у багатопотоковому і багатовимірному режимі, на відміну від інших чутливих органів (слуховий, тактильний, нюховий інтерфейси). Особливо це важливо при вивченні конструкцій складних технічних об'єктів, зокрема верстатів, роботів, інших машин. За допомогою інженерно-комп'ютерної графіки 3D моделювання і анімації можливо не тільки уявити форму, структуру, розміри і конструкцію об'єктів, але і ознайомитись з їх роботою в процесі імітаційного функціонування, зокрема і таких об'єктів, які не існують в лабораторіях вищих навчальних закладів або на тих підприємствах, де проводиться практика студентів.

Традиційно при засвоєнні будь-якої навчальної дисципліни студент повинен вивчати її на лекціях, лабораторних та практичних заняттях. Але при цьому в якості методичного наочного матеріалу використовуються, як правило, ілюстрації зовнішнього вигляду, будови та конструкції різноманітних механізмів у вигляді двовимірних статичних схем елементів. Наприклад, використовуючи матеріали, описані в роботах [4-6], студенти вивчають призначення, будову, кінематику промислових роботів та робото-технічних комплексів (РТК), а також різноманітні їх вузли та принцип роботи. Але представлені ілюстрації механізмів та комплексів не передають в повній мірі можливості їх роботи. Саме використання ЕОМ та відповідних програмних продуктів і дозволяє удосконалити навчальний процес (та освіту загалом), надаючи йому інтенсивності та інтерактивного змісту.

В роботі [4] наведено можливість використання розроблених програмних продуктів "VERSTAT" та "START" при вивченні фрезерних та свердлильних верстатів. Але тут знову ж таки матеріали представлені тільки в двовимірному (2D) просторі.

Уже в роботі [2] наведена 3D модель промислового робота M20П, але вона жорстка, тобто даною моделлю неможливо інтерактивно керувати, задавати параметри і відслідковувати їх виконання. Цю проблему було вирішено в роботі [3] на прикладі промислового робота M10П.

В даній статті приділяється увага використанню в якості вивчаємого матеріалу об'ємних 3D моделей з елементами анімації.

Мета статті

Основною метою статті є опис програмного навчального продукту "Анімація гнучкої виробничої системи механічного цеху" по викладенню структури і принципів роботи автоматизованого механічного цеху з гнучкою виробничою системою (ГВС). Продукт виконано засобами анімаційного моделювання гнучкої виробничої системи і демонструє в повній мірі його роботу, що дозволяє самостійно з ним працювати в інтерактивному режимі на ПК.

Виклад основного матеріалу

В Чернігівському державному технологічному університеті (ЧДТУ) на кафедрі "Інтегровані технології машинобудування і автомобілі" для вивчення навчальних дисциплін "Промислові роботи", "Металообробне обладнання", "Автоматичні оброблюючі системи" розроблено навчальний продукт: "Анімація гнучкої виробничої системи механічного цеху".

Під час розробки анімації гнучкої виробничої системи механічного цеху були використані сучасні програмні продукти: "3Ds Max" та "КОМПАС-3D" [8, 9].

Робото-технічні комплекси являють собою різновид гнучкого виробничого модуля (ГВМ), що є основою побудови (ГВС) для гнучких автоматизованих виробництв (ГАВ). В якості основної технологічної машини в складі РТК чи ГВМ використовуються металорізальні верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК). Також в систему входять: промислові роботи чи маніпулятори (рис. 1, 2), які забезпечують автоматичне завантаження виробів у робочу зону верстата і вивантаження з неї; внутрішній накопичувач заготовок і готових деталей, наприклад у вигляді тактового столу (рис. 3) чи крана-штабелера; підсистема заміни інструмента; підсистема контролю якості виготовлених деталей (рис. 4) на базі вимірювальної машини LK Layout (рис. 5) та інші складові.

Розглянемо структуру і принципи роботи ГВС, які описані в цьому продукті.



Рис. 1. Промисловий робот М10П

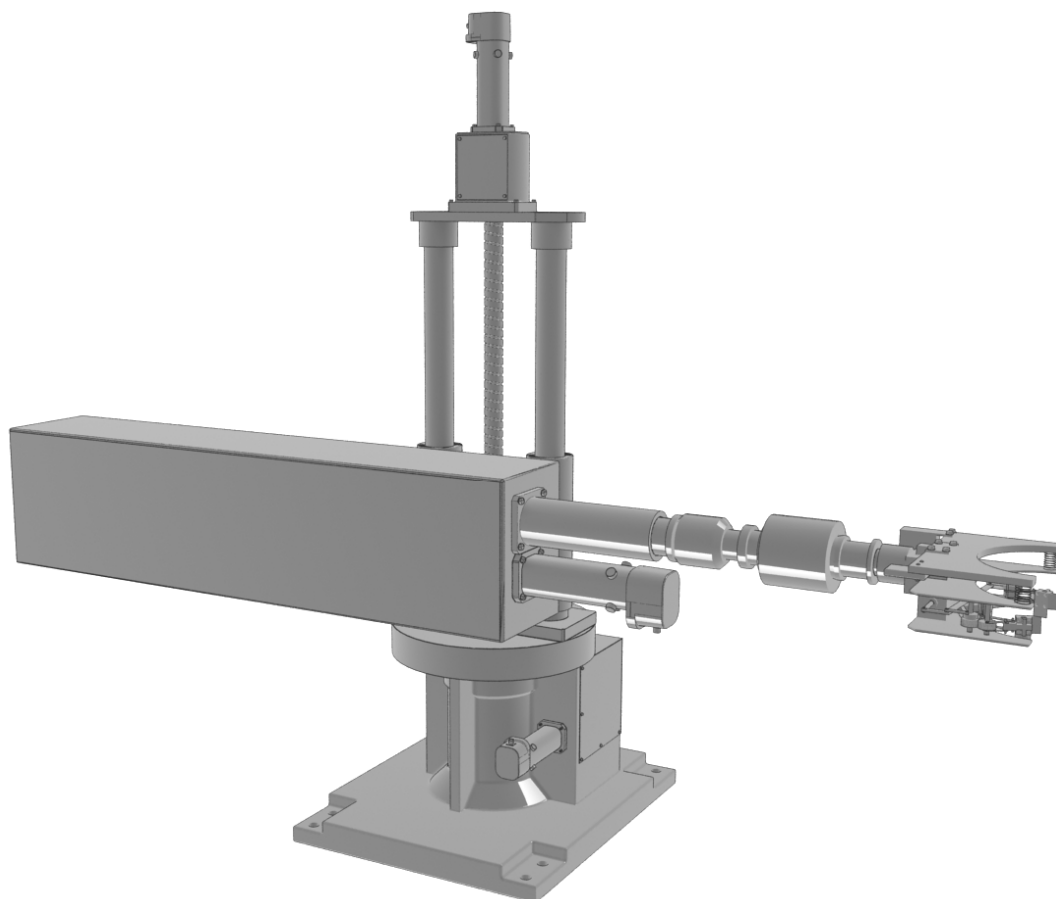


Рис. 2. Промисловий робот М20П

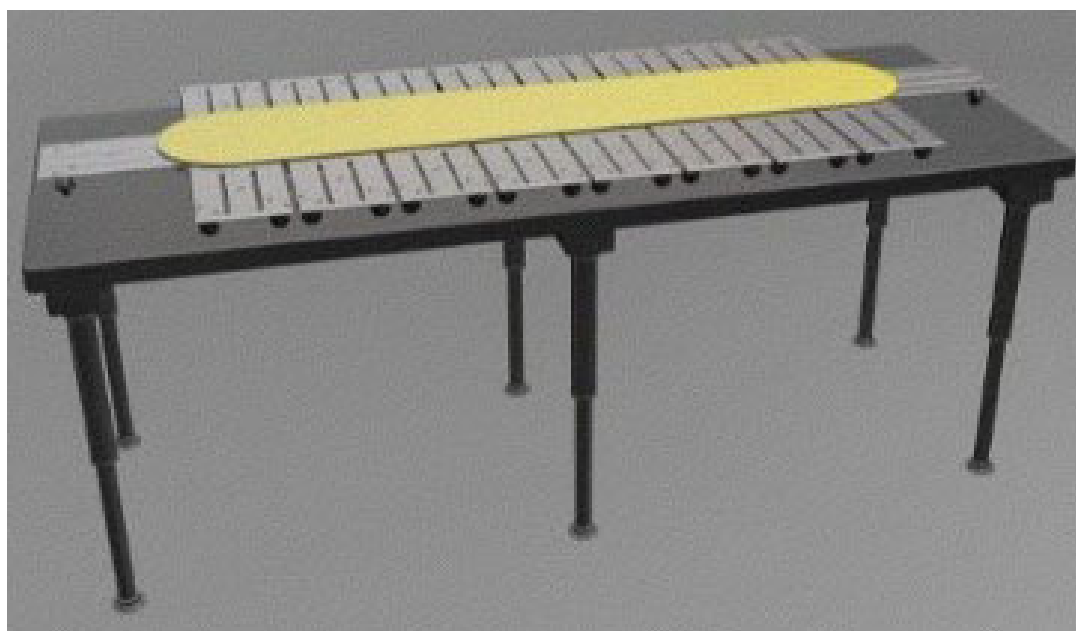


Рис. 3. Тактовий стіл



Рис. 4. Підсистема контролю якості виготовлених деталей



Рис. 5. Контрольно-вимірвальна машина LK Layout

Типова ГВС складається з п'яти основних підсистем.

1. Підсистема обробляючих автоматичних технічних модулів. Вона складається з:
 - РТК на базі токарного верстата 16К20Ф3 і роботів М10П та М20П (рис. 6, 7);
 - ГВМ на базі обробляючого центра IP500ПМФ4 і крана-штабелера (рис. 8).

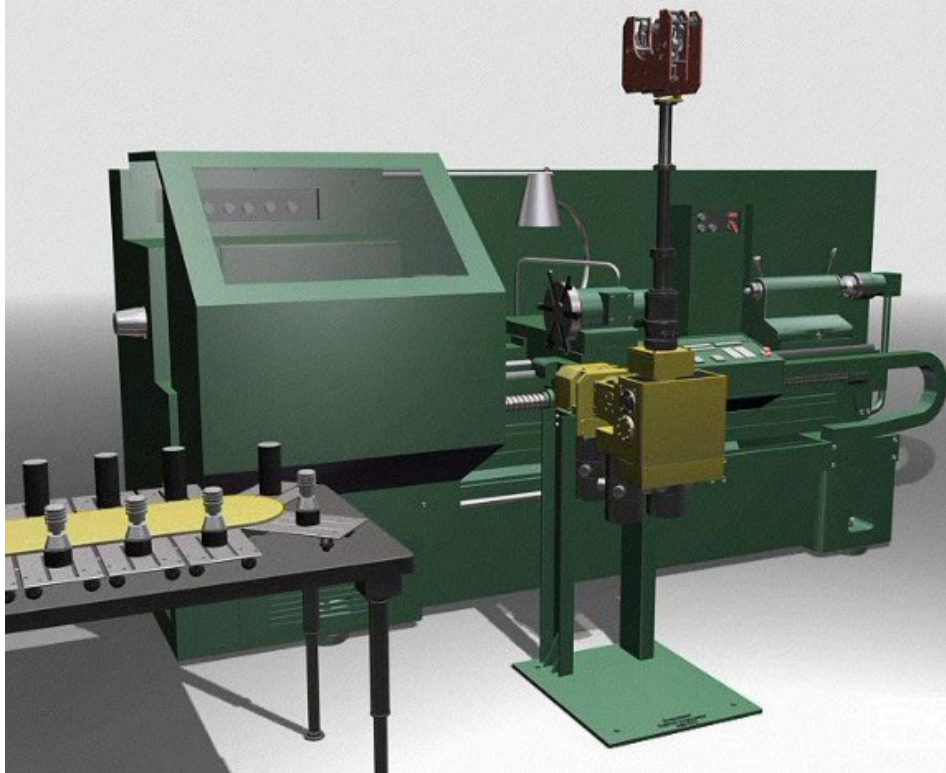


Рис. 6. РТК на базі токарного верстата 16К20Ф3 та робота М10П

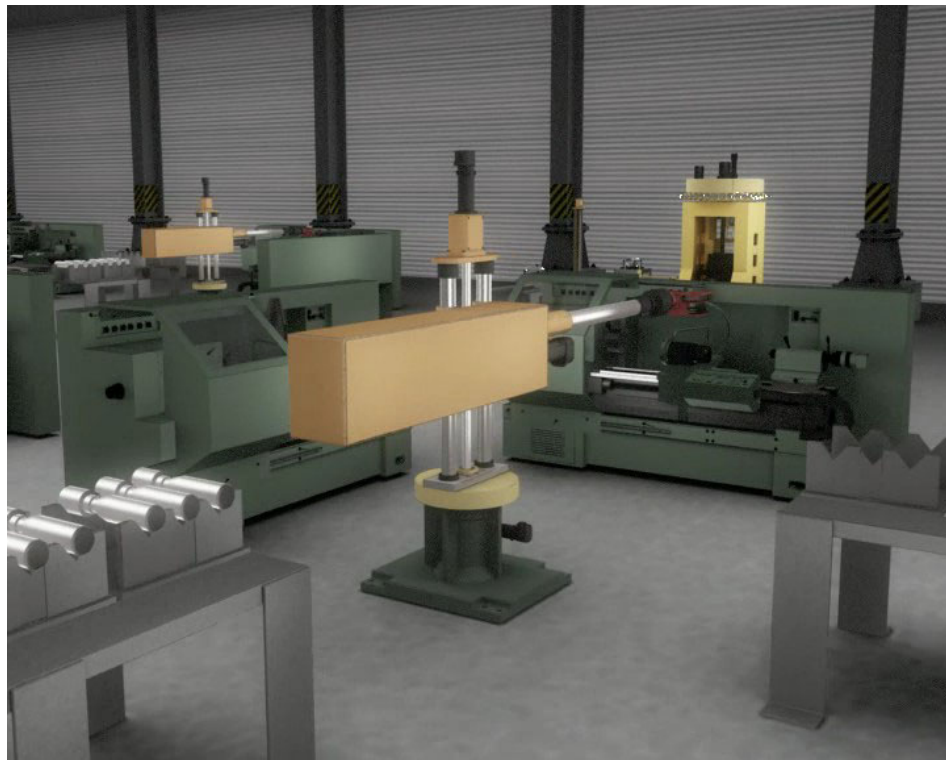


Рис. 7. РТК на базі токарного верстата 16К20Ф3 та робота М20П

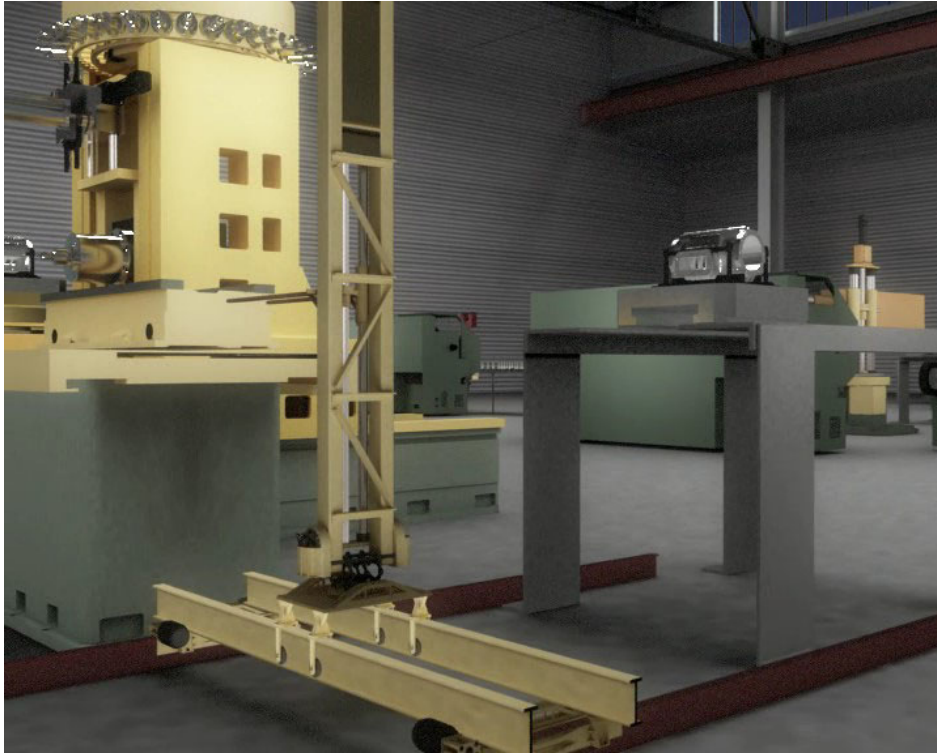


Рис. 8. ГВМ на базі обробляючого центра IP500ПМФ4 та крана-штабелера

2. Підсистема автоматичного складування. Вона забезпечує автоматичне завантаження та розвантаження деталей і заготовок, інструментів та технологічної оснастки. Ця підсистема складається з стелажного блоку (рис. 9) на 60 комірок, автоматичного транспортного маніпулятора (рис. 10), транспортної системи, яка здійснює завантаження та розвантаження піддонів (по 2 секції).



Рис. 9. Стелажний блок

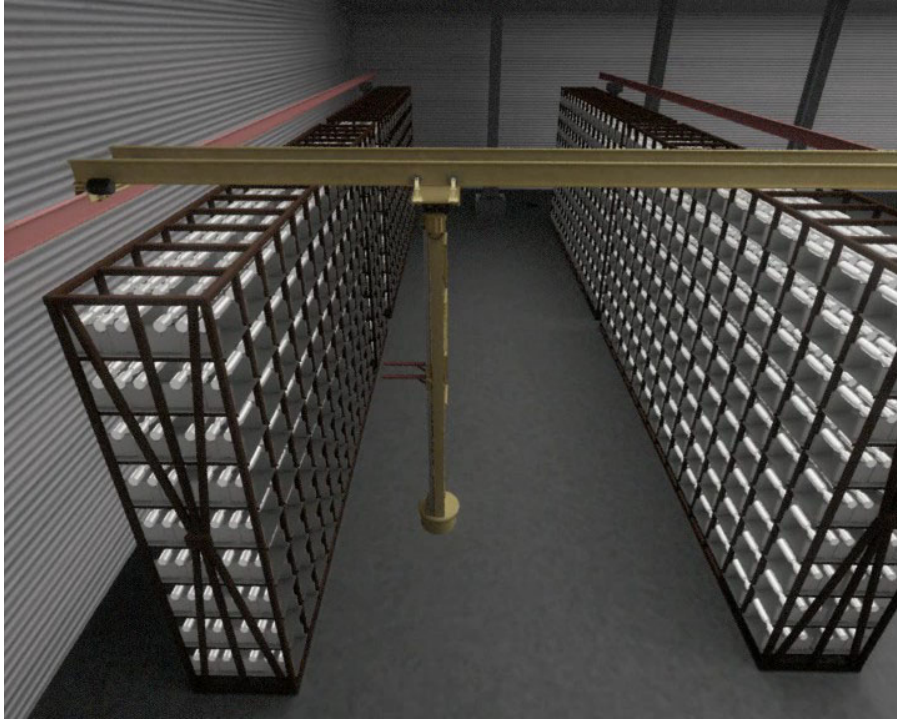


Рис. 10. Автоматичний транспортний маніпулятор

3. Підсистема автоматичного міжопераційного транспорту. Вона здійснює автоматичне транспортування заготовок і виготовлених деталей, інструментів і технологічного обладнання від складу до верстатів та в зворотньому напрямку за допомогою транспортного робота (робокара) типу "Ротор-1" (рис. 11), який переміщується по заданому маршруту.



Рис. 11. Транспортний робот "Ротор-1"

4. Підсистема інструментального оснащення. Вона забезпечує ГВС:

- ріжучим та допоміжним інструментом;
- заточування і настроювання інструмента поза верстатом;
- технічне обслуговування інструмента;
- необхідними пристроями та обладнанням для закріплення деталей.

5. Підсистема керування інформацією. Вона забезпечує контроль і керування виробничим процесом, транспортом і складським господарством, виконує функції диспетчерування й обробляє інформацію про стан всіх технологічних підсистем ГВС. Ця підсистема побудована за ієрархічним принципом: на верхньому рівні – міні-ЕОМ з винесеними терміналами, а на нижньому – оперативні системи мікро-ЕОМ (ЧПК верстатами, роботами, робокарами, складом і т.д.). Приклад побудови механічного цеху типової ГВС на основі РТК і ГВМ та її планування показані на рис. 12.



Рис. 12. Типова гнучка виробнича система (ГВС) механічного цеху

Всі перераховані підсистеми виконані у вигляді 3D моделей об'єктів, сформованих у програмі КОМПАС 3D. Для імітаційного моделювання роботи всіх об'єктів в складі ГВС використовувалась також програма 3D Studio Max.

Розроблена анімаційна модель дозволяє наочно продемонструвати роботу типової гнучкої виробничої системи механічного цеху. Продукт: "Анімація гнучкої виробничої системи механічного цеху" розроблений в якості чергового кроку в забезпеченні навчання за допомогою сучасних програмних продуктів. В подальшому його можна розширювати, корегувати та удосконалювати (наприклад, інтерактивне керування процесами анімації того чи іншого вузла, процесу обробки або при віртуальному налагодженні промислових роботів і верстатів з ЧПК відпрацьовувати програми керування і тим самим вказувати оператору на можливі недоліки в керуючій програмі).

Висновки

Розроблений програмний проект може ефективно використовуватись при вивченні дисциплін "Промислові роботи", "Металообробне обладнання", "Автоматичні оброблюючі системи", "Проектування механічних цехів". На основі цих розробок можливо створювати аналогічні програмні анімаційні продукти й для інших дисциплін: "Теорія різання" – рух інструменту й утворювання стружки, "Гідравліка" – робота гідравлічних систем верстатів та ряд інших дисциплін.

Список літературних джерел

1. Нові технології навчання: Наук.-метод. зб. / Кол. Авт. – К.: Наук.-метод. центр вищої освіти, 2006. – Вип. 43. – 203 с.
2. Пасов Г.В., Ратозей О.В., Лоскутов С.В. Анімаційне моделювання роботи окремих вузлів промислового робота / Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2008. – №36, С. 82-87
3. Пасов Г.В., Чуприна В. М., Кирієнко С. Ю., Керування анімаційною 3D-моделлю промислового робота M10П / Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2009. – №40, С. 156-164.
4. Пасов Г.В., Дьяконов К.В., Кит Р.С., Хажанець О.В., Шурубенко С.А. Використання ЄОМ в навчальному процесі / Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2007. – №30, С. 45-54.
5. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисциплін "Промислові роботи" та "Розрахунок і конструювання верстатів та верстатних комплексів". Частина 1. Для студентів за напрямом підготовки 0902 "Інженерна механіка" усіх форм навчання / Укл.: Пасов Г.В. – Чернігів: ЧДТУ, 2003. – 58 с.
6. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисциплін "Промислові роботи" та "Розрахунок і конструювання верстатів та верстатних комплексів". Частина 2. Для студентів за напрямом підготовки 0902 "Інженерна механіка" усіх форм навчання / Укл.: Пасов Г.В. – Чернігів: ЧДТУ, 2003. – 100 с.
7. Альбом "Промислові роботи" до лабораторних робіт з дисциплін "Промислові роботи" та "Розрахунок і конструювання верстатів та верстатних комплексів" для студентів за напрямом підготовки 0902 "Інженерна механіка" усіх форм навчання / Укл.: Пасов Г.В. – Чернігів: ЧДТУ, 2003. – 53 с.
8. Маров М. Н. Энциклопедия 3ds max 8 (+CD). – СПб.: Питер, 2006. – 1392 с.
9. Кудрявцев Е. М. КОМПАС-3D V10. Максимально полное руководство. В 3-х томах.: ДМК Пресс, 2008. – 1184 с.

УДК 621.924.1/6

О.М. Чередніков, канд. техн. наук

О.О. Борисов, аспірант

В.І. Канюка, магістрант

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

МОДУЛЬ - АЛГОРИТМ ФОРМУВАННЯ БАЗ ДАНИХ ОЦИФРОВКИ ПОВЕРХОНЬ

Запропоновано модуль-алгоритм процесу оцифровки вимірювальної інформації, отриманий з безконтактних лазерних датчиків при дослідженні шорсткості та відхилень форми поверхонь на прикладі маложорстких кілець зі спечених композиційних матеріалів.

Постановка проблеми

На сьогоднішній день порошкові композиційні матеріали все більше використовуються в різних галузях науки і техніки завдяки підвищеній міцності при невеликій масі. Вони широко застосовуються при виробництві продукції авіабудування, машинобудування, ракетобудування, приладобудування. Тому до надійності таких виробів висуваються високі вимоги, адже від їх технічного стану може залежати життя та здоров'я людей. Але при всіх своїх позитивних якостях композиційні матеріали характеризуються широким спектром можливих типів дефектів, анізотропією, значним розкидом своїх властивостей від виробу до виробу.

Для контролю технічного стану композиційних матеріалів широко використовуються фізичні, оптичні, акустичні та ультразвукові методи. Застосування контактних засобів контролю неминуче призводить до пошкодження поверхневого шару композитів та викришування з утворенням мікропор, а при повторному дослідженні мікрорельєф поверхні значно змінюється. На сучасному етапі розвитку однією з основних задач контролю композитів є підвищення його достовірності та відтворюваності. Найбільш доцільними є методи неруйнівного контролю.

Засоби контролю, які застосовуються в цей час, не завжди відповідають сучасним вимогам. Тому актуальним є впровадження нових засобів контролю з використанням лазерних та комп'ютерних технологій з адаптивними до операційних систем програмами, які збільшують швидкість обробки даних. Всі ці вимоги задовольняють оптичні методи контролю з використанням лазерних датчиків[1-3].

Для підвищення достовірності необхідно застосувати нові методи обробки діагностичної інформації, пошук додаткових діагностичних ознак та їх впорядкування за інформативністю. Цей шлях вимагає розробки відповідного інформаційного забезпечення, яке дозволить здійснити відповідну обробку інформаційних сигналів, отримати необхідне число діагностичних ознак, можливих при даному виді контролю, провести відбір інформативних параметрів, в автоматичному режимі встановити відповідність вхідного сигналу еталонним значенням з масивів бази даних.

Актуальним залишається завдання підвищення достовірності вимірювань геометричних розмірів і взаємного розташування поверхонь складних деталей зі специфічним службовим призначенням та елементами низької технологічності.

Застосовувані в даний час засоби контролю не завжди відповідають сучасним вимогам за швидкодією, точності та відтворюваності результатів вимірювань.

Тому розробка та впровадження у промислове виробництво нових засобів контролю з використанням інтелектуальних інформаційних 3D-технологій проектування та моделювання є надзвичайно актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Одним з основних напрямів розвитку приладобудування на сьогоднішній день є мікромініатюризація та застосування безконтактних оптичних датчиків, що дозволяє підвищити надійність і технологічність апаратури за рахунок мікромодульного компонування елементів із застосуванням інтегральної та функціональної мікроелектроніки. Важливо розвивати даний напрямок, використовуючи нові підходи в технології виготовлення інформаційно-вимірювальної апаратури, ґрунтуючись безпосередньо на використанні лазерних діодів із застосуванням самонавчаємої інтелектуальної інтегрованої системи обробки інформації.

Основним технологічним завданням при створенні елементів безконтактного вимірювального комплексу є розробка програмних засобів, призначених для реєстрації, відбору та накопичення величезного обсягу інформації, її систематизації, математичної обробки і виведення результатів вимірювань на екран монітора та друкуючий пристрій топографії у вигляді гістограм і таблиць, профілограм виміряних поверхонь в полярній або прямокутній системі координат, цифрових значень виміряних параметрів шорсткості та відхилень форми.

Мета статті

Метою роботи є розробка модуля-алгоритму баз даних оцифровки вимірювальної інформації, що отримується з безконтактних лазерних датчиків під час дослідження шорсткості та відхилень форми поверхонь на прикладі маложорстких кілець зі спечених композиційних матеріалів.

Виклад основного матеріалу дослідження

Модель обробки інформаційних сигналів містить комплексну інформацію про поверхні (шорсткість і відхилення форми). Розроблений вимірювальний комплекс (рис. 1) складається з пристроїв збору та перетворення інформації, яка накопичується та зберігається для подальшого вирішення поточних вимірювань.



Рис. 1. Структура вимірювального комплексу

Модуль-алгоритм формування маршруту оцифровки поверхонь – це важливий етап вирішення конкретного завдання з урахуванням необхідної точності, який містить три цикли. Перший цикл включає обробку результатів вимірювання топографії поверхні від плаваючої бази (характеризується змінною системою координат). У другому циклі проводиться розрахунок відносних значень координат топографії, у третьому – розпізнавання тривимірного образу поверхні, після чого може бути побудований просторовий образ в абсолютній системі координат за сукупністю (хмари) точок, координати яких були виміряні. Далі виконується побудова триангульованої моделі та її обробка,

побудова поверхонь, згладжування. Точність побудови контролюється (забезпечується) всередині кожного з циклів за коефіцієнтом подібності розпізнаної поверхні (рис. 2).

Інформаційний масив, який надходить до обчислювальної машини, містить відносні розміри від датчика до вимірювальної поверхні, які включають:

1. відстань від датчика до номінальної поверхні;
2. величину відхилення форми;
3. величину параметра шорсткості;
4. випадкові та постійні похибки вимірювання.

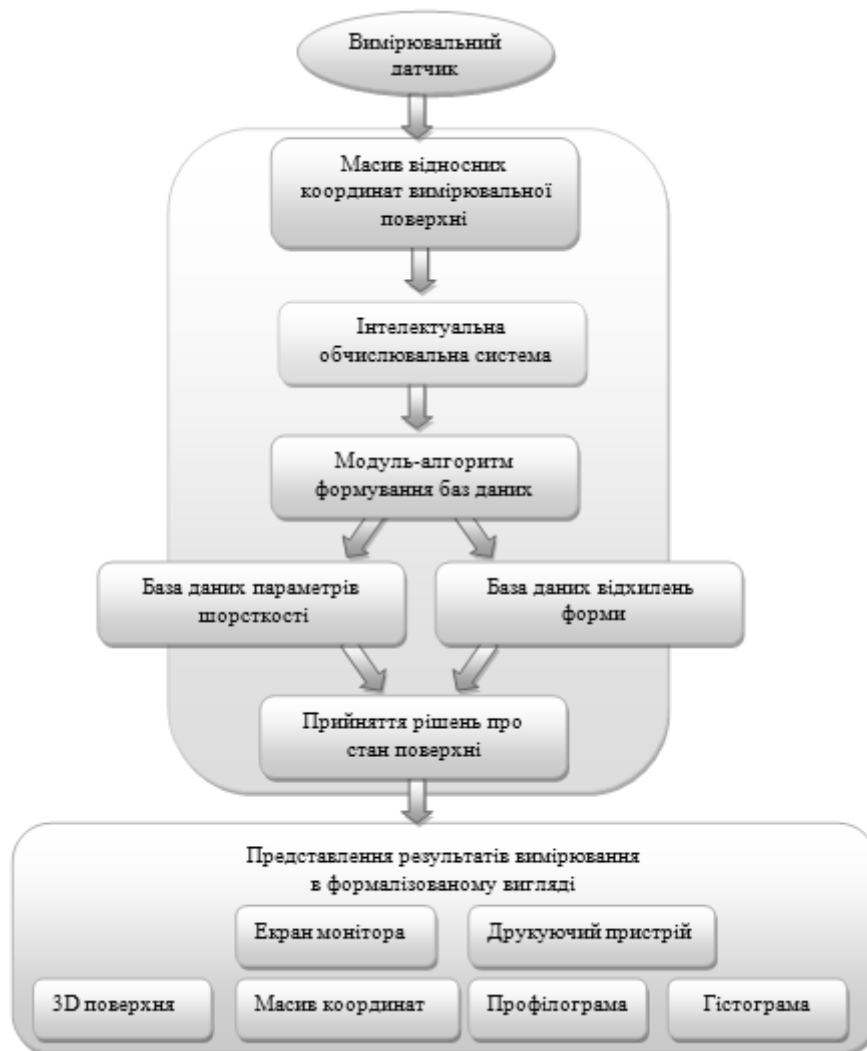


Рис. 2. Алгоритм роботи вимірювального комплексу

Для відокремлення досліджуваних величин [4, 5] шорсткості та похибки форми використовується обернене перетворення Фур'є:

$$F_{kj} = \frac{1}{N} \sum_{l=0}^{N-1} Y_{lj} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{N} lk\right) + i \cdot \frac{1}{N} \cdot \sum_{l=0}^{N-1} Y_{lj} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{N} lk\right) = \operatorname{Re}(S_{kj}) + i \cdot \operatorname{Im}(S_{kj})$$

де $l=0, N-1$ – часові відліки сигналів;

$j=0, n-1$ – номери сигналів в послідовності їх сканування;

Y_{lj} – j -ий елемент масиву вимірювання після обробки перетворювачем сигналів;

$Re(S_{k,j})$ – значення дійсної частини перетворення Фур'є;

$Im(S_{k,j})$ – значення уявної частини перетворення Фур'є.

Модуль-алгоритм формування баз даних являє собою комплексний програмний продукт, який за допомогою статистичного та математичного аналізу проводить порівняння вхідного оцифрованого сигналу з еталонними масивами в базі даних.

Основними етапами обробки вхідного масиву координат (рис. 3) є отримання та обробка сигналів, їх аналіз та класифікація з метою накопичення та доповнення існуючої еталонної бази даних.



Рис. 3. Складові інформаційного циклу модуля алгоритму формування баз даних

Комплексна база даних параметрів шорсткості та відхилень форми формується за рахунок досліджень еталонних зразків поверхонь (навчання системи методом "водіння за руку").

Для формування еталонної бази даних сигналів (рис. 4) необхідно відібрати еталонні зразки, класифікувати параметри геометричної точності (таблиця 1), вибрати дискретність та контрольні значення у кожній групі для контролю достовірності навчання системи.

Таблиця 1

Розподіл зразків на 15 груп відповідно до класів точності

Група	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Розмір, мкм	до 240	до 100	до 53	до 30	до 18	до 10	до 5	до 2,5	до 1	до 0,74	до 0,49	до 0,15	до 0,07	до 0,01	до 0,005
Дискретність, мкм	2	1	0,5	1	0,5	0,2	0,1	0,05	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,001



Рис. 4. Основі етапи формування еталонної бази даних сигналів

Висновки

- в результаті дослідження розроблений алгоритм роботи комплексу вимірювання параметрів шорсткості та відхилення форми;
- розроблено модуль-алгоритм формування баз даних із застосуванням методів цифрової обробки сигналів, статистичного та математичного аналізу масивів вимірювальної інформації;
- сформульовані основні етапи формування еталонної бази даних сигналів, їх класифікація, поділ за видами відповідно до ступеня точності та дискретності в кожній групі.

Список літературних джерел

1. Чередніков О.М., Чередніков І.О., Ільченко С.С. Розробка та впровадження віртуальних виробництв на базі CALS - технологій // Інтегровані інформаційні технології та системи (ІПТС-2005); Матеріали науково-практичної конференції молодих учених та аспірантів. (21-23 листопада 2005 р.): Секція „Математичне моделювання систем та процесів. – Київ: НАУ, 2005.– С. 172-173.
2. Чередніков О.М., Борисов О.О., Срібний М. М. Переваги лазерних приладів вимірювання параметрів нерівностей поверхні /Вісник Чернігівського державного технологічного університету. - Чернігів: ЧДТУ. – 2008. – №36. - С.65-71.
3. Чередніков О.М., Борисов О.О., Кулік О. В. Порівняння результатів розрахунку рівняння регресії за трьома алгоритмами, с. 61-63 в збірнику тез першої науково-практичної конференції, 19-23 травня 2008 року, Київ, Україна. "Інтегровані інтелектуальні робото технічні комплекси (ІРТК-2008)".–К.: НАУ,– 2008.–248с.
4. Дунин-Бартковский И.В., Карташова А.Н. Измерения и анализ шероховатости, волнистости и некруглости. – М.: Машиностроение, 1978. – 232 с.
5. Суслов А.Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей - М.: Машиностроение, 1987. – 208 с.

УДК 621.001.85 (075)

А.В. Бойко, магістрант**П.М. Мельник**, магістрант

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ПОБУДОВА РЕГРЕСІЙНОЇ МОДЕЛІ ТОЧНОСТІ СКЛАДАЛЬНОГО РОЗМІРНОГО ЛАНЦЮГА

Розглянута методика побудови регресійної моделі точності складального розмірного ланцюга, яка відображає процес формування точності складання при взаємодії таких основних факторів як кількість реалізацій складання, кількість ланок розмірного ланцюга та значення середнього допуску замикаючої ланки

Постановка проблеми

Підвищення якості машин значною мірою залежить від допусків, які передбачені на відносний рух, а також на положення поверхонь і осей деталей (складальних одиниць) з урахуванням їх службового призначення. Точність при конструюванні, виготовленні, експлуатації і ремонті машин та їх складених частин досягається за рахунок використання теорії розмірних ланцюгів, її основних закономірностей, положень і розрахунків.

Похибки і зміна розмірів складових ланок впливають на розміри замикаючої ланки, що відбивається на працездатності машин і обладнання. Тому, щоб забезпечити нормальну роботу механізмів, під час складання машин і обладнання, насамперед, необхідно відновлювати точність розмірних ланцюгів.

Аналіз досліджень і публікацій

Дослідженням процесів формування точності складальних розмірних ланцюгів присвячена безліч робіт відомих вітчизняних вчених – Бородачева Н.А., Соколовського Б.С., Дунаєва Н.Ф. і ін.

На сьогодні дані дослідження продовжуються, зокрема, в роботах російських вчених Леонт'єва Б.В. і Сафонова А.Н. В роботі [1] розглянуто використання розмірного аналізу як засобу забезпечення високої якості і конкурентноздатності продукції. Під час проектування конструктор, щоб забезпечити точність складання і роботи машини, повинен виконати розрахунок складальних розмірних ланцюгів за відомими методиками [2, 3].

Але для забезпечення високоякісної продукції слід проводити дослідження складальних розмірних ланцюгів саме функціональних або динамічних – з врахуванням зношування (в середині експлуатаційного допуску) і похибок за рахунок складання-регулювання, теплових і силових деформацій (в середині конструктивного допуску) [1].

Але слід відзначити, що при такому підході розмірні ланцюги є досить складними, наприклад, ланцюг бічного зазору черв'ячного зчеплення є багатокомпонентним і просторовим, що вимагає комбінації методів розв'язання.

При дослідженнях точності розмірних ланцюгів в складальному виробництві, в роботі [3] також розглянуто ряд факторів, які впливають на появу похибок при складанні: похибки розмірів, форми і взаємного розташування поверхонь деталей; неякісна обробка сполучуваних поверхонь; неточне встановлення і фіксація з'єднуваних одиниць у процесі складання; геометричні неточності складального устаткування і т.д.

Отже, актуальним питанням на сьогодні залишається точність складальних розмірних ланцюгів і її взаємодія з багатьма факторами, що мають місце в складальному виробництві.

Мета статті

Метою роботи є побудова математичної моделі формування точності складальних

розмірних ланцюгів.

Виклад основного матеріалу

На етапі попереднього вивчення технічної системи необхідно досліджувати всю наявну в розпорядженні дослідника інформацію, щоб врахувати можливо більшу кількість факторів, дати їм жорстку класифікацію, і за допомогою “відсіюючих” експериментів позбутися від малозначимих факторів. Планування “відсіюючих” експериментів може здійснюватись за методом випадкового балансу, методом рангової кореляції або “розгалуженої” стратегії. У даній роботі буде використаний метод рангової кореляції.

Складальні розмірні ланцюги – це складні технічні системи, на які впливає велика кількість керованих, контрольованих та неконтрольованих факторів. Ступінь впливу цих факторів на параметр оптимізації неоднакова. Тому на етапі попереднього вивчення складальних розмірних ланцюгів необхідно використати всю наявну в розпорядженні інформацію, щоб врахувати можливо більшу кількість факторів і дати їм жорстку класифікацію. З цією метою здійснюється аналіз літературних та виробничих джерел по досліджуваному процесу.

Систематизація думок фахівців найбільш об'єктивно показує положення, що склалося в даній області досліджень, і по суті справи, це є той же літературний огляд, представлений у формалізованому вигляді. При опитуванні необхідно врахувати точки зору якомога більшої кількості фахівців.

В даному дослідженні було проведено опитування викладачів кафедри технології машинобудування Чернігівського державного технологічного університету. Були визначені наступні вісім найбільш впливових факторів:

- кількість замикаючих ланок;
- закон розподілення;
- кількість реалізації складань;
- середній допуск замикаючої ланки;
- кількість ланок;
- температурний вплив;
- зміщення поля допуску;
- допуск ланок.

Для оцінки узгодженості поглядів всіх спеціалістів і побудови середньої апіорної діаграми рангів використовуємо програмний продукт «Rangkor», розроблений на кафедрі технології машинобудування.

Результати розрахунку представлені на рисунку 1. Програмний продукт «Rangkor» дозволяє також оцінити ступінь узгодження поглядів всіх спеціалістів за допомогою так званого коефіцієнта конкордації, який в нашому випадку дорівнює 0,78. Коефіцієнт конкордації приймає значення від 0 до 1. Чим більше значення коефіцієнта конкордації, тим вище ступінь узгодженості думок експертів. Розраховане значення коефіцієнту конкордації $W = 0,78$ свідчить про те, що ступінь узгодженості думок експертів високий. Для оцінки значимості коефіцієнта конкордації використовується критерій χ^2 , що підкоряється χ^2 розподілу з числом ступенів свободи $f=n-1$.

В даному дослідженні значення критерію дорівнює 32,36. Відповідно до таблиці критичних значень критерію Пірсона χ^2 для 5% рівня значимості дорівнює 30,144. Оскільки χ^2 розрахунковий більше χ^2 табличного, з імовірністю 0,95 можна стверджувати, що погодженість у думках експертів не є випадковою.

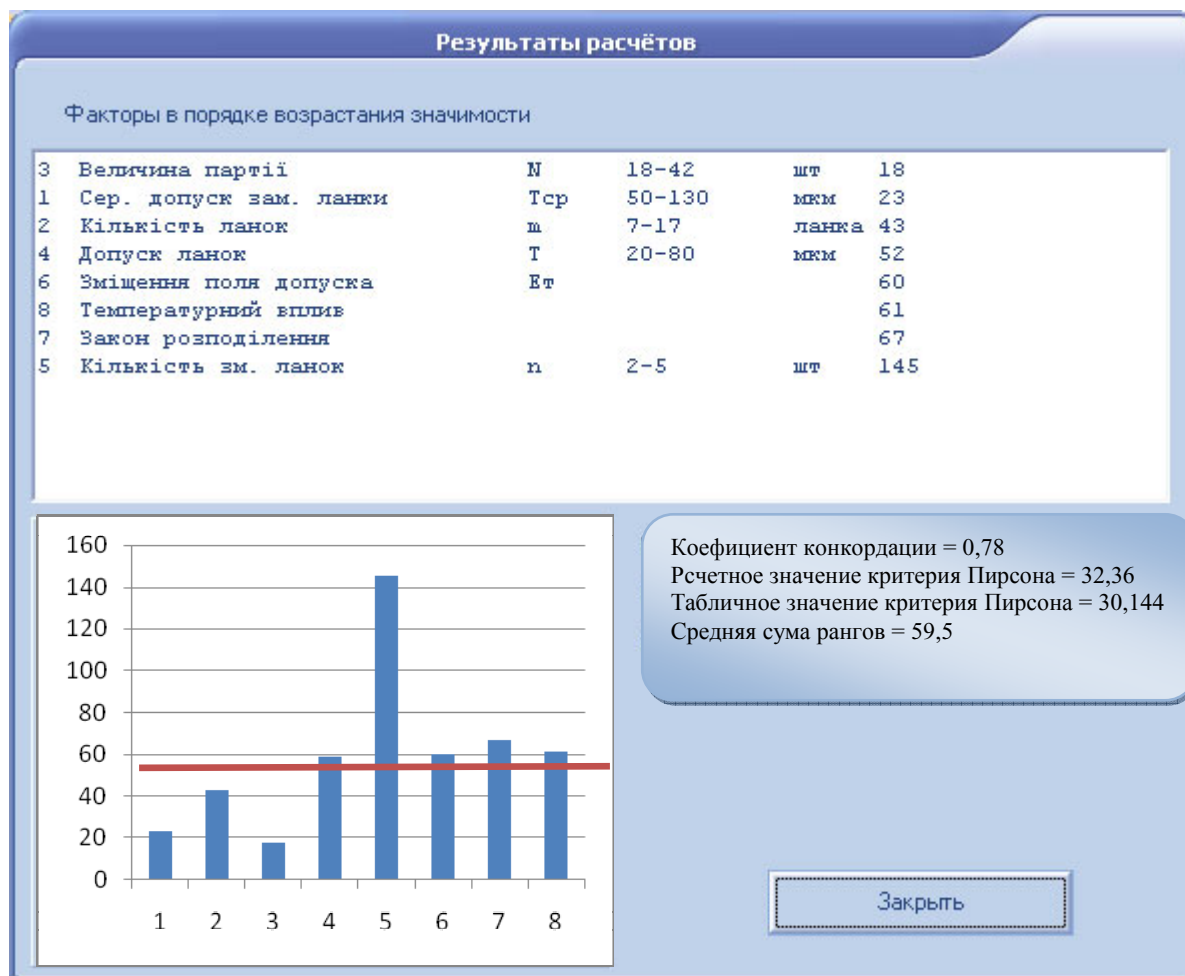


Рис. 1. Средняя априорная диаграмма рангов

На основі проведених розрахунків було вибрано ті фактори, які мають максимальний вплив на параметр оптимізації (середнє значення замикаючої ланки складального розмірного ланцюга при різних умовах складання) – це середній допуск замикаючої ланки, кількість ланок, кількість реалізації складань.

Для дослідження впливу обраних факторів на параметр оптимізації скористаємось методикою планування експерименту. Сутність методу полягає в тому, що на основі обмеженої кількості проведених експериментів встановлюється кореляційна залежність між показниками процесу та вихідними параметрами продукції.

Останнім часом отримали широкий розвиток математичні моделі, якими є рівняння, що виражають залежність параметра оптимізації (Y) від факторів ($x_1, x_2, \dots, x_k$):

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_k).$$

Наведена функція отримала назву функції відгуку – функція, яка характеризує процес, що досліджується.

Обираємо основні рівні та інтервали варіювання для факторів:

- середній допуск замикаючої ланки 50-130 мкм [4];
- кількість ланок 7-17;
- кількість реалізації складань 18-42 шт.

Рівні варіювання факторів відображені в таблиці 1.

Кодові значення факторів відображені в таблиці 2.

Таблиця 1

Рівні варіювання досліджуваних факторів	Досліджувані фактори					
	Середній допуск замикаючої ланки T_{cp} , мкм		Кількість ланок m		Величина партії N , шт.	
	x_1	x_1	x_2	x_2	x_3	x_3
Зоряна точка $+\alpha$	157	+1,682	21	+1,682	50	+1,682
Верхній рівень $x_{i\ max}$	130	+ 1	17	+ 1	42	+ 1
Нульовий рівень x_{0i}	90	0	12	0	30	0
Нижній рівень $x_{i\ min}$	50	-1	7	-1	18	-1
Зоряна точка $-\alpha$	23	-1,682	3	-1,682	10	-1,682
Інтервали варіювання x_i	40	1	5	1	12	1

Таблиця 2

№	фактори					
	T_{cp}		m		N	
	$X1$	$X1'$	$X2$	$X2'$	$X3$	$X3'$
1	50	-	7	-	18	-
2	130	+	7	-	18	-
3	50	-	17	+	18	-
4	130	+	17	+	18	-
5	50	-	7	-	42	+
6	130	+	7	-	42	+
7	50	-	17	+	42	+
8	130	+	17	+	42	+
9	23	$-\alpha$	12	0	30	0
10	157	$+\alpha$	12	0	30	0
11	90	0	3	$-\alpha$	30	0
12	90	0	21	$+\alpha$	30	0
13	90	0	12	0	10	$-\alpha$
14	90	0	12	0	50	$+\alpha$
15	90	0	12	0	30	0

Після проведення планування машинного експерименту наступний етап – це проведення дослідів згідно розробленої матриці (таблиця 2).

Для проведення дослідів скористаємось програмним продуктом, розробленим на кафедрі технології машинобудування «Project» для генерації випадкових чисел, що підпорядковуються нормальному закону (закону Гаусса). Це найбільш часто вживаний у технічних розрахунках теоретичний закон розсіювання випадкових похибок.

На рисунку 2 відображені лише декілька експериментів, що відповідають матриці планування.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1 №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
2	15,23	35,7	44,81	24,43	38,92	16,8	34,33	7,59	31,21	16,48	17,59	36,58	38,71	41,2	21,9	1,37
3	2	33,87	29,83	32,18	11,1	48,24	49,1	42,25	9,25	18,76	1,15	24,48	17,15	49,84	39,54	43,33
4	3	4,22	33,77	29,8	28,52	25,41	33,11	32,69	27,45	48,06	19,04	11,45	29,26	26,46	3,17	23,9
5	4	30,03	19,21	29,17	34,49	9,94	3,67	8,96	12,02	33,99	7,04	0,1	47,88	29,66	33,14	2,16
6	5	47,56	22,48	45,26	32,22	8,14	31,88	3,97	33,31	32,38	43,4	8,02	16,09	30,06	43,01	7,93
7	6	47,04	40,22	16,85	19,9	48,61	17,71	14,49	30,81	32,69	23,04	44,83	17,96	45,73	5,15	14,3
8	7	33,39	27,14	39,89	9,6	10,5	22,69	40,85	1,26	48,56	9,42	7,16	6,45	43,21	7,48	9,51
9	8	49,86	18	32,54	41,54	1,48	1,73	44,49	30,2	27,88	48,74	21,91	22,15	46,86	9,09	5,82
10	9	8,07	41,88	31,32	19,29	41,39	31,62	7,51	7,12	1,44	36,83	13,85	15,19	25,76	1,7	11,34
11	10	19,36	24,47	49,86	40,12	42,47	11,09	41,86	49,25	5,74	8,48	2,06	33,42	42,34	28,08	26,81
12	11	48,15	41,31	5,41	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	12	41,88	4,77	22,44	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
14	13	4,54	29,21	45,94	3	1	10,43	48,37	46,83	13,91	49,08	5,25	25,16	7,39	7,03	27,5
15	14	28,48	34,13	48	4	2	44,54	8,32	25,67	10,28	39,35	0,08	1	1	1	1
16	15	13,49	13,54	44,38	5	3	38,58	44,9	44,41	32,83	15,08	24,04	1	1	1	1
17	16	36,57	46,81	35,83	6	4	36,67	28,12	3,33	33,89	6,07	38,32	1	1	1	1
18	17	15,67	49,66	24,52	7	5	33,77	11,55	2,8	3,44	45,64	6,02	1	1	1	1
19	18	40,39	2,01	40,86	8	6	6,8	17,79	44,42	6,86	21,37	41,71	1	1	1	1
20	19	39,03	15,89	1,42	9	7	29,72	22,07	46,03	14,16	31,26	4,01	1	1	1	1
21	20	28,99	1,65	7,35	10	8	49,05	16,71	4,7	39,23	29,55	46,25	1	1	1	1
22	21	40,09	7,13	14,83	11	9	13,96	4,35	9,25	43,95	13,39	24,81	1	1	1	1
23	22	45,87	14,51	41,1	12	10	19,83	35,03	3,31	17,53	47,45	7,42	1	1	1	1
24	23	9,21	13,33	40,09	13	11	18,83	22,88	28,4	22,43	5	43,93	1	1	1	1
25	24	2,78	39,82	29,64	14	12	15,77	33,47	47,58	21,14	49,77	3,61	1	1	1	1
26	25	33,01	5,77	19,32	15	13	5,06	42,53	7,28	34,37	13,88	47,85	1	1	1	1
27	26	19,48	39,66	31,52	16	14	15	14	0,72	8,71	24,43	23,72	7,31	1	1	1
28	27	18,39	13,65	13,73	17	15	38,16	34,65	42,54	10,5	17,98	5,51	1	1	1	1
29	28	8,31	25,88	18,62	18	16	34,43	28,52	17,11	3,46	25,53	17,03	1	1	1	1
30	29	8,87	41,32	28,27	19	17	36,54	13,41	2,86	37,2	39,78	39,9	1	1	1	1
					19	18	32,59	23,5	46,57	9,11	24,28	25,37	1	1	1	1

Рис. 2. Експериментальні дані, отримані за допомогою генератора випадкових чисел

Результатами дослідження є значення параметра оптимізації Y – середнє значення замикаючої ланки складального розмірного ланцюга при різних умовах складання, отримане при трикратному повторюванні експерименту (таблиця 3).

Таблиця 3

Розраховані значення параметру оптимізації

№	X1		X2		X3		Y1	Y2	Y3
1	-	50	-	7	-	18	155,6278	195.1267	178,36
2	+	130	-	7	-	18	455,8883	436.785	498,46
3	-	50	+	17	-	18	430,84	423.1256	432,81
4	+	130	+	17	-	18	1067,049	1114.253	1104,32
5	-	50	-	7	+	42	168,3838	186.9207	177,66
6	+	130	-	7	+	42	452,854	434.6079	413,88
7	-	50	+	17	+	42	421,0657	426.4702	428,32
8	+	130	+	17	+	42	1099,833	1130.146	1068,73
9	-α	23	0	12	0	30	143,0113	148.326	134,06
10	+α	157	0	12	0	30	929,9877	934.5373	884,5
11	0	90	-α	3	0	30	130,3777	138.7037	139,24
12	0	90	+α	21	0	30	920,5313	946.5117	957,04
13	0	90	0	12	-α	10	474,015	556.673	536,47
14	0	90	0	12	+α	50	538,3526	544.8024	538,43
15	0	90	0	12	0	30	534,0377	535.5527	515,68

Для отримання статистичних даних необхідно скористатись спеціальним програмним продуктом «PLAN2», який також розроблений на кафедрі технології машинобудування. Дана програма реалізує відому методику статистичних досліджень при математичному плануванні експерименту [5].

Після закінчення роботи програми можливий як візуальний перегляд, так і одержання копії (роздруковка).

Перевірка гіпотези однорідності дисперсій проводилась по G - критерію Кохрена для усіх точок плану, окрім нульових. Розрахункове значення $G=0,289$ при числі серій дослідів 15 і числі ступенів вільності $f=2$.

Коефіцієнти рівняння регресії:

$b_0 = 524,0179$; $b_1 = 233,2521$; $b_2 = 230,8424$; $b_3 = 0,2630619$; $b_{1,1} = 2,547037$; $b_{2,1} = 99,76312$; $b_{2,2} = 5,962228$; $b_{3,1} = -2,776458$; $b_{3,2} = 3,546458$; $b_{3,3} = 3,390466$.

Таким чином, отримане рівняння регресії, що відображає процес формування точності складальних розмірних ланцюгів, має наступний вигляд

$$Y=524,0179+233,2521 \cdot X_1+230,8424 \cdot X_2+0,2630619 \cdot X_3+99,76312 \cdot X_1 X_2-2,776458 \cdot X_1 X_3+3,546458 \cdot X_2 X_3+2,547037 \cdot X_1^2+5,962228 \cdot X_2^2+3,390466 \cdot X_3^2$$

Знак коефіцієнту регресії вказує характер впливу фактора на параметр оптимізації, а значення коефіцієнту – на вагомість впливу того чи іншого фактору.

Програмний продукт «PLAN2» виконує відсіювання незначних коефіцієнтів при факторах впливу. Після відсіювання рівняння регресії, що відображає процес формування точності складальних розмірних ланцюгів, має наступний вигляд

$$Y=524,0179+233,2521 \cdot X_1+230,8424 \cdot X_2+99,76312 \cdot X_1 X_2+5,962228 \cdot X_2^2$$

Після побудови остаточного рівняння регресії і відсіювання незначних коефіцієнтів встановлено, що найбільший вплив на процес формування точності складальних розмірних ланцюгів має середній допуск замикаючої ланки T_{cp} і кількість ланок m .

Розрахункове значення F – розподілення Фішера для перевірки моделі на адекватність $F=1,888$. Табличне значення F_m – розподілення Фішера для перевірки моделі на адекватність $F_m=2,04874$. Оскільки $F < F_m$, то гіпотеза про адекватність моделі експериментальним даним не відкидається.

Коефіцієнт кореляції $R=0,9999596$. Розрахункове значення F – розподілення Фішера для перевірки гіпотези про значимість коефіцієнта кореляції $F=1048$. Табличне значення F_m – розподілення Фішера для перевірки гіпотези про значимість коефіцієнта кореляції $F_m=2,539689$. Оскільки $F > F_m$, то гіпотеза про значимість коефіцієнта кореляції не відкидається.

На рисунку 2 зображена графічна інтерпретація отриманої математичної моделі, аналіз якої дозволяє зробити висновок про те, що вплив факторів, а саме середнього допуску замикаючої ланки T_{cp} і кількості ланок m на середнє значення замикаючої ланки складального розмірного ланцюга є лінійним. Даний вплив пояснюється малим значенням коефіцієнта регресії при факторі X_2^2 .

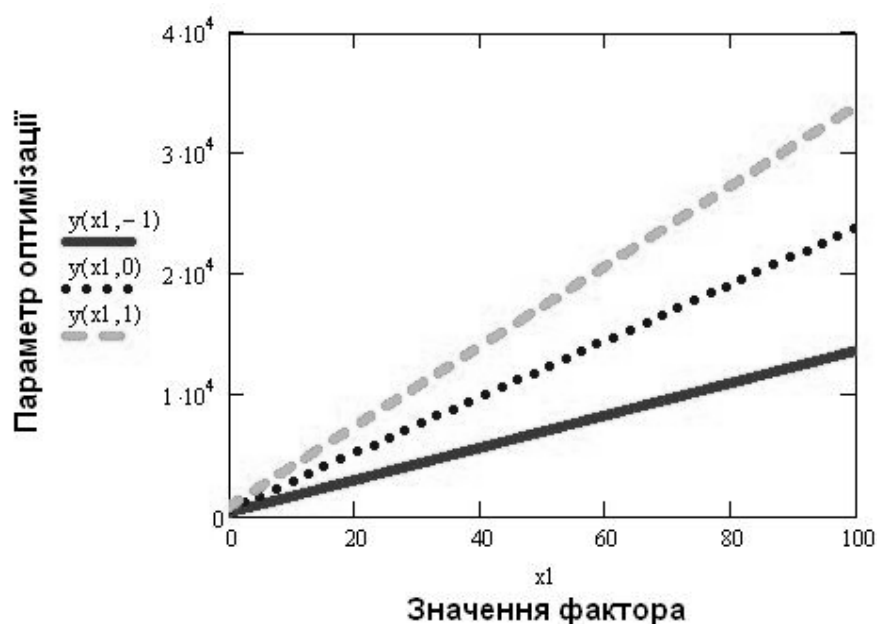


Рис. 2. Графічна інтерпретація отриманої математичної моделі

Висновки

В результаті досліджень процесу формування точності складання:

1. були визначені основні вісім найбільш впливових факторів, що визначають точність складального ланцюга;
2. проведено оцінку узгодженості поглядів всіх спеціалістів при опитуванні. За допомогою методу рангової кореляції було відібрано ті фактори, які мають максимальний вплив на середнє значення замикаючої ланки складального розмірного ланцюга при різних умовах складання – це середній допуск замикаючої ланки, кількість ланок, кількість реалізації складань;
3. отримане рівняння регресії, що відображає процес формування точності складальних розмірних ланцюгів. Встановлено, що найбільший вплив на процес формування точності складальних розмірних ланцюгів має середній допуск замикаючої ланки T_{cp} і кількість ланок m ;
4. гіпотеза про адекватність моделі експериментальним даним і значимість коефіцієнта кореляції підтверджена, що свідчить про достовірність отриманих результатів;
5. графічна інтерпретація отриманої математичної моделі дозволяє встановити закон впливу досліджуваних факторів на параметр оптимізації. Отже, при збільшенні середнього допуску замикаючої ланки T_{cp} і кількості ланок m середнє значення замикаючої ланки складального розмірного ланцюга буде збільшуватись за лінійною залежністю.

Список літературних джерел

1. <http://library.fentu.ru>
2. Дунаев П.Ф. Размерные цепи/ Дунаев П.Ф. — М.: Машгиз, 1963. — 308 с.
3. Бондаренко С.Г. Розмірні розрахунки механоскладального виробництва/ Бондаренко С.Г. — К.: ІСДО, 1993. — 544 с.
4. ГОСТ 25346-89 Единая система допусков и посадок. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений
5. Колкер Я. Д. Математический анализ точности механической обработки деталей / Колкер Я. Д. — К.: Техніка, 1976. — 200 с.

УДК 621.822.172

Д.Ю. Федориненко, канд. техн. наук

С.В.Бойко, канд. техн. наук

С.П. Сапон, ст. викладач

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ШПИНДЕЛЬНИХ ГІДРОСТАТИЧНИХ ОПОР

Запропоновано експериментальний стенд для дослідження динамічних характеристик гідростатичних опор. Розглянуті особливості вимірювання вібраційного поля корпусу підшипника, динамічного тиску та температури робочої рідини в карманах опор.

Постановка проблеми

Підвищення точності та продуктивності механічної обробки є постійною науково-технічною проблемою машинобудування і верстатобудування. Одним з перспективних шляхів її вирішення для прецизійних і важких металорізальних верстатів є використання гідростатичних шпиндельних опор, які мають високі показники довговічності, несучої здатності, жорсткості, вібростійкості та забезпечують високу точність обертання шпинделя. Експериментальні дослідження є невід'ємною частиною розробки нових конструкцій гідростатичних опор (ГСО). Від точності визначення експериментальних характеристик гідростатичних підшипників залежить якість спроектованих опорних вузлів шпинделя та загалом точність обробки на верстатах.

Аналіз досліджень і публікацій

Численні теоретичні та експериментальні дослідження ГСО з адаптивним регулюванням вихідних характеристик точності для верстатів токарної, фрезерної груп проводяться під керівництвом проф. Шатохіна С.М. [1]. В ЕНІМВі проф. Решетовим Д.М. експериментальним шляхом визначені точнісні параметри шпиндельних ГСО, на основі яких розроблені рекомендації щодо проектування опорних вузлів шпинделів верстатного устаткування [2]. Науковою школою проф. Артеменка М.П. розроблені експериментальні стенди та проведені дослідження динамічних характеристик, втрат потужності у високошвидкісних ГСО з малов'язким мащенням [3]. Проте, незважаючи на накопичений досвід в практиці досліджень ГСО, впровадження сучасних експериментальних методів потребує використання цифрових вимірювальних засобів, що значно розширюють можливості обробки інформації та наступного використання результатів, зокрема в пакетах математичного моделювання MathCAD, MatLab.

Мета статті

Метою роботи є розробка універсального вимірювального стенду для дослідження динамічних характеристик шпиндельних ГСО на основі використання цифрових засобів обробки інформації.

Виклад основного матеріалу

В процесі механічної обробки шпиндельний вузол верстата схильний до впливу технологічних та автоколивальних збурень різної швидкості (рис. 1) До швидкоплинних процесів відносяться механічні та гідравлічні коливання широкого спектру дії. Зміна температури робочої рідини в системі живлення ГСО може бути охарактеризована як процес, що відбувається з середньою швидкістю. До категорії повільних процесів належить спрацювання виконавчих поверхонь деталей ГСО.

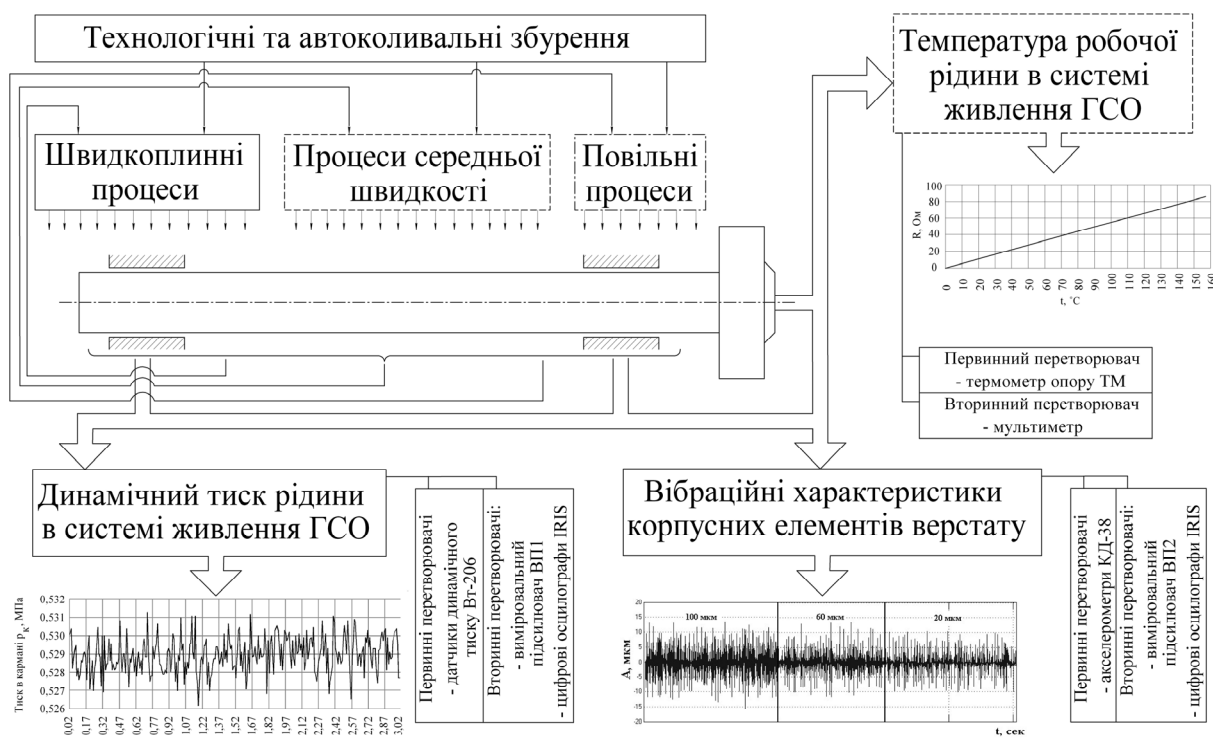


Рис. 1. Комплекс засобів експериментальних досліджень оберткових вузлів технологічного обладнання з гідростатичними опорами

Для дослідження динамічних характеристик гідростатичних підшипників широкої номенклатури запропоновано комплекс засобів експериментальних досліджень оберткових вузлів технологічного обладнання реалізований у вигляді універсального експериментального стенду (рис. 2, 3).

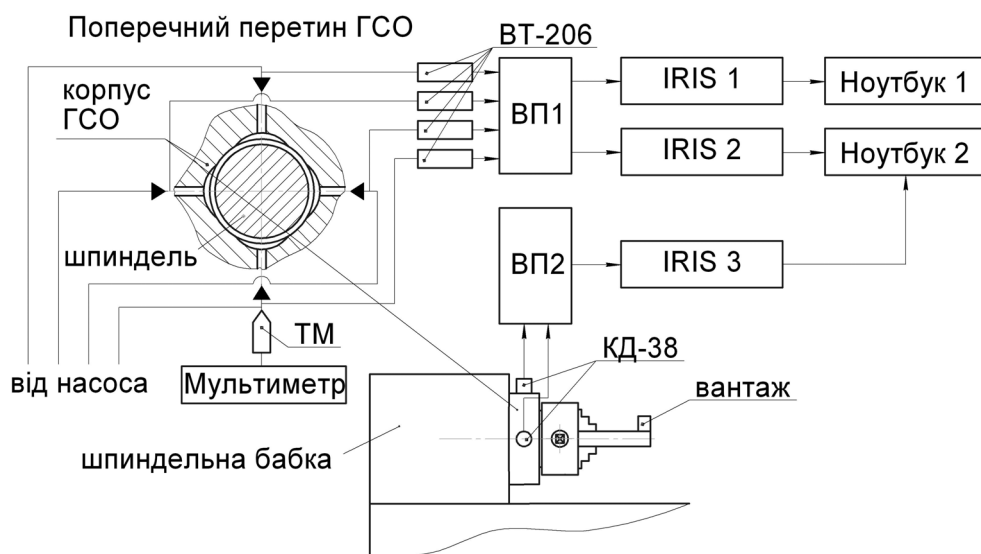
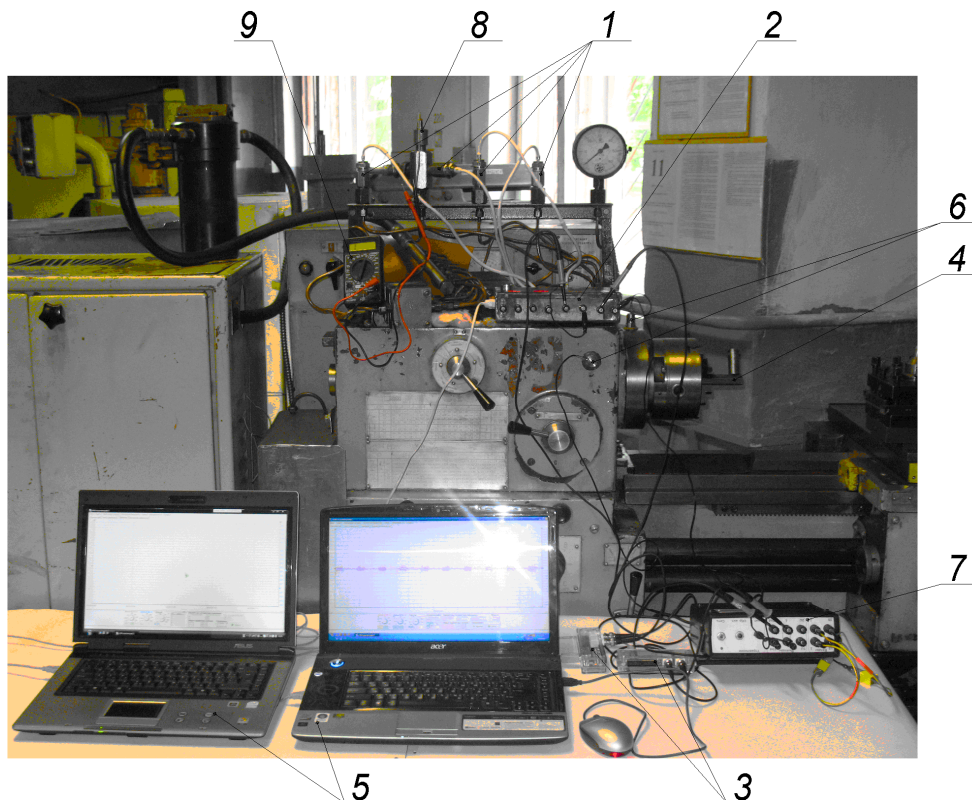


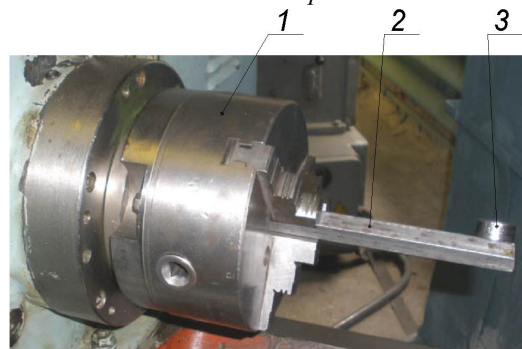
Рис. 2. Структурна схема експериментального стенду для досліджень шпиндельних ГСО

Для формування комплексу гармонійних зовнішніх збурень на шпиндельний вузол використовувались змінні незрівноважені вантажі, які закріплюються в патроні верстата за допомогою оправки (рис. 4). Змінні вантажі в експериментальних дослідженнях можуть бути застосовані в шістьох конструктивних виконаннях (табл. 1).



1 – датчик динамічного тиску Вм-206, 2 – вимірювальний підсилювач ВП 1, 3-цифрові осцилографи IRIS, 4 – оправка з незрівноваженим вантажем, 5 – ноутбуки, 6 – датчики прискорень КД-38, 7 – вимірювальний підсилювач ВП2 з аналоговим інтегратором, 8 – термопара ТМ, 9 – мультиметр

Рис. 3. Загальний вигляд експериментального стенда



1 – патрон, 2 – оправка, 3 – вантаж

Рис. 4. Оправка з незрівноваженим вантажем для створення зовнішнього дисбалансу

Таблиця 1

Характеристика незрівноважених вантажів

№ вантажу	I	II	III	IV	V	VI
m , грам	51,15	163,51	146,5	123,5	99,5	72,1
R_d , мм	24,4	42,2	44,15	43,7	38,45	43,45
D_{CT} , г×мм	1248,06	6900,12	6467,97	5396	3825,78	3132,7

Примітка: m – маса незрівноваженого вантажу; R_d – радіус розташування центру ексцентричної маси відносно осі шпинделя; D_{CT} – статичний дисбаланс вантажу.

Для формування зовнішніх стохастичних збурень на шпиндельний вузол верстату доцільно застосовувати механічну обробку заготовок спеціального профілю [4], поверхні яких сформовані у вигляді випадкових процесів з наперед визначеними статистичними характеристиками.

З метою досліджень коливань тиску рідини в карманах ГСО в якості первинного пе-

ретворювача використовуються датчики динамічного тиску моделі Вт-206 (рис. 5, а) з діапазоном вимірювання $0 \div 80 \cdot 10^5$ Па. Номінальний вихідний сигнал датчика в одиницях калібрувального опору R_k при номінальному тиску $P_{ном}$ в нормальних кліматичних умовах дорівнює 120_{-5}^{+30} кОм, що відповідає вихідному сигналу у відносних одиницях $\Delta R/R = 6_{-1,2}^{+0,3} \cdot 10^{-3}$. Основна статистична похибка датчика в нормальних кліматичних умовах не більше 0,8% від границі вимірювання з імовірністю 0,95.

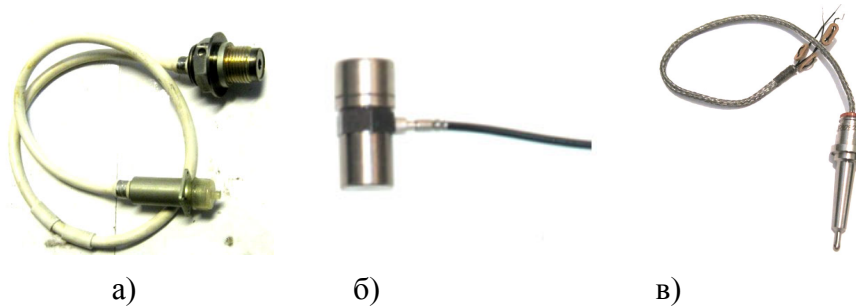


Рис. 5. Загальний вигляд датчика динамічного тиску Вт-206 (а), п'єзоелектричного датчика прискорення моделі КД-38 (б) та термопар ТМ (в)

Для підсилення сигналів з датчиків динамічного тиску при вимірюванні амплітуди коливань тиску в карманах ГСО застосовується вимірювальний підсилювач сигналу ВП1 оригінальної конструкції (рис. 6), який працює в діапазоні частот $0 \dots 500$ Гц, забезпечує коефіцієнт підсилення $K_{підс} = 1650$ та нелінійність амплітудної характеристики в межах $\pm 2\%$. Достатньо велике значення коефіцієнта підсилення дозволяє використовувати датчики з порівняно низьким вихідним сигналом.

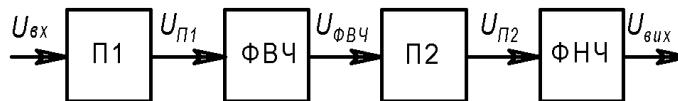


Рис. 6. Вимірювальний підсилювач ВП1 сигналу з датчиків Вт-206 (а) та його функціональна схема (б)

Сигнал $U_{вх}$ з датчика тиску Вт-206 надходить на вхід підсилювача (коефіцієнт підсилення $K_1 = 66$), основною вимогою до якого є низький рівень власних шумів. Після попереднього очищення і підсилення сигнал $U_{П1}$ проходить через фільтр високої частоти (ФВЧ), внаслідок чого відфільтровується верхній діапазон частот сигналу, який не потрапляє в діапазон частотних досліджень. Після фільтрації сигнал $U_{ФВЧ}$ підсилюється основним підсилювачем П2 (коефіцієнт підсилення $K_2 = 25$). Далі сигнал $U_{П2}$ проходить через низькочастотний фільтр ФНЧ для очищення від власних шумів підсилювача і на виході з вимірювального підсилювача отримується сигнал $U_{вих}$, що безпосередньо обробляється аналогово-цифровим перетворювачем (АЦП) осцилографа.

При розробці засобів вторинного перетворення сигналу з тензорезистивних датчиків тиску попередньо здійснювався аналіз їх похибок, що проводився за градуальною таблицею залежності вихідної напруги від тиску, що сприймається датчиком при стабілізованій напрузі живлення. На рисунку 7, а наведено тарувальну характеристику датчика тиску з накладенням на криву апроксимуючої лінії тренда, прив'язаної до точок початку і кінця його динамічного діапазону перетворення.

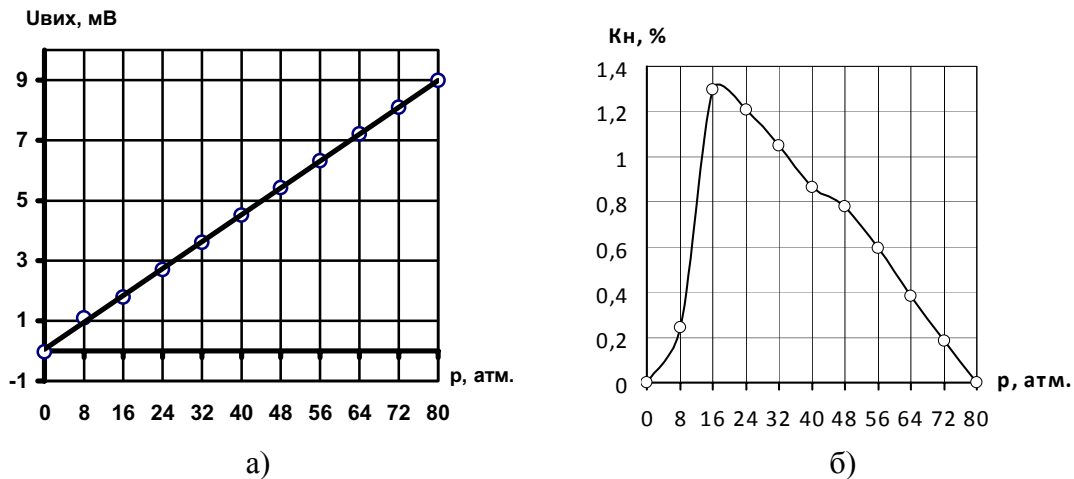


Рис. 7. Лінеаризована тарувальна характеристика датчика Вт-206 (а) та його коефіцієнт нелінійності K_n в залежності від діапазону вимірювання тиску p (б)

Відносні значення коефіцієнта нелінійності перетворення датчика тиску у відсотках визначались за формулою

$$K_{ni} = \frac{U_{\partial}^i - U_u^i}{U_u^i} \cdot 100 \%,$$

де, U_{∂}^i – вихідне значення напруги датчика в i -й точці характеристики перетворення, мВ; U_u^i – очікуване ідеальне значення напруги датчика в i -й точці характеристики перетворення, визначене по її лінійній апроксимації за «методом хорд» [5], мВ.

Апроксимовану характеристику перетворення датчика тиску можна представити у вигляді

$$U_{вихі} = \frac{(U_{\max} - U_{\min})}{(p_{\max} - p_{\min})} \cdot p_i (1 - K_{ni}) - 0,034, \text{ мВ},$$

де $U_{\max}$, $U_{\min}$, $p_{\max}$, $p_{\min}$ – максимальні та мінімальні значення вихідної напруги та тиску датчика, що визначаються за його тарувальною характеристикою.

З аналізу графіків, наведених на рисунку 7, можна зробити висновок про наявність похибки зміщення, яка дорівнює 0,034 мВ, а максимальний коефіцієнт нелінійності характеристики перетворення датчика не перевищує значення 1,3%. Аналітично обчислена загальна похибка вимірювального каналу «датчик тиску Вт-206 – ВП1» не перевищує 1,5%.

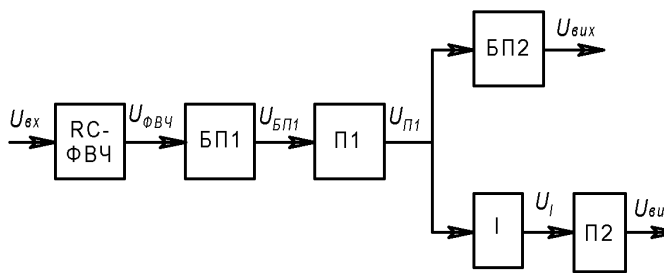
Вібраційне поле корпусних елементів ГСО в площині поперечного перетину шпинделя відтворювалося двома акселерометрами, встановленими у взаємно ортогональних напрямках (див. рис. 2). Для реконструкції випадкового вібраційного поля застосовувалися п'єзоелектричні датчики прискорень моделі КД-38 (див. рис. 5, б) з коефіцієнтом передачі $\gamma = 6,45 \text{ мВ/м}\cdot\text{с}^{-2}$, резонансною частотою 20 кГц та позитивним максимальним прискоренням $50 \dots 1000 \text{ м/с}^{-2}$.

В якості вторинного перетворювача сигналу, пропорційного віброприскоренню, застосовується вимірювальний підсилювач ВП2 оригінальної конструкції з вбудованим аналоговим інтегратором (рис. 8), що працює в діапазоні частот вимірюваних деформацій $0 \dots 2000 \text{ Гц}$ і забезпечує нелінійність амплітудної характеристики в межах $\pm 0,5\%$.

П'єзоелектричні датчики КД-38 є активними перетворювачами прискорення, які аналогічно електродинамічним перетворювачам створюють вимірювальну напругу, пропорційну прискоренню, без подачі на них живлення від стороннього джерела [6].



а)



б)

Рис. 8. Вимірювальний тензометричний підсилювач сигналу з датчиків КД-38 з вбудованим інтегратором (а) та його функціональна схема (б)

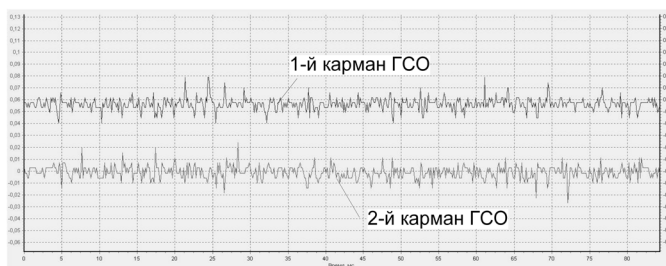
Сигнал $U_{вх}$ з акселерометра має імпульсний характер, тому для виділення змінної частки вихідного імпульсного сигналу датчика на вході в підсилювач встановлено RC – фільтр високої частоти (див. рис. 8, б). Оскільки п'єзодатчики мають значний вихідний опір, то для подальшої обробки сигналу $U_{ФВЧ}$ застосовувався буферний підсилювач БП1 зі значним входним опором, який штучно зменшує похибку сигналу $U_{ФВЧ}$. Після буферного підсилювача сигнал $U_{БП1}$ потрапляє в підсилювач П1, що виконує функцію нормування сигналу для подачі на вхід АЦП осцилографа. Для узгодження підвищеного вихідного опору підсилювача П1 та порівняно невисокого входного опору осцилографа призначений буферний підсилювач БП2, в якому сигнал $U_{П1}$ перетворюється на $U_{вих}$. Наявність додаткового каналу з аналоговим інтегратором І (див. рис. 8, б) дозволяє в режимі реального часу аналізувати характеристики віброшвидкості вібраційного поля. Слід також зазначити, що інтегратор суттєво впливає на похибку вимірювального каналу, яка становить 3-5%, в той час як загальна похибка вимірювального каналу без інтегратора не перевищує 1%.

Вимірювання температури робочої рідини в системі живлення шпиндельних ГСО здійснювалось термометром опору ТМ (див. рис. 5, в), що розрахований на робочий тиск $594,4 \cdot 10^5$ Па і може експлуатуватись в діапазоні температур від -196°C до $+200^\circ\text{C}$. В якості вторинного перетворювача сигналу застосовується універсальний вимірювальний прилад – мультиметр (див. рис. 3).

Для реєстрації та відображення сигналів з вимірювальних ланок використовуються цифрові осцилографи IRIS (рис. 9) з ПЕОМ.



а)



б)

Рис. 9. Загальний вигляд цифрового осцилографа (а) та фрагмент реалізації осцилограм амплітуд коливань тиску в режимі самописця (б)

Цифрові пристрої IRIS можуть працювати в режимах двоканального осцилографа, спектр-аналізатора, самописця (див. рис. 9, б), 16-ти каналного логічного аналізатора, 8-ми каналного логічного генератора. Завдяки цифровому інтерфейсу IRIS дозволяє значно розширити діапазони обробки експериментальної інформації, а саме: додавати до кожного виміру коментарі, які записуються у файл з результатами вимірювань, зберігати результати усіх вимірів у вигляді векторного або растрового зображення або у файлі даних для наступного аналізу в математичних пакетах, здійснювати фільтрацію аналогових сигналів та ін.

В якості прикладу на рисунку 10 наведена осцилограма коливань тиску в першому кармані передньої шпіндельної ГСО верстата УТ16А, отримана з урахуванням тарувальної характеристики датчика Вт-206 в пакеті MatLab v 6.5.

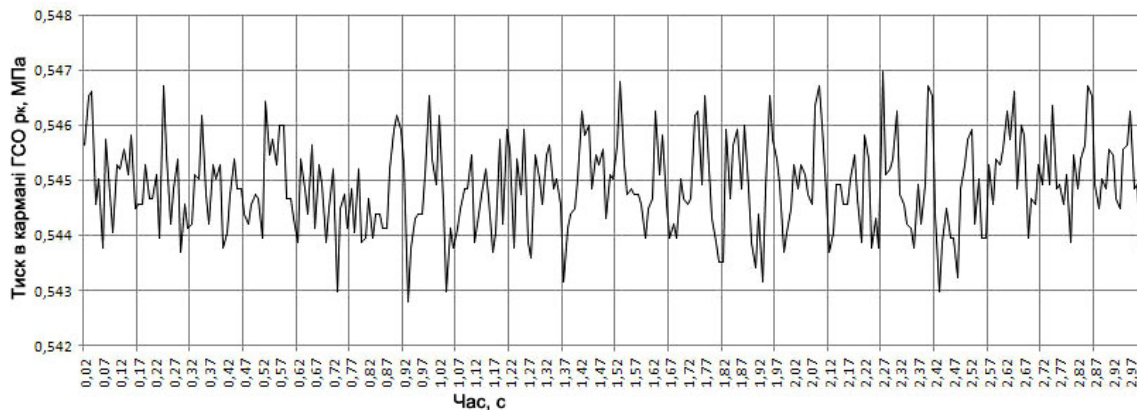


Рис. 10. Часова розгортка коливань тиску в кармані опори при частоті обертання шпинделя $n=500 \text{ хв}^{-1}$; статичному дисбалансі $D_{СТ}=742,12 \text{ г·мм}$

Наведена розгортка дає наочне відображення можливостей експериментального стенда щодо визначення динамічних явищ в ГСО в залежності від факторів, які змінюються відповідно до плану експерименту.

Висновки

Розроблено універсальний вимірювальний стенд для дослідження динамічних явищ та процесів в гідростатичних підшипниках широкої номенклатури з використанням цифрової обробки сигналів.

Створено оригінальні конструкції засобів вторинної обробки, що забезпечують лінійне підсилення сигналів, фільтрацію високо та низькочастотних шумів, мінімальність похибок вимірювання з урахуванням індивідуальних особливостей первинних перетворювачів.

Встановлено, що загальна похибка вимірювального каналу «датчик тиску Вт-206 – ВП1» не перевищує 1,5%, похибка каналу «датчик КД-38 – ВП2» становить 1% без використання інтегратора та 3-5% з інтегруванням сигналу в режимі реального часу.

Результати експериментальних досліджень завдяки цифровій обробці можуть бути використані для подальшого аналізу в пакетах математичного моделювання.

Список літературних джерел

1. Опоры скольжения с внешним источником давления: [Сб. науч. Трудов/ под ред. Шатохина С.Н]. Вып. 2. – Красноярск: КПИ, 1977. – 174 с.
2. Детали и механизмы металлорежущих станков/ [Каминская В.В., Левина З.М. и др]; под ред. Д.Н. Решетова. — М: Машиностроение, 1972. — 519с. — (Шпиндели и их опоры, механизмы и детали приводов; т. 2).
3. Гидростатические опоры роторов быстроходных машин / [Артеменко Н.П., Чайка А.И., Доценко В.Н. и др.]; под. ред. Н.П. Артеменко. – Х.: Основа, 1991. – 197 с.
4. Струтинський В.Б. Математичне моделювання процесів та систем механіки / Струтинський В.Б. - Житомир: ЖІТІ, 2001. - 612 с.
5. Григорьян Р.Л. Анализаторы характеристик радиоэлектронных устройств / Р. Л. Григорьян, Ю. А. Скрипник, О. К. Шалдыкин. - К.: Техніка, 1981. - 248 с.
6. Измерения в промышленности: справочник в 3 кн. / [В. Бастль и др.] под ред. П. Профоса; пер. с нем. под ред. Д. И. Агейкина. – М.: Металлургия, 1990 – 384с. – (Способы измерения и аппаратура Кн. 2.).

ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ І ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ

УДК 621.791.03

Г.К. Харченко, д-р техн. наук,**С.В. Олексієнко**, канд. техн. наук,**М.М. Руденко**, асистент

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

О.О. Шульженко, чл. кор. НАНУ,

Інститут надтвердих матеріалів ім. Бакуля, м. Київ, Україна

З'ЄДНАННЯ ТВЕРДИХ СПЛАВІВ

(ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД)

Проведено аналіз літературних даних щодо способів зварювання твердих сплавів ВК+ВК, ВК+сталь (паяння, зварювання в твердій фазі), визначено напрямки подальшої розробки технології низькотемпературного зварювання в твердій фазі.

Вступ

Необхідність з'єднання твердих сплавів між собою та з металами виникає в інструментальній промисловості та в ряді машинобудівних галузей при виготовленні твердо-сплавних штамів, ріжучого та бурового інструментів.

Значні перспективи розвитку цих галузей пов'язують із застосуванням надтвердих полікристалічних матеріалів на основі алмазно-твердосплавних пластин (АТП), що складаються із надтвердого алмазного шару, нанесеного на підкладку з твердого сплаву. Використання АТП забезпечує значне підвищення продуктивності процесів обробки та збільшує термін експлуатації інструменту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Для оснащення бурового інструменту (доліт, коронок, різців) в Інституті надтвердих матеріалів ім. В.Н. Бакуля створені АТП, які складаються з полікристалічного алмазного шару і підкладки з твердого сплаву, виконаних як єдине ціле в умовах високих тисків [1]. У структурі полікристалічного шару АТП переважають крупні зерна розміром 20-60 мкм, між якими розташовані дрібні зерна й кобальт з розчиненим у ньому карбідом вольфраму. Оснащення бурового інструмента алмазно-твердосплавними пластинами дозволяє підвищити швидкість буравлення в 1,5-2 рази й збільшити проходку на долото в порівнянні із шарошечними долотами в 5-7 разів.

Основним критерієм оцінки якості пластин є випробування їхньої зносостійкості різанням блоку гірської породи (кварцового піщанику). При цьому за показник зносостійкості приймається висота площадки зношування, що утвориться на полікристалічному алмазному шарі на шляху різання, рівному 50 м. Ефективність роботи інструмента залежить від стабільності властивостей пластин по всьому периметру ріжучої кромки й у радіальному напрямку.

Важливою властивістю пластин є також їхня здатність зберігати вихідну якість після нагрівання. При вивченні впливу нагрівання на зносостійкість пластин в роботі [2] було встановлено, що АТП практично не змінюють свою зносостійкість після нагрівання до температури 630-680 °С. Подальше збільшення температури викликає збільшення площадки зношування. При нагріванні вище 730 °С у алмазному полікристалічному шарі по периметру ріжучої кромки виникають окремі радіальні тріщини довжиною 2-4 мм.

Підвищення температури нагрівання призводить до розвитку тріщин і збільшення їхньої довжини.

В роботі [3] відзначається, що по обидва боки окремих тріщин спостерігається відділення алмазного полікристалічного шару від твердосплавної підкладки. Крім того, тріщини алмазного шару мають розвиток в твердосплавній підкладці на глибину 0,5-1,5 мкм. Таке явище частіше за все спостерігається в місцях тріщин, де відшарування алмазного шару від твердосплавної підкладки не відбувається.

На це впливають наступні особливості процесу спікання АТП. Алмазний полікристалічний шар формується в умовах високих тисків і температур. По закінченні цього процесу при високому тиску здійснюється охолодження пластини до кімнатної температури, потім – зменшення тиску до атмосферного. При цьому відбуваються пружні зміни об'єму: зменшення при охолодженні й збільшення при знятті тиску. Наявність каркаса з алмазних зерен і металевої зв'язуючої речовини, які мають різні коефіцієнти термічного розширення, призводить до виникнення в сформованому шарі внутрішніх напружень. Величина цих напружень з ростом температури при наступному нагріванні, очевидно, зростає, що й викликає виникнення описаних дефектів.

В буровому інструменті АТП приєднують до державки, виготовленої зі сталі або з твердого сплаву. Метод кріплення твердосплавної частини до сталюого корпусу повинен забезпечувати надійність та міцність з'єднання протягом усього терміну служби. Застосовуються наступні методи з'єднань: *паяння припоєм з високою температурою плавлення, дифузійне зварювання у вакуумі.*

Паяння припоєм з високою температурою плавлення. В даний час більша половина твердосплавного інструменту виготовляється методом паяння. Основними факторами, від яких залежить якість паяння, є матеріал корпусу, тип припою та марка флюсу, якість підготовки поверхні до паяння, режими нагрівання та способи охолодження. Через істотну різницю коефіцієнтів термічного розширення (КТР) твердого сплаву і сталі в процесі паяння формуються залишкові внутрішні напруження, що можуть бути причиною зниження працездатності інструмента.

Припої для паяння твердосплавного інструменту вибирають в залежності від умов його роботи, марки твердого сплаву та способу паяння. В основному використовуються припої на основі міді, а при виготовленні інструмента високої складності у виняткових випадках застосовуються припої на основі срібла [4].

Для поліпшення змочуваності матеріалів, що паяються, відновлення окислів на їх поверхні та запобігання окислення в процесі паяння застосовують флюси, температура плавлення яких повинна бути нижче температури плавлення припою. Флюс не повинен розчинятися в припої та утворювати з ним хімічні сполуки [5]. Найбільш ефективно застосування флюсу Ф-100, який забезпечує кращу змочуваність та міцність паяного шва. Застосування флюсу, що складається з 50 % бури і 50 % Ф-100, дозволяє розширити температурний інтервал його використання та зменшити токсичність.

Температура плавлення флюсу повинна бути на 373-420 °С нижче температури плавлення припою. При надто малій різниці температур плавлення припою і флюсу відбувається перегрів припою, внаслідок чого останній впливає зі шва.

Поряд із флюсами можна застосовувати захисні газові та відновні середовища: водень, азот, вуглецево-водневу та азотно-водневу суміші. Захисні газові середовища використовують при паянні в спеціальних печах безперервної чи періодичної дії.

В залежності від типу виробництва і виду інструмента, що виготовляється, застосовують той чи інший спосіб паяння. Для паяння інструмента невеликих і середніх розмірів (площа поперечного перерізу корпусу менше 1200 мм²) рекомендується застосовувати високочастотні установки з ламповим генератором; для паяння інструмента великих розмірів – високочастотні установки з машинним генератором. Найбільш економі-

чними є способи паяння з електроконтактним нагрівом на машинах контактного зварювання та індукційним – на установках СВЧ.

На даний час з'єднання вольфрамкобальтових твердих сплавів із АТП у вузлах ріжучого інструмента здійснюється способами паяння припоями на основі срібла (ПСр-40, ПСр-45 та ін.) з температурою плавлення 600-650 °С. Однак, недостатня міцність кріплення АТП до державки у корпусі інструмента методом паяння (міцність на зріз 150-200 МПа), токсичність при його проведенні, використання дефіцитних срібловміщуючих припоїв та інші фактори стримують серійне виробництво ріжучого та бурового інструмента. Також процес виготовлення є трудомістким через складність одночасного виконання паяння декількох АТП.

Дифузійне зварювання. Більш ефективним засобом виготовлення інструмента, оснащеного полікристалічними надтвердими матеріалами, слід вважати застосування технології дифузійного зварювання, яке дозволяє в значній мірі усунути недоліки процесу паяння.

Дифузійне зварювання твердосплавних деталей між собою ускладнене фізико-механічними властивостями матеріалу – навіть при підвищених температурах він має значну твердість та малу пластичність і для згладжування мікронерівностей потребує прикладання значних зусиль з одночасним підвищенням температури зварювання. Наявність у складі твердих сплавів стабільних хімічних з'єднань (карбідів) призводить до слабкої дифузійної активності цих матеріалів в процесі зварювання.

В роботі [6] показані можливості дифузійного зварювання для з'єднання конструкційних сталей з твердими сплавами. Зварювання твердих сплавів може успішно здійснюватися в різних захисних середовищах: вакуумі, плазмі тліючого розряду в азоті, аргоні, водні або вуглеводнях і ін. Безпосередньо перед зварюванням поверхні зразків шліфують і притирають таким чином, щоб відхилення від площинності не перевищувало 0,01-0,02 мм. При зварюванні сплавів ВК6, ВК8, ВК15, ВК20 в однорідному й різнорідному поєднаннях температура зварювання становить 1100-1250 °С, тиск 10-20 МПа. Залежно від температури й тиску зварювання виконують протягом 7-30 хв., збільшуючи час зварювання при зниженні температури й тиску. Висококобальтові сплави (ВК15, ВК20), що мають підвищену пластичність, можна зварювати без прокладок [7].

Для зварювання твердих сплавів з малим вмістом кобальту та, відповідно, малою пластичністю необхідно застосовувати допоміжні засоби активації дифузійного процесу. Як правило, використовують пластичні проміжні прошарки. В роботах [8, 9] досліджували вплив різних параметрів технологічного процесу на міцність зварного з'єднання сплаву ВК20 зі сталлю 18Х2Н4ВА. Застосовували проміжні прошарки з пермалою, нікелю-порошку, нікелю-фольги, кобальту й електроіскрове нанесення твердого сплаву на сталь і сталі на твердий сплав перед зварюванням. Температури зварювання: 800, 950, 1000, 1050 °С, тиск 0,5; 1,0; 1,5; 2, 10, 15 МПа, час витримки 3, 5, 10 хвилин. Встановлено оптимальні параметри технологічного процесу: температура – 1000-1100 °С, тиск – 10 МПа, час зварювання – 10 хвилин, прошарок – нікель-фольга. При цьому режимі границя міцності на зріз зварних з'єднань досягає 450 МПа.

В процесі зварювання відбувається масообмін між сталлю, прокладкою й твердим сплавом, у результаті чого утворюється перехідна зона, у формуванні якої беруть участь майже всі елементи матеріалів, що з'єднуються. Найбільша дифузійна рухливість у нікелю, який проникає у твердий сплав на глибину 25–30 мкм. У результаті нікель частково розчиняє карбіди вольфраму й утворює твердий розчин нікелю й кобальту. Таким чином у зоні зварювання утворюється прошарок твердого розчину нікелю, кобальту і вольфраму. Зі збільшенням часу зварювання відбувається більш повне розчинення зерен карбідів вольфраму, їхній розмір зменшується й вони округляються. Цей

процес призводить до зниження мікротвердості твердого сплаву в перехідній зоні на 100-120 МПа в порівнянні з вихідною.

Дифузія нікелю в сталь відбувається переважно по границях зерен, досягаючи глибини 20-30 мкм. У той же час дифузія нікелю по самому зерну становить 8-10 мкм. Мікротвердість сталі в зоні, збагаченій нікелем, знижується на 40-50 МПа в порівнянні з вихідною. Залізо зі сталі дифундує на глибину 45-55 мкм і при використанні прокладки товщиною 5 мкм може проникати крізь неї у твердий сплав. Це супроводжується зниженням пластичності й релаксаційної здатності прокладки з відповідним підвищенням внутрішніх напружень. Тому при зварюванні твердих сплавів зі сталями товщину прокладки вибирають не менше 30 мкм.

Через розходження теплофізичних властивостей твердих сплавів і сталей в зоні з'єднання виникають внутрішні напруження другого роду. Вони викликають деформації деталей і можуть бути причиною їхнього руйнування в процесі роботи або при випробуваннях відразу ж після зварювання. Величина й розподіл внутрішніх напружень залежать від характеристик матеріалів, що з'єднуються, геометрії зварного з'єднання, технології зварювання, а також від температурного режиму експлуатації. При розробці технології необхідно зменшувати негативний вплив залишкових напружень на працездатність виробів. Для твердих сплавів особливо небезпечні напруження розтягу. Якщо вони складаються з робочими напруженнями, то це може сприяти викришуванню робочих кромek інструмента й утворенню тріщин. Аналогічна картина виникає й при паянні твердого сплаву зі сталями. Дослідження показали, що позитивний розподіл залишкових напружень у твердому сплаві формується при використанні сталей мартенситного класу (18X2H4BA, 5XHB, 5XHT, 7XГ2BM і ін.).

Дифузійне зварювання сполук BK20 + Ст3 і BK20 + 18X2H4BA через прокладки з нікелю й пермалою товщиною 0,02; 0,04; 0,10 мм викликає менший рівень залишкових напружень, ніж паяння твердими припоями. Оскільки для зварювання з твердими сплавами рекомендується використовувати сталі мартенситного класу, після ізотермічної витримки при зварюванні вироби повинні повільно охолоджуватися з камерою до температури 860 °C, а потім – прискорено на повітрі. У результаті відбувається часткове загартування сталеві частини виробу до 38-50 HRC, яке супроводжується мартенситним перетворенням і збільшенням об'єму сталеві частини. При цьому перепад напружень набагато менший, ніж при використанні сталей перлітного або феритного класу.

В роботі [10] вивчали вплив іонного нагрівання в тліючому розряді твердих сплавів типу BK і ТК на зміни їх структурних, фізико-механічних і хімічних властивостей. Для дослідження були взяті сплави типу BK і ТК з вмістом кобальту від 2% до 20%. Нагрівання проводили до температури 1250 °C, з витримкою 5 хв. і охолодженням разом з камерою до 100 °C. Для порівняння застосовувалися тверді сплави у вихідному стані. Показано, що зі збільшенням вмісту кобальту підвищується міцність при згині. Також виявлене деяке зниження міцності на згин на 10-40 МПа при нагріванні зразків. Вивчено особливості іонного нагрівання в тліючому розряді, як локального нагрівання: найбільша температура досягається в зоні прямого нагрівання (зона анода), інша частина деталі нагрівається методом теплопровідності. У місці переходу від прямого нагрівання до нагрівання теплопередачею виникає великий перепад температур (100-150 °C). Зниження міцності нагрітих у тліючому розряді твердих сплавів пов'язане з виникненням залишкових напружень внаслідок локального нагрівання й утворення поверхневого дефектного шару внаслідок іонного бомбардування. Максимум залишкових напружень другого роду знаходиться на відстані 8-10 мм від центра зони нагрівання.

Висновки

Враховуючи проведенний аналіз літературних даних, можна зробити наступні висновки щодо можливості з'єднання твердих сплавів з АТП:

- паяння припоями не забезпечує достатньої міцності виробів;
- необхідно розробити технологію зварювання в твердій фазі, яка дозволить отримати якісне зварне з'єднання твердих сплавів при температурах не вище 730 °С.

Список літературних джерел

1. Шульженко А.А. Сверхтвердые материалы. Получение и применение. Т.1. Синтез алмаза и подобных материалов. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля, ИПЦ "Алкон" НАНУ, 2003. – 320 с.
2. Термостойкие свойства алмазных поликристаллических материалов, применяемых в буровом инструменте / Гаргин В.Г. // Синтетические сверхтвердые материалы в геолого-разведочном бурении. – К.: ИСМ АН УССР, 1987. – С. 9-13.
3. Физико-механические свойства алмазно-твердосплавных пластин / Гаргин. В.Г. // Поликристаллические материалы на основе синтетического алмаза и кубического нитрида бора. – К.: ИСМ АН УССР, 1990. – С. 62-67.
4. Трусов А.А. Твердосплавный инструмент. Справочник. – М.: Машиностроение, 1966. – 275 с.
5. Металлообрабатывающий твердосплавный инструмент: Справочник / В.С. Самойлов, Э.Ф. Эйхманс, В.А. Фальковский и др. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.
6. Возможности применения диффузионной сварки. Соединения стали и твердых сплавов. Anwendungsmöglichkeiten des Diffusionsschweißens. Stahl- und Hartstoffverbindungen. Mehlhorn Herbert, Kleppek Lutz, Hintz Fred. – «Schweis-technik» (DDR), 1986, 36. – № 4, С. 172-174, 146.
7. Бачин В.А., Квасницкий В.Ф., Котельников Д.И. Теория, технология и оборудование диффузионной сварки: Учебник для вузов по специальности «Оборудование и технология диффузионного соединения металлических и неметаллических материалов». – М.: Машиностроение, 1991. – 352 с.
8. Исследование технологии диффузионной сварки в вакууме ВК20 со сталью. / Казаков Н.Ф., Полякова М.Л., Самойлов В.С. // Сб. «Диффузионное соединение в вакууме металлов, сплавов и неметаллических материалов». – М., 1971. – С. 171-178.
9. Прочность сварных соединений твердых сплавов типа ВК в зависимости от толщины промежуточной прокладки и технологии ее нанесения. / Муха И.М., Довбищук М.Н. // Электронная обработка материалов. – 1972. – №5. – С. 26-30.
10. Влияние нагрева в тлеющем разряде на физико-механические свойства твердых сплавов типа ВК при диффузионном соединении. / Муха И.М., Довбищук М.Н. // Сб. «Диффузионное соединение в вакууме металлов, сплавов и неметаллических материалов», М., 1971, 195-203.

УДК 621.791.3:539.378

Г. П. Болотов, д-р техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна.

ЗАСТОСУВАННЯ ТЛІЮЧОГО РОЗРЯДУ ДЛЯ РЕМОНТУ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕПЛООБМІННИХ АПАРАТІВ

Наведені результати розробки технології відновлення пошкоджених ділянок трубчастих елементів теплообмінних апаратів паянням у тліючому розряді. Показана можливість ремонту апарату без видалення дефектної трубки та вварювання нової, що скорочує тривалість ремонту.

Вступ

У багатьох галузях промисловості, зокрема, у теплоелектроенергетиці, нафтопереробному виробництві, хімічному апаратобудуванні широке застосування знаходять теплообмінні апарати кожухотрубчастого типу, основу теплообмінного вузла яких становлять трубні ґрати із численними, увареними в них, протяжними трубками діаметром 0.01...0.04 м [1]. У процесі роботи трубки гріються ззовні відкритим полум'ям або іншим теплоносієм, по самих трубках може транспортуватися хімічно активне середовище (продукт), внаслідок чого згодом спостерігається ерозія їх зовнішньої або внутрішньої поверхні зі зниженням товщини їхніх стінок і можливою появою наскрізних дефектів у вигляді свищів. У цьому випадку знижується ефективність теплообміну й з'являється небезпека втрати продукту або забруднення його середовищем, що гріє.

Постановка завдання

На даний час ремонт теплообмінного вузла вимагає зупинки апарата, демонтажу й вивантаження з нього теплообмінного вузла, виявлення дефектної трубки, її видалення й вварювання нової. Це забирає значний час і призводить до помітних матеріальних втрат внаслідок тривалої зупинки технологічного процесу. Таким чином, удосконалення технології ремонту теплообмінних апаратів і скорочення тривалості їхніх простоїв є актуальним завданням для багатьох галузей промисловості.

Мета роботи

Метою даної роботи є визначення можливості відновлення працездатності теплообмінних апаратів без видалення й заміни дефектних трубок.

Виклад основного матеріалу дослідження

У даній роботі досліджується спосіб ремонту теплообмінників без їхнього повного демонтажу відновленням дефектних ділянок трубок паянням із застосуванням тліючого розряду.

Для цього з одного з торців усередину дефектної трубки в зону свищу вводиться відрізок ремонтної трубки (рис. 1) із зовнішнім діаметром на 0.15...0.2 мм менше внутрішнього діаметра основної. По краях ремонтної трубки механічним способом створюються неглибокі проточки, у які попередньо укладаються кільця з фольги припою товщиною 0.1...0.15 мм. Оскільки забезпечити флюсування зони спаю як до, так і в процесі паяння не представляється можливим, доцільно використовувати припої, що самофлюсуються.

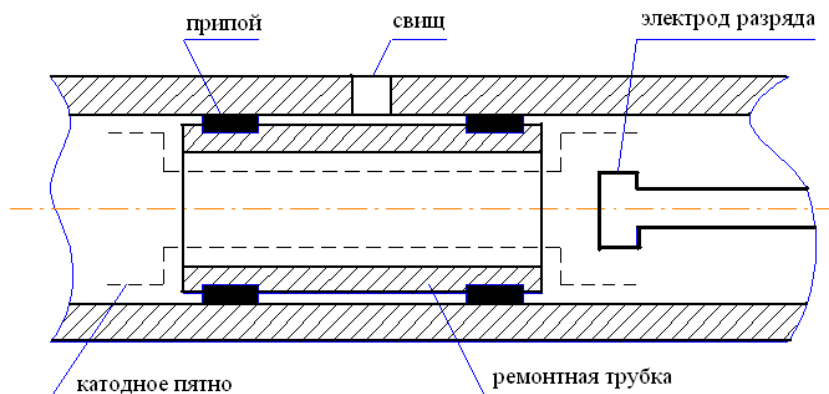


Рис. 1. Схема ремонтного паяння дефектних ділянок труб теплообмінних апаратів.

Один з вихідних отворів трубки герметично з'єднується з форвакуумним насосом і системою подачі робочого (плазмоутворюючого) газу, а з іншого кінця трубки через герметичне ущільнення на ізоляторах уводиться електрод тліючого розряду (рис. 2), що встановлюється поблизу місця спаювання (рис. 1). Сама трубка (виріб) при цьому заземлена й служить катодом розряду. Після досягнення в трубці розрідження приблизно 13.3 Па й напуску газу (азоту або аргону) до тиску 100...150 Па між трубкою й електродом запалюється тліючий розряд. Для нагрівання зони паяння необхідно, щоб розряд поширювався від анода (електрода) саме у бік ремонтної трубки. Для запобігання поширення розряду в протилежний щодо анода бік зазор між електрично ізольованим тримачем анода й внутрішньою стінкою трубки повинен бути менше, ніж довжина зони катодного падіння потенціалу тліючого розряду, що для азоту й аргону при зазначених тисках газу становить 3...4 мм [2].

Елементи теплообмінного вузла виконують, як правило, з легованих тепло- і корозійностійких сталей. Робоча температура їх досягає 873 К, тому необхідне використання припою з більш високою температурою плавлення.

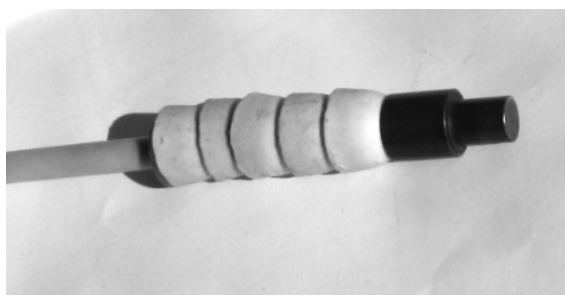


Рис. 2. Загальний вигляд електрода (анода) тліючого розряду для ремонтного паяння труб теплообмінників

У досліджах використовували припой $PCr - 72$ (температура початку плавлення 1052 К). Температуру паяння встановлювали зміною струму тліючого розряду в межах 1102...1152 К. Довжину області нагрівання й температурний стан зони спаю визначали за допомогою оптичного пірометра ОППІР-09 по випромінюванню зовнішньої поверхні трубки. Струм розряду в процесі паяння визначався розмірами трубок і температурою плавлення припою.

Паяння здійснювалося при горизонтальному розташуванні поздовжньої осі трубки. Матеріал трубки – сталь аустенітного класу $08X18H10T$. Розплавлений припой $PCr - 72$ добре заповнює зазор між поверхнями трубок, однак, внаслідок високої рідиноте-

кучості він частково стікає униз, призводячи до появи непропаїв у верхній частині. При використанні менш рідинотекучого припою *ВІр* – 4, що відноситься до самофлюсуючих, і температурі паяння 1252...1283 К цей дефект практично відсутній, однак надійної гарантії його попередження немає. Найбільш ефективним у цьому випадку є застосування композиційних припоїв, що складаються з легкоплавкої матриці й більш тугоплавкого наповнювача у вигляді сітки, що перешкоджає стіканню припою [3]. У якості композиційного припою у досліді був використаний припой *ПСр* – 72 у вигляді фольги товщиною 0.1 мм із привареним до неї з однієї зі сторін конденсаторним зварюванням тонкого мідного дроту діаметром 0.08 мм у вигляді сітки з розміром осередку близько 1.5×1.5 мм. Отриманий припой у вигляді кільця встановлювався сіткою усередину в проточки на ремонтну трубку. За результатами паяння наскрізні непропаї не виявлялися, припой рівномірно заповнював паяльний зазор (рис. 3).

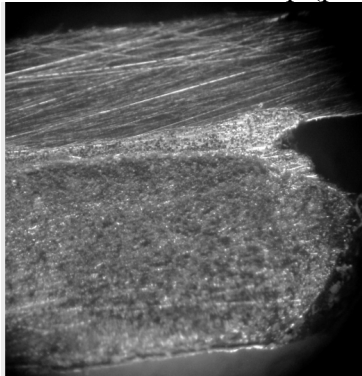


Рис. 3. Макрошліф паяного з'єднання

Відмінною рисою розглянутого способу відновлення працездатності теплообмінних апаратів є можливість попереднього очищення від забруднень ділянки ушкодженої трубки, що паяється, також з використанням тліючого розряду [4]. Для цього попередньо в зону ремонту вводиться той же електрод і при тиску газу (аргону) 20...40 Па запалюється тліючий розряд при струмі 0,1...0,2 А. При цих режимах здійснюється катодне (іонне) очищення поверхні без помітного нагрівання трубки. Тривалість очищення звичайно становить декілька хвилин.

Висновки

1. Застосування нагрівання тліючим розрядом локальних ділянок внутрішніх поверхонь протяжних трубчастих елементів малого діаметра може ефективно використовуватися під час ремонту теплообмінних апаратів, дозволяючи уникати повного демонтажу всього виробу, скорочуючи час ремонту й простої устаткування та знижуючи викликані цим втрати.

2. Можливість робити очищення тліючим розрядом внутрішньої поверхні дефектних ділянок трубчастих елементів, що паяються, забезпечує підвищення якості з'єднань.

Список використаної літератури.

1. Кобылянский И.Ф., Пешехонов В.Д. Аргонодуговая сварка вакуумплотных швов теплообменника //Сварочное производство. -1963. -№1. - С. 21-23.
2. Каганов И.Л. Ионные приборы. -М.: Энергия, 1972. -525 с.
3. Лашко Н.Ф., Лашко С.В. Пайка металлов. -М.: Машиностроение, 1988. -375 с.
4. Карасев В.В., Измайлова Г.И. Метод очистки поверхностей стекла и металла в газовом разряде //Журнал технической физики. - 1954.- Т. 24, №5.- С. 871-874.

УДК 621.631

Л.В. Добровольська, канд. техн. наук**Ю.В. Грицюк**, канд. техн. наук**І.В. Грицюк**, асистент

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

МЕТОД КОРИГУВАННЯ УСТАВОК В ПРОЦЕСІ КЕРУВАННЯ КОМПЕНСУВАЛЬНИМИ УСТАНОВКАМИ

Вдосконалено метод коригування уставок регуляторів в процесі керування компенсувальними установками шляхом виключення ітераційної процедури з відомої моделі, з метою забезпечення адекватності та швидкодії регулятора в реальних умовах роботи електричної мережі.

Постановка проблеми

Оптимальне керування компенсувальними установками (КУ) є частиною комплексного вирішення завдання компенсації реактивної потужності (КРП) в електричних мережах підсистеми чи підприємства. Задачею оптимального регулятора є покращення певного параметру (параметрів) режиму електричної мережі в процесі керування КУ (підвищення $\cos \varphi$, мінімізація перетоків реактивної потужності, мінімізація втрат активної потужності, стабілізація напруги і т.п.). Вирішення даної задачі здійснюється на проектному етапі шляхом побудови чітких математичних моделей з врахуванням максимальної кількості факторів, що можуть впливати на процес керування КУ.

Функціонування електричних мереж в реальних умовах характеризується певною динамікою, яка пов'язана зі зміною режимів електроспоживання, а також зміною конфігурації самих мереж. Необхідно враховувати також стан КУ. Таким чином, постає завдання коригування уставок регуляторів в процесі керування КУ для того, щоб їх дія була адекватною та своєчасною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз ряду праць, які стосуються даної проблеми [1-8], продемонстрував, що уставки для систем і пристроїв автоматичного керування КУ визначаються заздалегідь, для режиму найбільших активних навантажень енергопостачальної компанії (на етапі проектування КРП). Вибір в ролі розрахункового – режиму найбільших навантажень забезпечує виконання умови оптимальності недокомпенсованого (залишкового) потокорозподілу реактивної потужності серед вузлів мереж підсистеми чи підприємства

$$Q_{\phi.i,j}(\Delta t) = Q_{e.i,j}, \quad (1)$$

де $Q_{\phi.i,j}(\Delta t)$ – фактичне значення реактивної потужності тривалістю Δt , що споживається в i -му вузлі в період j -го добового режиму (зони пікових, позапікових і мінімальних навантажень), МВАр;

$Q_{e.i,j}$ – оптимальна уставка, визначена за критерієм мінімальних втрат для i -го вузла j -го добового режиму, МВАр.

Після розрахунку уставки вводять в пристрій чи систему в якості початкових. Проте, в процесі проектування та експлуатації можуть виникати різні нестандартні ситуації, які потрібно враховувати під час розрахунку уставок. Так, ще на стадії проектування може виявитись, що в деяких вузлах встановлення КУ з різних причин неможливе (недопоставка засобів КРП або обмежені фінансові ресурси для їх придбання, поетапне впровадження КУ, вимоги техніки безпеки і т. ін.).

В процесі керування можливі такі ситуації:

- вихід з ладу засобів компенсації (силових конденсаторів, приладів обліку, комутаційної апаратури і т. ін.);
- аварійна зупинка окремих технологічних агрегатів, процесів, операцій і т. ін.;
- виведення в ремонт технологічного обладнання;
- виведення в ремонт засобів компенсації.

У разі настання нестандартних ситуацій порушується умова оптимальності потоко-розподілу (1), що вимагає коригування початкових уставок.

В [9] описані спосіб і система керування батареями конденсаторів (БК) шляхом контролю оптимальності потокорозподілу реактивної потужності у вузлах мережі.

Наявність в описаному способі ітераційного процесу вимагає відповідного часу на виконання розрахунків. У разі розв'язання балансової задачі з оптимізації розміщення БК це не може вважатись недоліком. Навпаки, застосування ітераційної процедури для коригування балансової задачі дозволяє уникнути зміни розрахункової схеми і вхідної потужності на ввіді підприємства. В системах керування, які працюють в масштабі реального часу, бажано уникнути ітераційного обчислювального процесу.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є вдосконалення методу коригування оптимізаційної задачі в процесі керування шляхом виключення ітераційної процедури.

Виклад основного матеріалу дослідження

Метод ґрунтується на відповідному формулюванні цільової функції, в якій виділяються вузли, де передбачаються встановлення БК і вузли, в яких їх встановлення неможливе з різних причин. Передбачено також, що в процесі керування кількість вузлів, в яких неможливе встановлення БК, може умовно збільшуватись за рахунок виходу БК з ладу або виводу їх в ремонт, в період нестабільних або малоімовірних режимів електроспоживання (коли всі секції вимкнені чи увімкнені). Зрозуміло, що це збільшення має тимчасовий характер. Після ремонту БК чи повернення нормальних режимів електроспоживання кількість вузлів відновлюється.

Математична модель визначення і коригування оптимальних уставок у вузлах записується так:

$$\begin{cases} \Delta P = \frac{10^{-3}}{U_n^2} \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (Q_{\phi,i,j}(\Delta t) - Q_{\kappa,i,j})^2 \cdot r_{e,i} + \sum_{\mu=1}^p \sum_{j=1}^m (Q_{\phi,\mu,j}(\Delta t))^2 \cdot r_{e,\mu} \right) \rightarrow \min, \\ Q_{e,j} = \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (Q_{\phi,i,j}(\Delta t)) + \sum_{\mu=1}^p \sum_{j=1}^m (Q_{\phi,\mu,j}(\Delta t)) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (Q_{\kappa,i,j}) \right), \\ Q_{\kappa,i,j} \geq 0 \text{ або } Q_{e,i,j} \leq Q_{\phi,i,j}, \end{cases} \quad (2)$$

де ΔP – сумарні втрати активної потужності в мережах підприємства (підсистеми), кВт;

$Q_{\phi,i,j}(\Delta t)$ – фактична реактивна потужність, яка споживається в i -му вузлі в j -му добовому режимі ($i = 1, 2, \dots, n$, n – кількість вузлів, в яких встановлені БК);

$Q_{\kappa,i,j}$ – потужність секції БК, яку необхідно увімкнути в i -му вузлі в j -му режимі;

$r_{e,i}$ – еквівалентний активний опір відхідної від вузла розподілу i -ї лінії, по якій в i -й вузол мережі передається потужність, Ом;

$Q_{\phi,\mu,j}(\Delta t)$ – фактична реактивна потужність, яка споживається в μ -му вузлі в j -му добовому режимі ($\mu = 1, 2, \dots, p$, p – кількість вузлів, в яких не встановлені БК);

m – кількість характерних добових режимів електроспоживання;

$Q_{e,j}$ – вхідна реактивна потужність підприємства для j -го режиму активних навантажень енергосистеми.

Для розв'язання математичної моделі (2) використано метод неозначених множників Лагранжа.

Функція Лагранжа:

$$\Delta P = \frac{10^{-3}}{U_n^2} \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (Q_{\phi,i,j}(\Delta t) - Q_{\kappa,i,j})^2 \cdot r_{e,i} + \sum_{\mu=1}^p \sum_{j=1}^m (Q_{\phi,\mu,j}(\Delta t))^2 \cdot r_{e,\mu} \right] + \lambda \left[-Q_{e,j} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (Q_{\phi,i,j}(\Delta t)) + \sum_{\mu=1}^p \sum_{j=1}^m (Q_{\phi,\mu,j}(\Delta t)) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (Q_{\kappa,i,j}) \right]. \quad (3)$$

Із умов $\frac{\partial \Delta P}{\partial Q_{\kappa,i,j}} = 0$ і $\frac{\partial \Delta P}{\partial \lambda} = 0$ отримаємо формули для визначення потужності секції

БК, яку необхідно увімкнути в i -му вузлі в j -му режимі:

$$Q_{\kappa,i,j} = Q_{\phi,i,j}(\Delta t) - \frac{\lambda_j U_n^2}{2 \cdot 10^{-3} r_{e,i}}; \quad (4)$$

оптимальної уставки на ввіді i -го вузла в j -му режимі (із виразу (4))

$$Q_{e,i,j} = \frac{\lambda_j U_n^2}{2 \cdot 10^{-3} r_{e,i}}; \quad (5)$$

та балансової умови

$$-Q_{e,j} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (Q_{\phi,i,j}(\Delta t)) + \sum_{\mu=1}^p \sum_{j=1}^m (Q_{\phi,\mu,j}(\Delta t)) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (Q_{\kappa,i,j}) = 0. \quad (6)$$

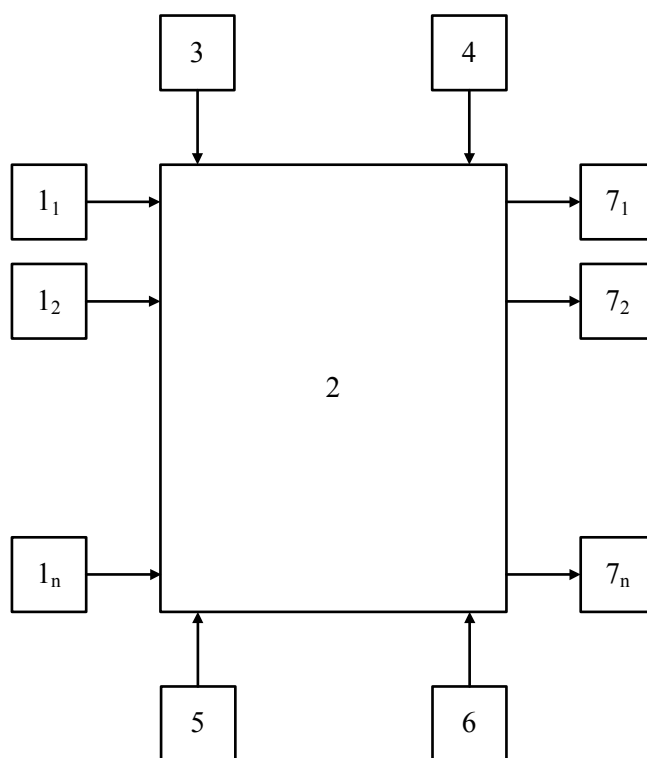
Просумувавши зліва і справа вираз (5) і, взявши до уваги рівняння (6), визначимо величину коефіцієнта λ для j -го режиму:

$$\lambda_j = \frac{Q_{e,j} - \sum_{\mu=1}^p \sum_{j=1}^m (Q_{\phi,\mu,j}(\Delta t))}{\frac{U_n^2}{2 \cdot 10^{-3}} \sum_{i=1}^n \frac{1}{r_{e,i}}}. \quad (7)$$

У разі настання нестабільних режимів електроспоживання в одному чи в декількох вузлах, коли фактичне споживання реактивної потужності $Q_{\phi,i,j}(\Delta t)$ виявляється меншим від уставки $Q_{e,i,j}$ при всіх вимкнених секціях БК ($Q_{\kappa,i,j} < 0$), в цих вузлах приймають $Q_{\kappa,i,j} = 0$, додаючи їх до числа p , і виконують перерахунок уставок вхідної реактивної потужності та потужності секції БК, які необхідно увімкнути або вимкнути в решті вузлів за формулами (4-7) з врахуванням умов, що змінилися. У разі відновлення нормального режиму електроспоживання в названих вище вузлах при черговому циклі керування здійснюється повернення до початкових уставок, які відповідають нормальному режиму електроспоживання в усіх вузлах.

Керування БК і коригування уставок здійснюється за алгоритмом, блок-схему якого надано на рис.1. На початку кожного циклу керування обчислювальний пристрій 2, використовуючи системний годинник, здійснює ідентифікацію характерного добового режиму, і, використовуючи інформацію із задаючого блоку 3, вводить відповідні величини $Q_{e,i}$ (операція 3). За допомогою операцій 4...7, використовуючи датчики реактивної потужності $1_1 \dots 1_n$ (рис. 2), задаючий блок 5 (операції 4, 5) і задаючий блок 6 (операції 6, 7), виконують введення фактичних значень реактивної потужності в кожному

117



$1_1...1_n$ – датчик реактивної потужності; 2 – обчислювальний пристрій; 3 – датчик вхідної реактивної потужності на ввіді вузла; 4 – блок задавання вхідних активних опорів відхідних від головної понижувальної підстанції чи центрального розподільного пункту лінії; 5 – блок задавання номерів вузлів, в яких встановлені БК, і кількості секцій в кожній БК та їх потужність; 6 – блок задавання вузлів, в яких відсутні БК; $7_1...7_n$ – виконавчі органи

Рис. 2. Структурна блок-схема оптимального керування БК на основі мікро- та міні-ЕОМ за умовою $Q_{ф.і.і}(\Delta t) = Q_{с.і.і}$ з виділенням вузлів із встановленням або без встановлення БК та можливої зміни їх кількості в процесі керування

Використовуючи інформацію задаючих блоків 4 і 5, визначають еквівалентний опір мережі ($\sum_{i=1}^n \frac{1}{r_{e,i}}$) для вузлів, в яких установлені БК (операції 10, 11). Далі обчислювальний пристрій 2 за формулою (7) визначає величину λ_j (операція 12), значення $Q_{e,i,j}$ для вузлів, в яких установлені БК (операції 13, 14) і потужності БК (операція 15), де $Q_{к.і.і}$ – потужність БК в попередньому циклі керування, за умови виконання обмеження (2) (операція 16). При невиконанні обмеження (2) в одному чи декількох вузлах приймають для цих вузлів $Q_{к.і.і} = 0$ і додають їх до числа p . Далі виконують перерахунок уставок. Коли будуть переглянуті всі вузли, визначається кількість секцій БК, які повинні бути увімкнені в i -му вузлі (операції 20, 21), де $Q_{с.і}$ – потужність однієї секції БК в i -му вузлі. Після цього виконується виведення N_i на виконавчі пристрої (операція 22). На цьому цикл завершується.

Висновки з даного дослідження

- запропоновано метод і алгоритм визначення скоригованих уставок і повернення до початкових при відновленні нормального режиму споживання і генерування реактивної потужності;
- запропоновано удосконалений спосіб і технічний засіб, що його реалізує (рис.2), які дозволяють керувати компенсувальними установками за критерієм мінімальних втрат і в процесі керування коригувати початкові уставки при зміні режиму споживання реактивної потужності і кількості КУ.

Список літературних джерел

1. Маркушевич Н.С. Автоматизированная система диспетчерского управления. Из опыта Латвийской энергосистемы / Н.С. Маркушевич – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 136 с.: ил.
2. Ильяшов В.П. Автоматическое регулирование мощности КУ / В.П. Ильяшов – М.: Энергия, 1977. – 105 с.: ил. – Библиогр.: С. 104–105.
3. Красник В.В. Автоматические устройства по компенсации реактивных нагрузок в электрических сетях предприятий / В.В. Красник – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 112 с.: ил. – Библиогр.: С. 110–112.
4. Баркан Я.Д. Автоматическое управление режимом батарей конденсаторов / Я.Д. Баркан – М.: Энергия, 1978. – 112 с.
5. Пивоваров В.И. Автоматический регулятор мощности конденсаторных батарей / В.И. Пивоваров // Промышленная энергетика. – 1982. – № 7. – С. 59–60.
6. Соскин Э.Я. Автоматизация управления промышленным электроснабжением / Э.Я. Соскин, Э.А. Киряева. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 383 с.: ил. – Библиогр.: С. 380–382. – ISBN 5-283-01010-4.
7. Устройство автоматическое АРКОН-1. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – Рига: Рижский опытный завод „Энергоавтоматика”, 1977. – С. 46.
8. Железко Ю.С. Новый серийный регулятор мощности конденсаторных установок / Ю.С. Железко, И.А. Попов, В.Б. Бессмертнов // Промышленная энергетика. 1985. – № 4. – С. 44–47.
9. Рогальський Б.С. Компенсація реактивної потужності. Методи розрахунку, способи та технічні засоби управління. Навчальний посібник / Б.С. Рогальський. – Вінниця: Універсум, 2006. – 236 с.: рис. – Бібліогр.: С. 215–229. – ISBN 966-641-181-4.

УДК 621.317.33

Л.Н. Добровольська, канд. техн. наук

М.В. Романюк, аспірант

Луцький національний технічний університет, м.Луцьк, Україна

ВИКОРИСТАННЯ УСТАЛЕНИХ ТА ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ В РОЗПОДІЛЬНІЙ МЕРЕЖІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ДЛЯ ПЕРІОДИЧНОГО КОНТРОЛЮ ОМІЧНИХ ОПОРІВ ІЗОЛЯЦІЇ ПОЛЮСІВ ВІДНОСНО ЗЕМЛІ

З метою зменшення впливу перехідних процесів, зумовлених зміною навантаження РМПС, запропоновано метод періодичного контролю, який передбачає вимірювання напруг та струму між загальною точкою-дільником напруги та землею, за результатами значень яких обчислюється загальний опір мережі відносно землі

Вступ

Двопровідні мережі постійного струму широко застосовують в гірнично-рудній, хімічній промисловості, на транспорті. В процесі експлуатації цих мереж існує висока імовірність дотику людини до струмопровідної частини, яка знаходиться під напругою. Для підвищення рівня електробезпеки і надійності роботи споживачів під час експлуатації цих мереж застосовують захисне вимикання. Пристрій захисного вимикання (ПЗВ) [1] повинен забезпечити автоматичне вимикання електрообладнання у разі однополюсного дотику до частин, що знаходяться під напругою, і виникненні в електрообладнанні струму витікання на землю, що перевищує задану величину [2].

Аналіз попередніх досліджень

Широкого розповсюдження набули пристрої захисного вимикання [3], що використовують принцип накладання джерела струму промислової частоти або низької частоти на контрольовану мережу. Недолік їх полягає в тому, що вони контролюють загальний опір двопровідної мережі відносно землі, тому їх захисна характеристика значно перевищує потрібну за умови електробезпеки, що призводить до хибного спрацювання ПЗВ і простою високопродуктивних машин і механізмів. Запропоновано також пристрій захисного вимикання, який контролює струм перехідного і усталеного режиму через шунтувальний зв'язок [4]. Це дозволяє наблизити захисну характеристику до оптимальної, але на точність реалізації оптимальної функціональної характеристики суттєво впливає ємність двопровідної мережі постійного струму, оскільки в сталому режимі контролюється не активний, а повний опір ізоляції мережі постійного струму, крім цього, не забезпечується селективність дії ПЗВ.

Мета роботи

З метою зменшення впливу перехідних процесів, зумовлених зміною навантаження РМПС, запропоновано метод періодичного контролю, який передбачає вимірювання напруги U_{xx} та струму $I_{к.з.}$ між загальною точкою-дільником напруги та землею, за результатами значень яких обчислюється загальний опір мережі відносно землі.

Виклад основного матеріалу

Для визначення опору ізоляції полюса відносно землі використовується додатково режим введення між полюсом мережі і землею незарядженого конденсатора з ємністю C та вимірювання максимального значення струмів $i_1(0)$, $i_2(0)$ заряду конденсатора і напруги між полюсами контрольованої мережі U_0 . За відношенням цих величин визначають опір полюса мережі відносно землі. Розрахункова схема показана на рис. 1. Якщо знехтувати впливом внутрішнього опору амперметра і вольтметра на результати вимі-

рювання, а перемикач SA знаходиться в положенні 1, то напругу між загальною точкою дільника і землею визначають як (рис. 2)

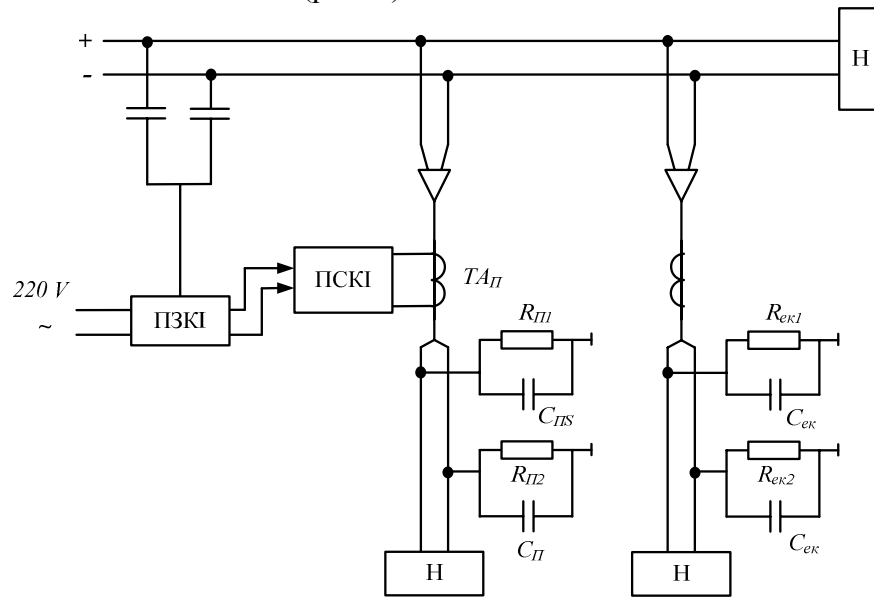


Рис. 1. Функціональна схема селективного контролю ізоляції полюсів окремих приєднань РМПС

$$U_B = \frac{U_0}{2(R_1 + R_2)}(R_2 - R_1), \quad (1)$$

а струм

$$I = \frac{U_0 \cdot (R_2 - R_1)}{2R_1R_2 + R_d(R_1 + R_2)}, \quad (2)$$

тоді загальний опір між полюсами мережі і землею

$$R_{i3.B} = \frac{U_B}{I} = \frac{2R_1R_2 + R_d(R_1 + R_2)}{2(R_1 + R_2)} = \frac{R_1R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_d}{2} = R_{i3} + \frac{R_d}{2},$$

де R_d – опір плеча дільника.

Таким чином,

$$R_{i3} = \frac{U_B}{I} - \frac{R_d}{2}, \quad (3)$$

Для визначення опору ізоляції кожного полюса відносно землі, перемикач SA поставимо в положення 2 і визначаємо перехідні струми $i_1(t)$, $i_2(t)$ при почерговому підключенні незарядженого конденсатора C_0 (рис.1) між додатнім та від'ємним полюсами мережі за допомогою перемикача $SA1$ та кнопки SB :

$$\left. \begin{aligned} i_1(t) &= \frac{U_0}{R_2(1 + 2C/C_0)^2} e^{-t/\tau}; \\ i_2(t) &= \frac{U_0}{R_1(1 + 2C/C_0)^2} e^{-t/\tau}, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

де $\tau = \frac{R_2 R_1 (C_0 + 2C)}{R_1 + R_2}$ – постійна часу.

Максимальне значення струм має в перший момент підмикання конденсатора до полюса мережі, тобто при $t=0$. Із системи рівнянь (4) маємо:

$$\left. \begin{aligned} R_2 &= \frac{U_0}{i_1(0)(1+2C_1/C)^2} \\ R_1 &= \frac{U_0}{i_2(0)(1+2C_1/C)^2} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

В реальних умовах значення C_0 не обмежують, тому можна підібрати його величину так, щоб $2C/C_0 \rightarrow 0$, тоді

$$R_2 = \frac{U_0}{i_1(0)}; R_1 = \frac{U_0}{i_2(0)}, \quad (6)$$

тобто алгоритм визначення загального опору R_{i3} і опору ізоляції окремих полюсів значно спрощується, а ємність мережі не впливає на результати вимірювань.

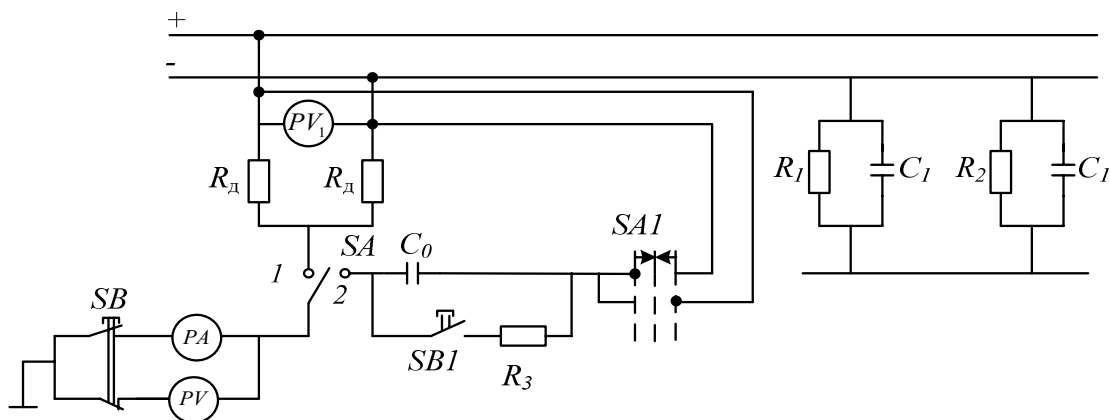


Рис. 2. Розрахункова схема для визначення омичного опору полюсів мережі відносно землі

Алгоритм визначення опору ізоляції полюсів полягає в наступному (рис.2). Після підключення пристрою між полюсами мережі і землею за допомогою кнопки $SB1$ розряджають конденсатор C_0 . Перемикач SA ставлять в положення 1. Вимірюють напругу U_e між загальною точкою дільника і землею. Якщо $U_e > 0$, то натискають на кнопку SB і вимірюють струм I . Потім перемикач SA перемикають в положення 2, $SA1$ ставлять в положення 1 і натискають на кнопку SB вимірюють величину струму $i_1(0)$, а в положенні $SA1$ – $i_2(0)$ при натисканні кнопки SB – $i_2(0)$, напругу U_0 вимірюють за допомогою вольтметра $PV1$. При підключенні конденсатора C_0 між полюсом мережі і землею він попередньо повинен бути повністю розряджений (кнопка $SB1$, резистор R_3).

За результатами вимірювань по формулах (3), (5) визначають R_{i3} , R_1 , R_2 , перевіряють чи співпадають результати $R_{i3} = R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$. Якщо в результаті вимірювання $U_e = 0$, то це означає, що ізоляція симетрична, тобто $R_1 = R_2$ і достатньо виміряти $i_1(0)$, $i_2(0)$ і U_0 .

Проведемо дослідження методичної похибки вимірювання загального опору ізоляції

R_{i3} і окремих полюсів відносно землі R_1, R_2 .

Середньоквадратичну похибку визначення R_{i3} можна знайти з виразу (3)

$$\begin{aligned}\varepsilon_{R_{i3}} &= \sqrt{\left(\frac{\partial R_{i3}}{\partial U_B} \frac{dU_B}{R_{i3}}\right)^2 + \left(\frac{\partial R_{i3}}{\partial I} \frac{dI}{R_{i3}}\right)^2 + \left(\frac{\partial R_{i3}}{\partial R_d} \frac{dR_d}{R_{i3}}\right)^2} = \\ &= \sqrt{\varepsilon_I^2 + \varepsilon_{U_B}^2 + \varepsilon_{R_d}^2},\end{aligned}\quad (7)$$

З виразу (7) видно, що похибка визначення R_{i3} залежить від точності вимірювання, напруги U_0 , струму I і установки R_0 .

Враховуючи те, що внутрішній опір вимірювальних приладів має кінцеве значення, визначимо величину U_0 і I . Опускаючи проміжні перетворення, отримуємо

$$\begin{aligned}U_{BX} &= \frac{U_0}{\left(\frac{R_d}{R_V} + \frac{2R_1}{R_V} + 2\right)} \cdot \left[\frac{(R_2 - R_1) \left(\frac{R_d}{2R_V} + 1\right) + \frac{R_1 R_2 - R_1^2}{R_V}}{(R_1 + R_2) \left(\frac{R_d}{2R_V} + 1\right) + \frac{R_1 R_2}{R_V}} \right] = \\ &= \frac{U_0}{2} \cdot \frac{(R_2 - R_1)}{R_1 + R_2} \cdot \frac{1}{\left(\frac{R_d + 2R_{i3}}{2R_V} + 1\right)} = U_d \cdot k,\end{aligned}\quad (8)$$

де R_V – внутрішній опір вольтметра, а U_d – дійсне значення вимірюваної напруги:

$$U_d = \frac{U_0}{2} \cdot \frac{(R_2 - R_1)}{R_1 + R_2}; \quad k = \frac{1}{\left(\frac{R_d + 2R_{i3}}{2R_V} + 1\right)}.$$

Визначимо значення струму

$$\begin{aligned}I_B &= \frac{U_0}{R_d + 2R_1 + 2R_a} \cdot \left[1 - \frac{2R_1(R_d + R_1 + 2R_a)}{(R_1 + R_2)(R_d + 2R_a) + 2R_1 R_2} \right] = \\ &= \frac{U_0(R_2 - R_1)}{(R_1 + R_2)(R_d + 2R_a) + 2R_1 R_2},\end{aligned}\quad (9)$$

де R_a – внутрішній опір амперметра.

Використовуючи рівняння (8), (9), визначимо граничні відносні похибки, що виникають при вимірюванні напруги та струму

$$\varepsilon_U = |\varepsilon_V| + \left| \frac{U_d - U_B}{U_B} \right| = |\varepsilon_V| + |1 - k_U|; \quad (10)$$

$$\varepsilon_i = |\varepsilon_i| + \left| \frac{I_d - I_B}{I_d} \right| = |\varepsilon_i| + |1 - k_i|; \quad (11)$$

$$\text{де } I_d = \frac{U_0(R_2 - R_1)}{(R_1 + R_2)R_d + 2R_1 R_2}; \quad k_i = \frac{I_B}{I_d} = \frac{R_d + 2R_{i3}}{R_d + 2R_{i3} + 2R_a}$$

Для визначення числових величин похибки введемо обмеження. В широко розповсюдженій пристрої УКІ – 1 [2] $R_0 = 15$ кОм. Критичне значення опору ізоляції полюсів відносно землі [1] визначимо виходячи з мінімально допустимого опору полюса відносно землі $R_{II} = 30$ кОм, тоді при симетрії ізоляції $R_{i3} = 15$ кОм. Внутрішній опір цифрових вольтметрів визначаємо як $R_V \approx 10$ кОм/В, тоді для вимірювання максимального значення напруги $U_{e\max} = U_0 = 230$ В, $R_V \approx 2300$ кОм. Внутрішній опір цифрових амперметрів не перевищує $R_a = 100$ Ом. Виходячи з цих обмежень, методичною похибкою вимірювання струму можна знехтувати, оскільки в самому несприятливому випадку $R_{i3} \rightarrow 0$, $k_i = 0,006$. Методична похибка вимірювання напруги для граничного випадку $R_{i3} = 500$ кОм $\varepsilon_{UM} = 0,18$ для критичного опору $\varepsilon_{UM} = 0,01$, тобто в критичному випадку методична похибка вимірювання напруги не перевищує 1%. Якщо вибрати вимірювальну систему так, щоб $\varepsilon_V = \varepsilon_i = 1\%$, а похибку визначення R_0 , як $\varepsilon_{R0} = 5\%$, то загальна похибка визначення ε_{Ri3} згідно (7) в критичному випадку $\varepsilon_{Ri3} = 5,4\%$.

Гранична відносна похибка – визначення опору ізоляції окремих полюсів:

$$\varepsilon_{R_1} = \frac{1}{R_1} \left[\left| \frac{R_1}{U_0} dU_0 \right| + \left| \frac{R_1}{i_2(0)} di_2(0) \right| + \left| \frac{R_1}{C_0} dC_0 \right| \right];$$

$$\varepsilon_{R_2} = \frac{1}{R_2} \left[\left| \frac{R_2}{U_0} dU_0 \right| + \left| \frac{R_2}{i_1(0)} di_1(0) \right| + \left| \frac{R_2}{C_0} dC_0 \right| \right].$$

або враховуючи систему рівнянь (2.19)

$$\varepsilon_{R_1} = \varepsilon_{R_2} = \left| \varepsilon_{U_0} \right| + \left| \varepsilon_{i(0)} \right| + \left| \varepsilon_C \frac{2m^2}{1+m+m^2} \right|,$$

де ε_{U_0} , $\varepsilon_{i(0)}$ – граничні відносні похибки вимірювання напруги та струму і визначаються класом точності вимірювальних пристроїв; ε_C – гранична відносна похибка установки додаткової ємності C : $m = 2C/C_0$.

Вибір величин ємностей не обмежений, наприклад, при максимально можливому значенні $C = 20$ мкФ (оперативні мережі постійного струму атомних електричних станцій і $C_0 = 1000$ мкФ, $m = 0,04$ і впливом ємності C можна знехтувати. Похибка методу вимірювання буде залежати лише від класу точності вимірювальних систем напруги і струму

Список літературних джерел

1. ГОСТ 12.4.155-85. Система стандартов безопасности труда. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам 1986. – 2 с.
2. ГОСТ 12.1.038-85. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые уроня напряжений прикосновения и токов. М.: Государственный комитет СССР по стандартам 1984. – 4 с.
3. Кутин В.М. Оптимальные функциональные характеристики устройств контроля тока утечки в цепях постоянного тока / В.М. Кутин, О.И.Кульматицкий // Сборник научных трудов – К.: УМК ВО, 1988 – С.37-41.
4. Кутин В.М. Метод та пристрій захисного вимикання двопровідних мереж постійного струму / В.М. Кутин // Вісник Вінницького політехнічного інституту – 2003 – С. 53 – 59.

УДК 621.791.03

В.В. Головкин, д-р техн. наук

В.А. Костин, канд. техн. наук

В.В. Жуков, мл. науч. сотр.

Институт электросварки им. Э.О. Патона НАН Украины, г. Киев

И.А. Прибытько, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ МАРГАНЦЕМ И ТИТАНОМ НА ОСОБЕННОСТИ РАСПАДА АУСТЕНИТА В МЕТАЛЛЕ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ ШВОВ

Исследовано влияние легирования марганцем и титаном на особенности распада аустенита в металле низколегированных швов и определены условия получения качественного соединения.

Постановка проблемы

Повышение качества низколегированных сталей в последние годы связано, в первую очередь, со снижением содержания примесных элементов, а также углерода. Падение прочностных характеристик в сталях со сверхнизким уровнем углерода (0,02...0,05%) компенсируется за счет выбора соответствующей системы легирования металла и режимов его термомеханической обработки в процессе изготовления проката. В связи с отсутствием последней составляющей при получении сварных соединений, особое внимание необходимо уделять обоснованному выбору системы легирования металла швов.

Легирующие элементы в сварных швах низколегированных сталей должны не только компенсировать падение прочностных характеристик за счет сверхнизкого содержания углерода в металле, но и обеспечить высокий уровень показателей вязкости сварных соединений. Для этих целей традиционно используются такие легирующие элементы как марганец, хром, никель, молибден, титан.

Анализ последних исследований и публикаций

В наших работах [1,2] было показано положительное влияние легирования марганцем и титаном на комплекс механических свойств сварных швов низколегированных сталей. Установлено, что влияние этих элементов имеет экстремальный характер, т.е. существует определенный оптимум, при котором легирование марганцем и титаном дает наиболее заметный эффект. Для получения максимального результата от легирования сварных швов этими элементами необходимо понимание особенностей их влияния на процессы, протекающие при формировании микроструктуры в затвердевающем металле швов.

С этой целью был выполнен комплекс исследований, направленный на получение информации о влиянии процессов легирования на формирование структуры металла швов низколегированных сталей.

Способность сплавов железа растворять легирующие элементы определяется их размерами и энергетическими характеристиками, а также типом структурной решетки железа. В зависимости от температуры такая решетка может представлять собой гранцентрированный или объемно-центрированный куб (ГЦК или ОЦК), что соответствует γ - или α -фазам железа. Растворенные элементы, внедряясь в структурную решетку растворителя или замещая в ней его атомы, деформируют исходную решетку и тем самым влияют на изменение условий формирования структуры и свойств легированного сплава. Различие размеров атомов железа и легирующего элемента определяет степень

деформирования ГЦК или ОЦК решетки. Атомы марганца по своим размерам наиболее близки к атомам железа (1,26 Å), а атомы титана имеют наибольшую разницу (1,26 Å и 1,47 Å, соответственно) среди наиболее широко используемых легирующих элементов, поэтому именно эти два элемента были выбраны для выявления особенностей их влияния на формирование структуры сварных швов.

Формулирование целей статьи

Цель работы – исследование влияния легирования марганцем и титаном на особенности распада аустенита в металле сварных швов из низколегированной стали и определение условий получения качественных сварных швов.

Изложение основного материала исследований

Исследования проводили на образцах наплавленного металла многопроходных швов, полученных при сварке под агломерированными флюсами, что связано с возможностью последних управлять как кислородным потенциалом газовой и шлаковой фаз, так и легированием металла швов. Для изучения влияния легирования твердого раствора на содержание структурных составляющих в металле в состав флюсов вводили металлический марганец (99 % Mn) или ферротитан (70 % Ti).

Для исследования влияния легирования металла швов на микроструктуру и характеристики неметаллических включений были выполнены наплавки в канавку на листах низколегированной высокопрочной стали толщиной 14 мм. Сварку выполняли под флюсами с различным кислородным потенциалом. Флюс №13 ($\lg a_o = -0,83$), №9 ($\lg a_o = -1,25$), №19 ($\lg a_o = -1,70$) в сочетании с проволокой Св-08ГА диаметром 4 мм. Кислородный потенциал флюса рассчитывали в соответствии с формулой:

$$a_o = RTP_{O_2} (e^{\Delta \tilde{A} / RT} / i \tilde{v}_2),$$

где R и T — универсальная газовая постоянная (8,31 Дж/(моль·К)) и температура (К), а P_{O_2} — парциальное давление кислорода над расплавом шлака.

Химический состав основного металла и сварочной проволоки приведен в таблице 1. Для получения образцов металла швов были подготовлены пластины размером 400x150x14 мм трех типов (рис. 1). В канавку пластин по схеме, приведенной на рисунке 1,б укладывали одну порошковую проволоку, сердечник которой состоял из металлического марганца (серия Г) или ферротитана (серия Т), а по схеме, приведенной на рисунке 1,в – две порошковых проволоки того же состава. В экспериментах использовали следующие режимы сварки: постоянный ток обратной полярности, $I_{св}=700..720$ А; $U_0=35..36$ В; $V_{св}=6,9..7,0$ мм/сек. Химический состав металла швов приведен в таблице 2.

Таблица 1

Химический состав основного металла и сварочной проволоки

	C	Si	Mn	Ni	Mo	Cu	Cr	V	Al	S	P
Основной металл	0.088	0.253	0.44	2.16	0.27	0.47	0.40	0.020	0.01	0.005	0.010
Сварочная проволока	0.100	0.050	1.01	н\о	н\о	н\о	н\о	н\о	н\о	0.012	0.009

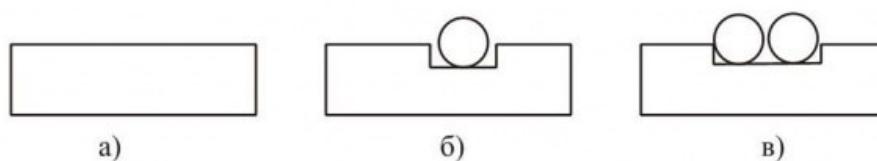


Рис. 1. Схема подготовки основного металла для получения образцов металла швов

Таблица 2

Химический состав металла швов

Шов	C	Si	Mn	Ni	Mo	Ti	Cr	Al	S	P	O
ГА13	0,072	0,318	0,39	1,27	0,19	<0,002	0,26	0,008	0,008	0,007	0,125
ГА09	0,070	0,170	0,45	1,22	0,19	<0,002	0,27	0,0128	0,007	0,008	0,054
ГА19	0,071	0,127	0,50	1,26	0,19	0,001	0,27	0,0182	0,007	0,008	0,039
ГА13Г	0,072	0,323	0,66	1,23	0,19	<0,002	0,24	0,008	0,009	0,010	0,112
ГА09Г	0,060	0,174	0,85	1,22	0,18	<0,002	0,25	0,011	0,010	0,010	0,056
ГА19Г	0,069	0,135	0,93	1,27	0,19	<0,002	0,27	0,016	0,007	0,011	0,035
ГА13Г2	0,093	0,330	1,08	1,29	0,18	<0,002	0,25	0,008	0,015	0,011	0,099
ГА09Г2	0,076	0,205	1,29	1,22	0,18	<0,002	0,25	0,013	0,012	0,011	0,043
ГА19Г2	0,083	0,141	1,68	1,24	0,18	<0,002	0,26	0,018	0,012	0,011	0,036
ГА13Т	0,078	0,437	0,43	1,22	0,19	0,027	0,24	0,012	0,008	0,009	0,101
ГА09Т	0,073	0,227	0,48	1,24	0,19	0,084	0,25	0,019	0,007	0,010	0,054
ГА19Т	0,075	0,181	0,54	1,23	0,19	0,127	0,25	0,028	0,006	0,009	0,032
ГА13Т2	0,125	0,557	0,47	1,22	0,17	0,130	0,23	0,029	0,011	0,008	0,102
ГА09Т2	0,083	0,389	0,51	1,24	0,18	0,244	0,26	0,039	0,008	0,010	0,030
ГА19Т2	0,118	0,217	0,52	1,11	0,16	0,297	0,22	0,054	0,007	0,008	0,022

Из сварных соединений вырезались поперечные образцы для исследования структуры и фазового состава металла.

В ходе металлографических исследований определяли долю отдельных составляющих микроструктуры металла, содержание легирующих элементов в твердом растворе, элементный состав и распределение неметаллических включений. Микроструктуру исследовали методами оптической и электронной металлографии с использованием светового микроскопа “Неофот-32” и растрового электронного микроскопа JSM-840 фирмы “JEOL”, оборудованного платой захвата изображений MicroCapture с последующей регистрацией изображения на экране компьютера.

Количественное определение микроструктурных составляющих проводили в соответствии с методикой Международного института сварки (МИС). Содержание легирующих в твердом растворе и отдельных составляющих микроструктуры металла швов определяли микрорентгеноспектральным методом с помощью энергодисперсионного спектрометра LINK 860/500 фирмы “Link System” и волнодисперсионного спектрометра ORTEC фирмы “ORTEC”.

Влияние легирования на кинетику формирования вторичной структуры металла швов изучали путем записи термодформационных кривых в процессе охлаждения образцов исследованных швов с помощью установки для моделирования термических циклов фирмы Gleeble. С этой целью были выполнены эксперименты для записи термических циклов наиболее характерных режимов сварки, используемых при изготовлении сварных соединений низколегируемых сталей.

Для выявления условий нагрева и охлаждения металла швов и ЗТВ сварных соединений производили запись термического цикла в металле шва и УКЗ ЗТВ. С этой целью были подготовлены пластины размером 400x 50x22 мм с V-образной канавкой по центру. С обратной стороны пластины в плоскости канавки засверливали отверстия глубиной от 10 до 17 мм, в каждое из которых вводили термопару. Результаты показаний термопар подавали на шлейфовый осциллограф и записывали для дальнейшей обработки. Схема подготовки пластин под сварку приведена на рисунке 2.

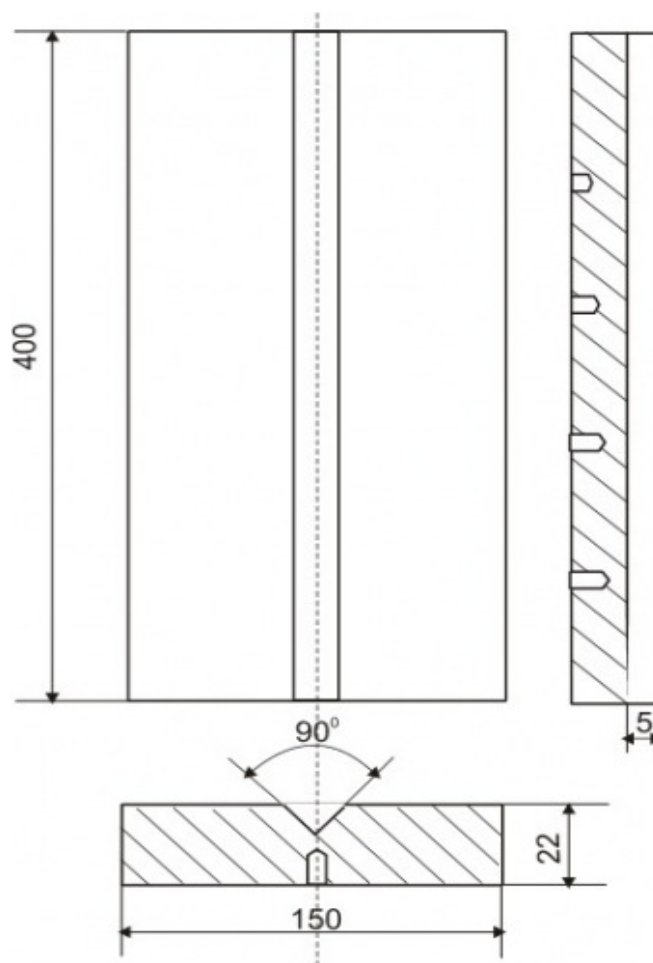


Рис. 2. Схема подготовки пластины для сварки опытных швов

Из металла швов изготавливали поперечные шлифы в местах, где были введены термопары, для установления координат записи термического цикла. Параметры режимов сварки приведены в таблице 3.

Таблица 3

Параметры режимов сварки

Обозначение шва	Сварочный ток, А	Напряжение на дуге, В	Скорость сварки, см/мин	Погонная энергия, кДж/см
30	550	31	33	31,0
50	750	35	33	47,7
70	950	43	33	74,3

На рисунке 3 показан поперечный шлиф сварного шва №70, на котором видно место расположения термопары, введенной для записи термического цикла. В таблице 4 приведены результаты обработки данных, полученных при записи термического цикла сварки.

На полученных графиках записи термического цикла выделяли участок в области температур охлаждения от 800 до 500°C, в которых происходят процессы перекристаллизации. Для этих областей рассчитывали скорость охлаждения. Результаты расчетов приведены в таблице 4. Для моделирования условий структурных превращений на установке Gleeble диаграмму термического цикла нагрева и охлаждения образцов вы-

бирали таким образом, чтобы скорость их охлаждения $V_{8/5}$ соответствовала установленным экспериментальным значениям. С учетом полученных данных моделировали термический цикл металла сварных швов в области температур ниже точки AC_3 .

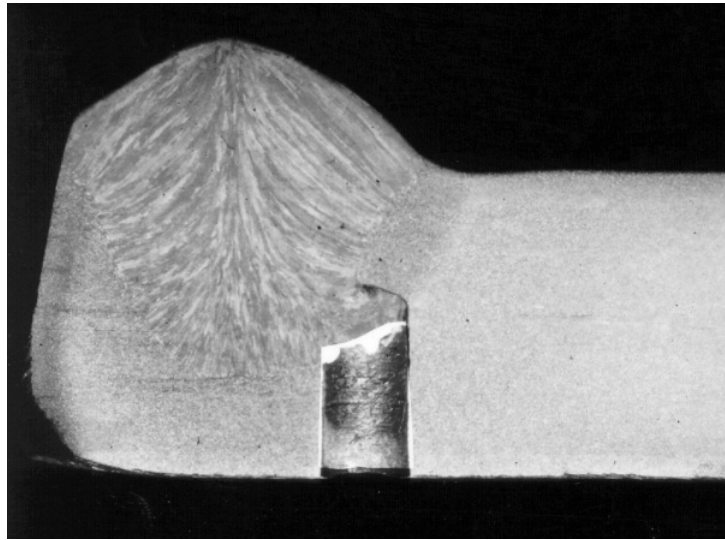


Рис. 3. Фотография поперечного шлифа с местом расположения термодпары

Таблица 4

Характеристики термического цикла на линии сплавления шва с основным металлом

№ шва	Нагрев		Охлаждение			
	t_{1000}, c	$w_{1000}, ^\circ C/c$	t_{1000}, c	$w_{1000}, ^\circ C/c$	$t_{8/5}, c$	$w_{8/5}, ^\circ C/c$
70	0,040	8197	4	99,2	40	7,5
50	0,080	5794	8	49,5	57	5,45
30	0,110	4140	9	47,7	55	5,26

Образцы для проведения испытаний на установке Gleeble (рис. 4) вырезали из сварного соединения таким образом, чтобы металл шва находился в средней части образца.

Схема термического цикла, использованного для моделирования, приведена на рисунке 5. С целью исследования влияния легирования твердого раствора марганцем и титаном на параметры решетки ГЦК и ОЦК кристаллов железа было проведено рентгеновское исследование структуры металла швов.

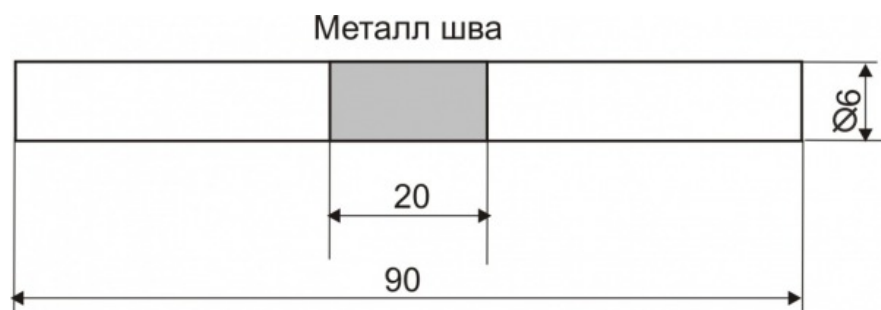


Рис. 4. Эскиз образца для испытания на установке Gleeble

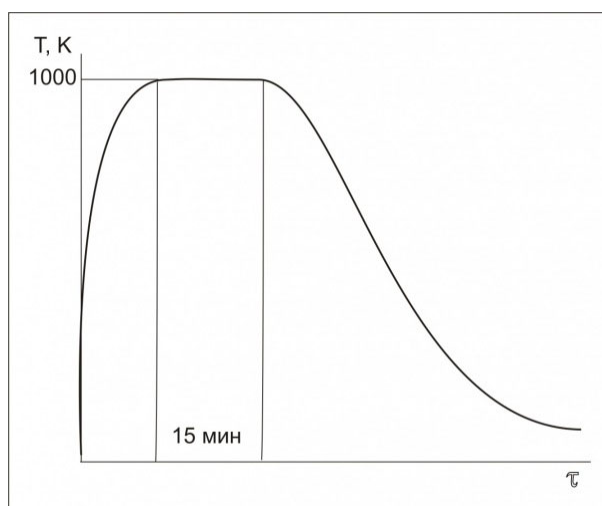


Рис. 5. Схема термического цикла моделирования структурных преобразований в металле исследованных швов

Образцы в виде цилиндров диаметром 12 мм, высотой 10 мм вырезали из швов по направлению вдоль продольной оси шва. На торцевой поверхности образца изготавливали микрошлиф. После травления в 4% р-ре HNO_3 и переполіровки с этой поверхности снималась рентгенограмма. Образцы типичных рентгенограмм, на которых видны пики, соответствующие отражениям от определённых плоскостей отдельных структурных составляющих, приведены на рисунках 6 и 7.

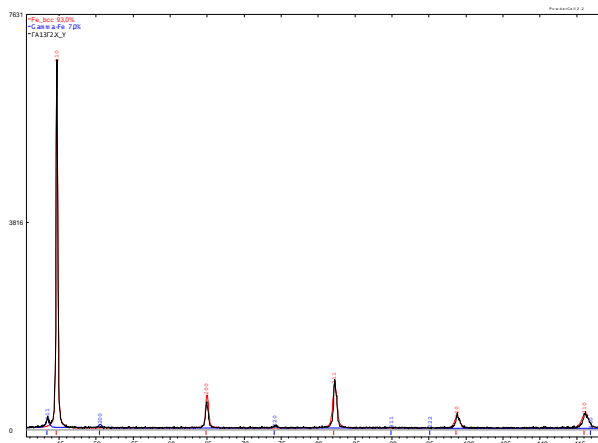


Рис. 6. Рентгенограмма образца шва ГА13Г2

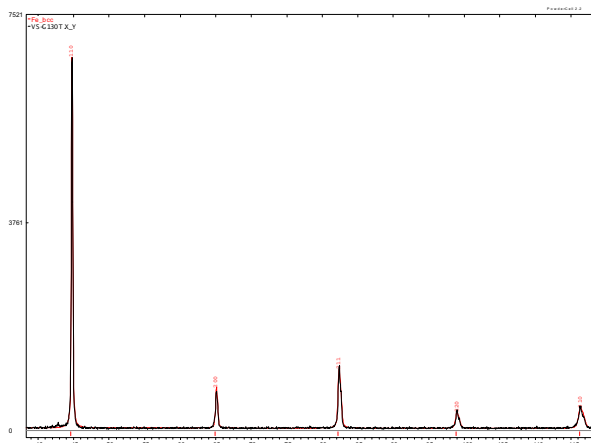


Рис. 7. Рентгенограмма образца шва ГА13Г2 после отжига при температуре 680°C, 2 часа

При обработке рентгенограмм в соответствии с имеющейся методикой были определены количество α -фазы (феррит), γ -фазы (остаточный аустенит) и параметры их кристаллической решетки. Для получения образца-эталоны, состоящего целиком из α -фазы (без γ -фазы) был исследован также один из образцов шва ГА13Г2 после отжига при температуре 680°C в течение двух часов (рис. 7).

Было установлено, что легирование металла швов марганцем приводит к увеличению параметров решетки α -Fe (от 2,8695 Å до 2,8728 Å). В случае легирования титаном увеличиваются параметры решетки как γ -Fe (от 3,6176 Å до 3,6231 Å), так и α -Fe (от 2,8695 Å до 2,8723 Å). Отмеченная деформация решетки феррита атомами внедрения должна сказаться на условиях формирования структуры металла швов, что было подт-

верждено результатами дилатометрических исследований. Результаты испытаний на установке Gleeble, приведенные на рисунках 8 и 9, показывают, что легирование металла швов марганцем вызывает некоторое снижение температуры формирования α -фазы, но не оказывает влияния на диапазон ферритного и бейнитного превращений. В случае легирования титаном, наоборот, резко сокращается область бейнитного превращения при сохранении температуры начала $\gamma \rightarrow \alpha$ превращений.

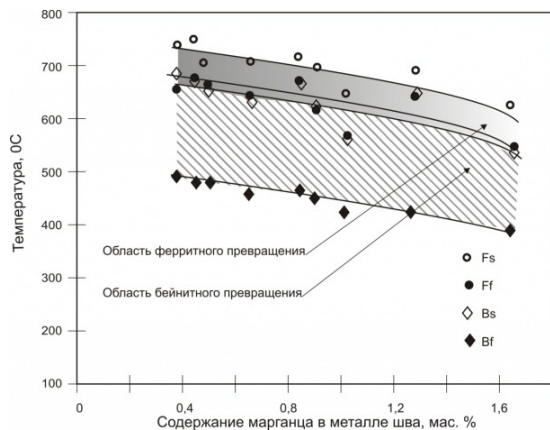


Рис. 8. Влияние легирования марганцем на температурный диапазон структурных превращений в металле швов

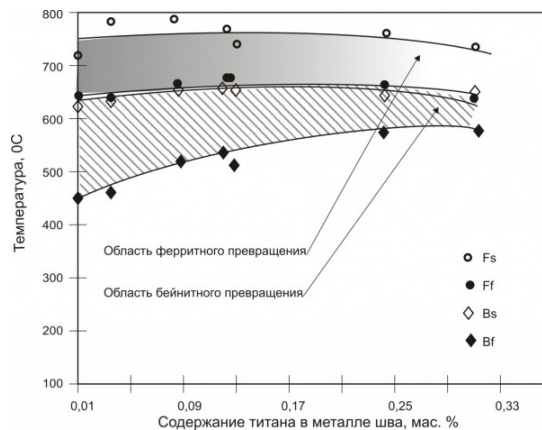
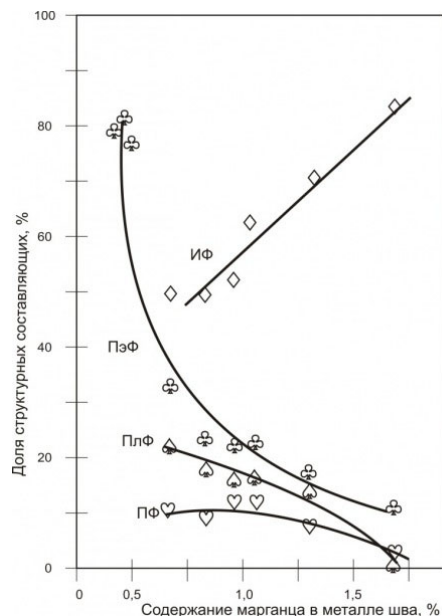
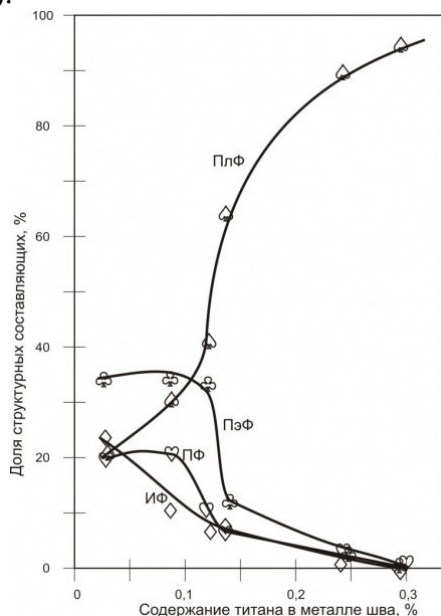


Рис. 9. Влияние легирования титаном на температурный диапазон структурных превращений в металле швов

Наличие достаточно большой области бейнитного превращения ($\sim 150^\circ\text{C}$) во всем исследованном диапазоне легирования металла швов марганцем способствует формированию такой низкотемпературной формы феррита как игольчатый феррит, содержание которого увеличивается со снижением температуры начала $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения (рис. 10).



ПФ – полигональный феррит; ПлФ – феррит со второй фазой;
ПзФ – полиэдрический феррит; ИФ- игольчатый феррит.

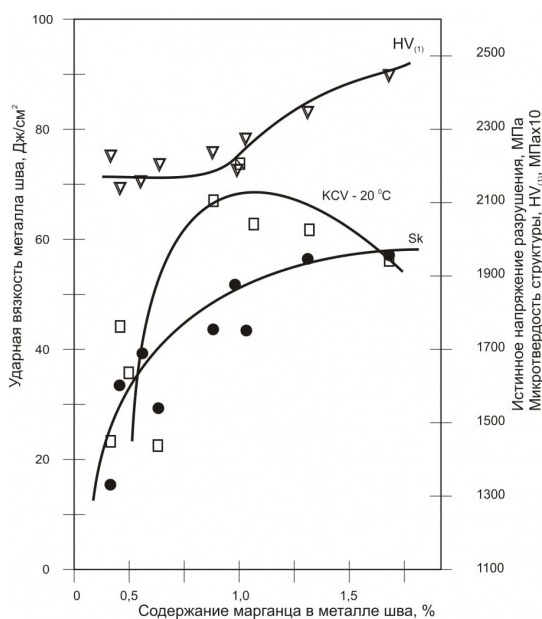
Рис. 10. Влияние легирования марганцем на содержание структурных составляющих металла швов

Рис. 11. Влияние легирования титаном на содержание структурных составляющих металла швов

Сокращение области бейнитного превращения в металле швов, легированных титаном, приводит к уменьшению времени, в течение которого возможна диффузия углерода из высокотемпературных форм феррита. В результате в сварных швах образуется феррит с высоким содержанием второй фазы (рис. 11).

Повышение содержания марганца в металле швов до уровня $\sim 1,2\%$ и связанное с ним увеличение содержания игольчатого феррита вызывают рост как ударной вязкости, так и стойкости против хрупкого разрушения, однако при более высоком уровне легирования марганцем эти показатели либо не возрастают (Sk), либо снижаются ($KCV-20$), несмотря на высокое содержание игольчатого феррита (рис. 12). Следует отметить также и рост микротвердости структуры в данном диапазоне легирования металла швов (рис. 12), что может быть вызвано чрезмерно высоким уровнем упрочнения твердого раствора.

В тех случаях, когда в структуре металла швов, легированных титаном, присутствует заметная доля низкотемпературных морфологических форм феррита (полиэдрический, игольчатый), стойкость их против хрупкого разрушения остается на достаточно высоком уровне (рис. 13). Повышение содержания титана в металле швов и, соответственно, его влияния на деформацию структурной решетки способствует увеличению содержания в структуре высокотемпературных морфологических форм феррита. С повышением содержания в структуре феррита со второй фазой микротвердость ее возрастает, а сопротивление хрупкому разрушению и ударная вязкость металла швов снижается (рис. 13), что может быть объяснено повышенной хрупкостью данной структурной составляющей.



$HV(1)$ – микротвердость структуры; KCV – ударная вязкость металла шва;
 Sk – истинное сопротивление разрыву.

Рис.12. Влияние легирования марганцем на механические свойства металла швов

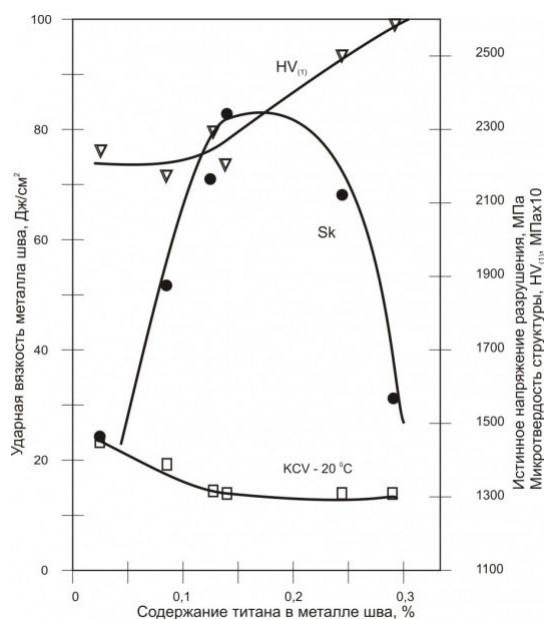


Рис.13. Влияние легирования титаном на механические свойства металла швов

Выводы

- полученные в результате проведенных исследований данные показывают, что легирование металла швов марганцем, размер атомов которого совпадает с размером атомов железа, незначительно снижает температуру начала $\gamma \rightarrow \alpha$ превращений, но не влияет на их температурный диапазон. В результате в сварных швах формируется микроструктура с высоким содержанием низкотемпературных морфологических форм феррита (полиэдрический, игольчатый);
- повышение долей низкотемпературных морфологических форм феррита до определенного уровня способствует росту показателей прочности, пластичности и вязкости металла швов;
- отмечено наличие такой области легирования марганцем, где, несмотря на увеличение содержания в структуре швов игольчатого феррита, происходит снижение их вязкости;
- легирование металла швов титаном, размер атомов которого превышает размер атомов железа, увеличивает деформацию структурной решетки как γ -Fe α -Fe. В результате повышается температура окончания бейнитного превращения, уменьшается температурный диапазон $\gamma \rightarrow \alpha$ превращений, что приводит к формированию в металле шва высокотемпературных морфологических форм феррита (полигональный, со второй фазой), отличающихся повышенной склонностью к хрупкому разрушению;
- для объективной оценки всего комплекса механических свойств металла швов, учитывающего показатели прочности, пластичности и вязкости, необходима информация о влиянии структурно детерминированных факторов на упрочнение микроструктуры сварных швов.

Список литературных источников

1. Влияние распределения марганца между структурными составляющими на свойства металла низколегированных швов / Грабин В.Ф., Головкин В.В. // Автоматическая сварка. – 2007. – №12. – С.26–29.
2. К вопросу о структурной и химической неоднородности металла однослойных швов / Походня И.К., Васильев А.Д., Орлов Л.Н., Шевченко Г.А. // Автоматическая сварка. – 1981. – №12. – С.1–12.

УДК 621.924.1/6

І.О. Прибителько, канд. техн. наук**Т.Р. Ганєєв**, ст. викладач

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

РОЗРАХУНОК НА МІЦНІСТЬ СКЛО-КРЕМНІЄВОГО ВУЗЛА ДАТЧИКА ТИСКУ З ПОЗИЦІЇ КРИХКОГО РУЙНУВАННЯ

Розрахунковим шляхом проведено оцінку рівня напружень для зварних з'єднань з дефектами тріщиноподібної форми. На основі проведених розрахунків встановлено граничні значення геометрії дефекту, які не впливають на експлуатацію вузлів датчиків.

Постановка проблеми

Як свідчать статистичні дані, близько 90% випадків руйнування зварних конструкцій пов'язані з наявністю геометричних чи фізичних неоднорідностей конструктивного або технологічного походження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Врахування подібних неоднорідностей в присутності складних полів залишкових напружень та напружень від зовнішнього навантаження є достатньо складною задачею для існуючих класичних методів розрахунків на міцність зварних з'єднань [1-3]. Однак використання нових методів розрахунку, заснованих на застосуванні чисельних методів аналізу напружено-деформованого стану та механіки руйнування, дозволяє виконати розрахункову оцінку опору з'єднання тим чи іншим навантаженням шляхом прогнозування виникнення та росту тріщин до критичних розмірів.

Наведена на рисунку 1 геометрична неоднорідність технологічного походження, що має місце під час виготовлення скло-кремнієвих елементів вузлів напівпровідникових датчиків тиску, у зварних з'єднаннях не допускається. Проте, завжди має місце вірогідність її виникнення та пропуску внаслідок недосконалості систем контролю.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Тому актуальною виявляється потреба розрахунковим шляхом оцінити рівень напружень для зварних з'єднань з дефектами тріщиноподібної форми, а також встановити граничні значення геометрії дефекту, які не впливають на експлуатацію вузлів датчиків. При цьому, щоб говорити про забезпечення міцності та надійності вузлів датчиків, потрібно використовувати підходи, що засновані на теорії тріщин.

Виклад основного матеріалу дослідження

Згідно з фундаментальними положеннями механіки руйнування, а також припущення, що номінальні напруження у зварних з'єднаннях не перевищують границі текучості, умова забезпечення рівноваги розглянутих тріщин для випадків крихкого руйнування формулюється наступним чином [1,4-6]:

$$K + K_r < \frac{K_{IC}}{n_K},$$

(1)

де K – коефіцієнт інтенсивності напружень (КІН) в осередку тріщини під час дії навантаження;

K_r – коефіцієнт інтенсивності напружень в осередку тріщини від дії залишкових зварювальних напружень;

K_{IC} – критичне значення величини K для матеріалу в осередку тріщини;
 n_K – коефіцієнт запасу, що враховує похибку вимірювання K_{IC} , а також похибку розрахунків величин $K + K_r$.

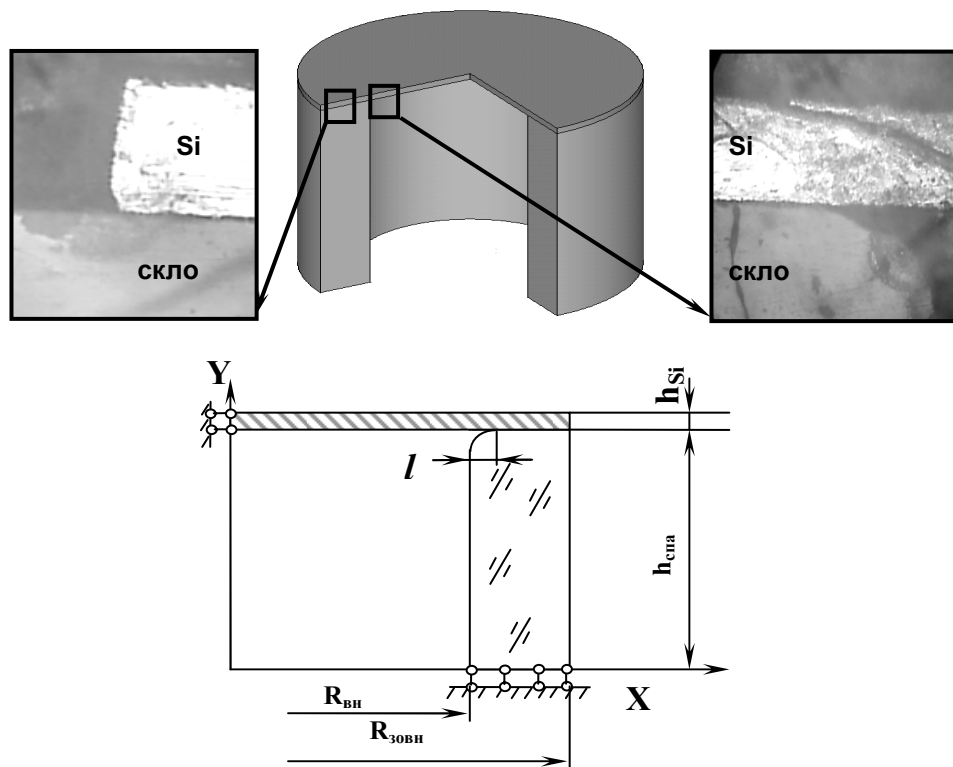


Рис. 1. Різновиди дефектів зварного з'єднання кремнієвої мембрани із скляним трубчастим елементом та розрахункова схема вузла з дефектом

Розрахунок величини K для конкретних випадків зварного з'єднання та характеру навантаження у загальному випадку потребує спеціальних підходів, заснованих на чисельних методах [7]. Однак, у першому наближенні, можливе застосування аналітичних залежностей лінійної механіки руйнування, вважаючи, що під час складного напруженого стану в зоні тріщини величина K визначається через відповідні значення коефіцієнтів інтенсивності нормальних напружень та напружень поперечного й поздовжнього зсувів в осередку тріщини відповідно K_I , K_P та K_{P2} (рис. 2) за наступною залежністю для плоского напруженого стану [7]:

$$K = \sqrt{K_I^2 + K_{II}^2 + (1 + \nu) \cdot K_{III}^2}. \quad (2)$$

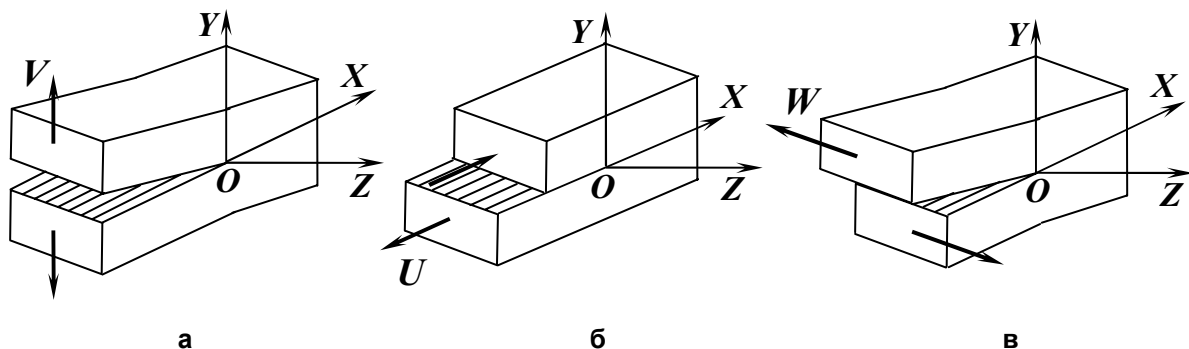


Рис. 2. Основні типи переміщень поверхонь тріщини: а – тип I (нормальний відрив); б – тип II (поперечний зсув); в – тип III (поздовжній зсув)

Конструктивно торцеве з'єднання кремнієвої мембрани зі скляною трубкою аналогічне до напусткового зварного з'єднання. У цьому разі для отримання значень K_I , K_{II} , K_{III} для лобового напусткового шва (рис. 3), завантаженого зусиллями P_∞ , V_∞ та згинаючим моментом $M_{\varphi\tilde{a}}$ на одиницю довжини шва, користувалися залежностями, наведеними у [1]:

$$K_I = \frac{\sqrt{\pi}}{\pi^2 - 8} \cdot \left[\frac{4\pi - 12}{\sqrt{h-l}} \cdot P_\infty + \frac{4\pi - 8}{(h-l)^{3/2}} \cdot M_\infty \right], \quad (3)$$

$$K_{II} = \frac{\sqrt{\pi}}{\pi^2 - 8} \cdot \left[\frac{4\pi - 12}{\sqrt{h-l}} \cdot V_\infty \right], \quad K_{III} = 0, \quad (4)$$

де h – розрахунковий розмір зварного шва;

l – довжина тріщини.

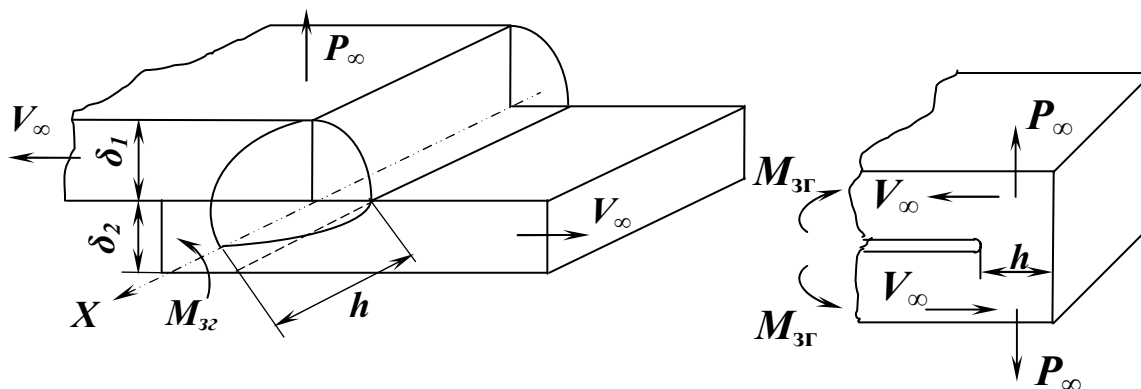


Рис. 3. Схема лобового напусткового зварного шва та схема його заміщення

Величини P_∞ та V_∞ для етапів виготовлення (залишкові напруження від процесу зварювання) та експлуатаційного навантаження (дія тиску на кремнієву мембрану) визначали за картами напруженого стану від вказаного навантаження вузла [13], а $M_{\varphi\tilde{a}}$ – за наступною залежністю [8,9]:

$$M_{\varphi\tilde{a}} = \int_0^\delta \sigma_x \cdot x dx, \quad (5)$$

де δ – товщина кремнієвої мембрани.

В [2] запропонована методика визначення КІН для випадку крайової тріщини на границі розподілу двох різнорідних пластин з урахуванням відмінності властивостей матеріалів пластин у припущенні, що береги тріщини та границя на півплощині є вільними від навантаження (рисунок 4) та за умови [10,11]:

$$G_1 / (1 - 2 \cdot \nu_1) = G_2 / (1 - 2 \cdot \nu_2), \quad (6)$$

де G_1 , G_2 – модулі зсуву матеріалів пластин;

ν_1 , ν_2 – коефіцієнти Пуассона матеріалів пластин.

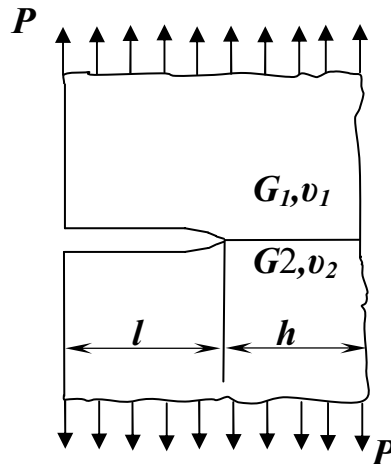


Рис. 4. Розтяг складеної напівплощини з крайовою тріщиною вздовж границі різномірних пластин

Згідно з літературними даними [2], для представленої схеми КІН дорівнюють:

$$K_I = f_1(G_1 / G_2) \cdot P \sqrt{\pi \cdot l}, \quad (7)$$

$$K_{II} = f_2(G_1 / G_2) \cdot P \sqrt{\pi \cdot l}, \quad (8)$$

де f_1 та f_2 – коефіцієнти, що залежать від значення відношення G_1 / G_2 .

Аналогічно до попередньої моделі тріщини, розрахунки виконували для двох етапів: виготовлення скло-кремнієвого вузла та його експлуатації (робота мембрани на відрив).

З метою оцінювання вірогідності розповсюдження тріщини результати розрахунків за допомогою наведених моделей зведені у таблиці 1.

У зв'язку з тим, що в зоні з'єднання кремнію зі склом критичне значення величини КІН невідоме, як K_{IC} у рівнянні забезпечення рівноваги тріщин для випадків крихкого руйнування (3.13) застосовували значення K_{IC} матеріалу з меншою міцністю – боросилікатного скла „Пірекс”. Коефіцієнт запасу n_K обирали в межах 2...2,5 [1,2,12].

Таблиця 1

Коефіцієнти інтенсивності напружень

Модель тріщини	Характеристики тріщини	КІН K_r , Н/мм ^{3/2}	КІН K , Н/мм ^{3/2}	$K_r + K$, Н/мм ^{3/2}	K_{IC} / n_K [12] Н/мм ^{3/2}
1. Модель напусткового зварного з'єднання [7]	l=0,1 мм h=0,9 мм	0,74	5,01	5,75	6,8...8,5
2. Модель з урахуванням різномірності матеріалів [2]		0,64	2,32	2,96	
1. Модель напусткового зварного з'єднання [7]	l=0,2 мм h=0,8 мм	1,23	5,62	6,85	
2. Модель з урахуванням різномірності матеріалів [2]		0,87	3,71	4,58	

З таблиці 1 видно, що величина КІН K під час експлуатації скло-кремнієвого вузла датчика у середньому у 3,5–6,5 разів перевищує КІН від етапу виготовлення вузла, що свідчить про малий внесок дефекту у технологічну міцність зварного з'єднання.

Висновки з даного дослідження

- наявність дефекту, внаслідок недосконалості процесу обробки скляного елемента, більше впливає на експлуатаційну міцність скло-кремнієвого вузла датчика.
- результати розрахунків показують, що при збільшенні довжини (ширини) дефекту в 2 рази зростає сума КІНів в 1,2 та 1,6 разів для першої моделі напусткового зварного з'єднання та моделі з урахуванням різномірності властивостей скляного та кремнієвого елементів відповідно. Аналіз отриманих результатів свідчить про високу вірогідність виникнення крихкого руйнування (розповсюдження тріщини) за довжини дефекту 0,2 мм від сумарної дії технологічного та експлуатаційного навантажень [13].

Список літературних джерел

1. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения. – М.: Наука, 1974. – 640 с.
2. Механика разрушения и прочность материалов: Справочное пособие: В 2 т. Т2. Коэффициенты интенсивности напряжений в телах с трещинами / М.П.Саврук // Под общей ред. В.В. Панасюка. – Киев: Наук. Думка, 1988. – 619 с.
3. Сварные строительные конструкции: В 3 т. Т.1. Основы проектирования конструкций / Л.М. Лобанов, В.И. Махненко, В.И. Труфяков и др. – 1993. – 416 с.
4. Махутов Н.А. Сопrotивление элементов конструкций хрупкому разрушению. М.: Машиностроение, 1973. – 200 с.
5. Burdekin F.M./ Harrison J.D. Alternative elastic-plastic fracture mechanics concepts. // JJW colloquium on practical applications of fracture mechanics. Bratislava, 1973, P.80–93.
6. Wells A.A. Application of fracture mechanics at and beyond yielding. // British Weld. Intl., v.10, №11, 1963, p.563–570.
7. Махненко В.И., Починок В.Е. Расчеты на прочность сварных соединений с конструктивными особенностями трещинообразного типа. К.: Знание, 1981. – 40 с.
8. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. – М.: Наука, 1975. – 536 с.
9. Махненко В.И. Расчетные методы исследования кинетики сварочных напряжений и деформаций. – Киев: Наукова думка, 1976. – 320 с.
10. Кипснис Л.А. Краевая задача на границе различных сред. / Прикладная математика и механика. – 1978. – 42, №2, С.350–354.
11. Mak A.F., Keer L.M. A not-slip edge crack on a bimaterial interface. // Trans. ASME. J. Appl. Mech. – 1980. – 47. – №4. – P. 816–820.
12. Панасюк В.В. Предельное равновесие хрупких тел с трещинами. К.: „Наукова думка”, 1968. – 358 с.
13. Прибитько І.О., Олексієнко С.В. Локальні напруження зварних скло-кремнієвих вузлів датчиків, обумовлені місцевою геометричною неоднорідністю // Міжнародна конференція “Современные проблемы сварки и ресурса конструкций”: Сборник тезисов стендовых докладов. – Киев. – 2007. – С.55.

КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 378.147-057.4:004:519.87 (045)

Павленко П.М., д-р техн. наук

Задонцев Ю.В., аспірант

Національний авіаційний університет, м.Київ, Україна

МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ РІВНЯ КВАЛІФІКАЦІЇ ФАХІВЦІВ З ВПРОВАДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Побудована модель процесу отримання рівня підготовки об'єктами навчання. Врахування динаміки засвоєння знань, формування умінь та набуття навичок об'єктом підготовки дає змогу вирішувати задачу моделювання взаємозв'язаних заходів системи підготовки на основі побудови функцій забування знань і втрати умінь та навичок

Постановка задачі

Задача підготовки фахівців по впровадженню інформаційних технологій у різні сфери промислового виробництва складається із завдань формування знань, умінь та навичок, необхідних для виконання розрахунків, проектів та робіт інформатизації процесу виробництва. Тобто задачею системи підготовки являється не тільки засвоєння тими, хто навчається, сукупності теоретичних знань, але й формування умінь та навичок виконання завдань. Іншими словами, фахівець повинен уміти застосовувати теоретичні знання на практиці та володіти навичками практичної роботи

Проведений аналіз показав, що ефективність впровадження інформаційних технологій у виробництво залежить від рівня кваліфікації, тобто рівня знань, умінь та навичок об'єктів системи підготовки. Тому однією з важливих задач є побудова моделі формування відповідного стабільного рівня знань, умінь та навичок, яка є науковою основою створення ефективної системи підготовки фахівців по впровадженню ІТ-технологій.

Аналіз досліджень і публікацій

Різні методи моделювання соціальних процесів, в тому числі і процесу навчання викладені в роботах [1-4]. Численні експериментальні дані свідчать, що важливішою загальною закономірністю навчання являється уповільнено-асимптотичний характер кривих навчання. В більшості випадків криві навчання апроксимуються експоненціальними кривими. В [5] описано принципи та доцільність впровадження CALS-технологій на машинобудівних підприємствах України. Запропоновано послідовність розв'язання завдань для участі вітчизняних промислових підприємств у міжнародних інфраструктурних інвестиційних проектах, вказано на необхідність підготовки фахівців по впровадженню інформаційних технологій у промисловість.

Мета статті

Метою статті є побудова аналітичної моделі формування у тих, хто навчається, системи знань, умінь та навичок як сукупності взаємопов'язаних елементів, яка буде отримана в результаті підготовки. Задача побудови математичної моделі процесу засвоєння знань, формування умінь та набуття навичок об'єктами підготовки полягає в отриманні залежностей, що дозволять формально описати зміну рівня підготовленості об'єкту навчання та вирішити задачу моделювання взаємозв'язаних заходів системи підготовки на основі побудови функцій забування знань і втрати умінь та навичок.

Основний матеріал

Підготовка фахівців по впровадженню інформаційних технологій це складний процес, що включає: планування, управління функціонуванням, управління розвитком, контроль та координацію. Загальна схема підготовки фахівців наведена на рис. 1. Наведена схема являється такою, що постійно розвивається. Це перш за все пов'язано із стрім-

ким розвитком інформаційних технологій та мультизадачністю впровадження цих технологій у промислове виробництво.

Результуючою величиною, що характеризує систему підготовки в цілому є комплексна функція ($S(z, u, n)$), параметрами якої є змінні (z, u, n), що відображають рівень знань (z), умінь (u) і навичок (n) фахівців (рис.1).

Розвиток системи підготовки фахівців здійснюється завдяки процесам координації із зовнішнім середовищем, вплив якого на систему підготовки здійснюється шляхом замовлення на підготовку спеціалістів та вимогами до рівня їх підготовки ($M(z', u', n')$).

Проведений аналіз показав, що ефективність впровадження інформаційних технологій у виробництво залежить від рівня кваліфікації, тобто рівня знань, умінь та навичок об'єктів системи підготовки. Тому однією з важливих задач є побудова моделі форму-

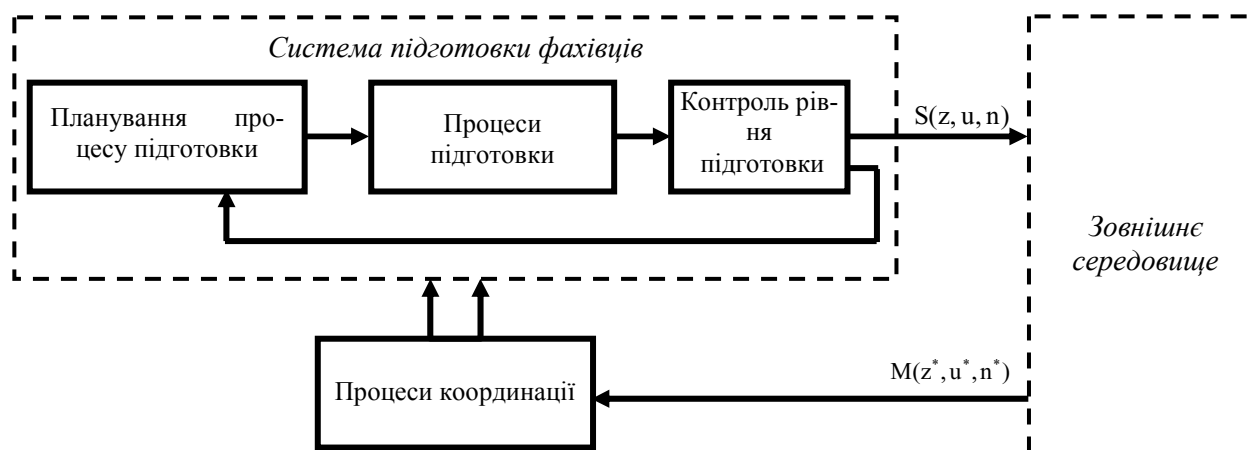


Рис. 1. Загальна схема підготовки фахівців

вання відповідного стабільного рівня знань, умінь та навичок, яка є науковою основою створення ефективної системи підготовки.

Система підготовки – об'єкт, що відокремлюється з навколишнього світу для реалізації своєї цільової функції – формування у тих, хто навчається, деякого апріорно визначеного рівня в конкретній предметній області.

Аналіз процесів формування знань, умінь та навичок у тих, хто навчається, дозволяє виділити наступні структурні елементи системи підготовки: об'єкт підготовки, суб'єкт підготовки та середовище підготовки, яке у свою чергу визначається процесами засвоєння знань, формування вмінь та набуття навичок об'єктами підготовки (рис. 2).

Об'єкт підготовки – це група осіб (може й одна особа), формування у яких деякого апріорно визначеного рівня знань вважається ціллю функціонування системи підготовки. Суб'єкт підготовки – викладачі, що безпосередньо, беруть участь в навчальному процесі в якості джерел знань та (або) координаторів самостійної пізнавальної діяльності тих, хто навчається, а також адміністративний, технічний персонал, що забезпечує реалізацію цілей навчання.

Навчання визначається як процес управління зовнішньою і внутрішньою активністю об'єкту навчання, в результа-

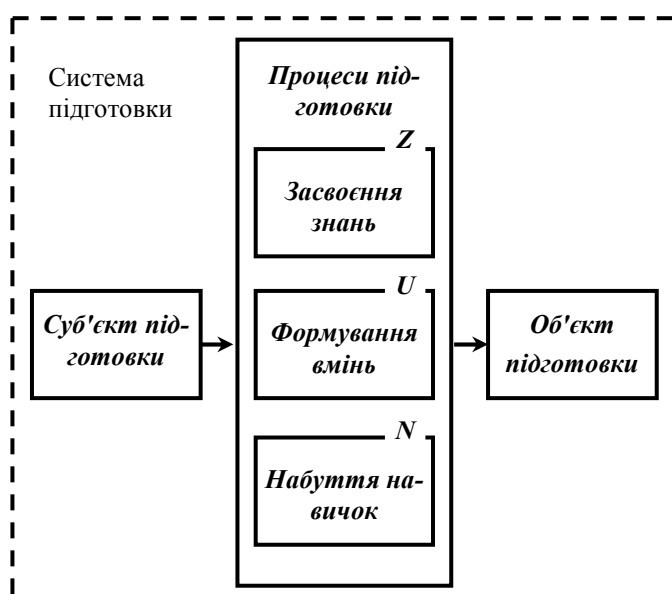


Рис. 2. Процеси підготовки фахівців

ті якого у останнього формуються певні знання, уміння та навички.

Можливості об'єкту навчання визначаються через знання, уміння та навички, необхідні для ефективного виконання професійних завдань. Аналіз представленої вище моделі дозволяє виділити наступні три категорії результатів процесу навчання і відповідних ним фактів.

1) Теоретичні знання – упорядкована сукупність відомостей, зазвичай фактичного або процедурного характеру, використання яких дозволяє адекватне виконання задач. Володіння знаннями не говорить про те, що вони будуть використані. До них відносяться знання, що отримані на теоретичних (лекційних та групових) заняттях, вони утворюють систему знань про призначення, характеристики, принципах функціонування предмету навчання, методології їх застосування та інше.

2) Практичні уміння – здібності, необхідні для виконання деякої функції при виконанні обов'язків. До них відносяться сформовані при практичній підготовці уміння виконувати задачі (наприклад, уміння програмувати, уміння застосовувати спеціальні програмні продукти, відпрацьовувати задачі управління виробництвом, планування ресурсів та інше). Дуже часто для проявлення умінь необхідно використання яких-небудь основних знань.

3) Практичні навички – це здатність легко і точно виконувати дій, необхідні для якісного виконання робіт. Необхідно вказувати деякий нормативний рівень, досягнення якого необхідно для ефективного виконання роботи. До цієї категорії відносяться сформовані при практичному та самостійному навчанні навички виконання завдань (наприклад, навички роботи з клавіатурою, навички монтажу технічних засобів, навички програмування та інше).

Запропонована до розгляду математична модель визначає основні складові процесу підготовки. В основі моделі лежать наступні принципи.

1. Результат процесу підготовки фахівця – рівень професійної кваліфікації, тобто рівень знань, умінь та навичок, відображено у вигляді вектора (Z, U, N) .

2. Інформація, що надається тим, хто навчається I , кількість знань Z , кількість умінь U та кількість навичок N можуть бути зображені в вигляді рівноправних слабо взаємодіючих відповідних елементів z, u та n , число яких пропорційно кількості I, Z, U, N . Такими елементами являються факти відповідних категорій, наведених вище.

3. Процес навчання є суперпозиція елементів підготовки, тобто засвоєння знань (формування умінь, набуття навичок) та забування. Швидкість зміни кількості знань того, хто навчається, дорівнює різниці швидкості засвоєння знань $\partial Z_+ / \partial t$ та швидкості забування $\partial Z_- / \partial t$:

$$\frac{\partial Z}{\partial t} = \frac{\partial Z_+}{\partial t} + \frac{\partial Z_-}{\partial t}. \quad (1)$$

Аналогічним чином для умінь та навичок:

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \frac{\partial U_+}{\partial t} + \frac{\partial U_-}{\partial t}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \frac{\partial N_+}{\partial t} + \frac{\partial N_-}{\partial t}. \quad (3)$$

4. В процесі навчання той, хто навчається отримує інформацію шляхом поступового вивчення елементів навчального матеріалу dI (засвоєння кожного елемента навчального матеріалу):

$$\begin{aligned} \partial Z_+ &= \partial I_Z, & \partial Z_+ / \partial t &= \partial I_Z / \partial t; \\ \partial U_+ &= \partial I_U, & \partial U_+ / \partial t &= \partial I_U / \partial t; \\ \partial N_+ &= \partial I_N, & \partial N_+ / \partial t &= \partial I_N / \partial t. \end{aligned} \quad (4)$$

5. Швидкість забування пропорційна кількості знань, умінь та навичок того, хто навчається:

$$\frac{\partial Z}{\partial t} = \gamma_Z Z, \quad \frac{\partial U}{\partial t} = \gamma_U U, \quad \frac{\partial N}{\partial t} = \gamma_N N \quad (5)$$

Розіб'ємо процес підготовки фахівця на інтервали тривалістю τ та будемо вважати, що всередині кожного такого інтервалу матеріал розподілений рівномірно, тобто швидкість надходження інформації до того, хто навчається, залишається постійною:

$$\begin{aligned} v_Z &= \partial I_Z / \partial t = \text{const}, \\ v_U &= \partial I_U / \partial t = \text{const}, \\ v_N &= \partial I_N / \partial t = \text{const}. \end{aligned}$$

Із (1) – (5) виходить: $\frac{\partial Z}{\partial t} = v_Z - \gamma_Z Z$, $\frac{\partial U}{\partial t} = v_U - \gamma_U U$, $\frac{\partial N}{\partial t} = v_N - \gamma_N N$. Вважаючи, що в момент початку відліку часу t_0 кількість знань того, хто навчається, $Z(t_0) = Z_0$ отримаємо інтеграл: $\int_{Z_0}^Z \frac{\partial Z}{Z - v_Z / \gamma_Z} = -\gamma_Z \int_{t_0}^t \partial t$.

Звідки виходить, що кількість знань того, хто навчається, в момент часу $t = t_0 + \tau$ дорівнює: $Z(t) = \frac{v_Z}{\gamma_Z} (1 - e^{-\gamma_Z(t-t_0)}) + Z_0 e^{-\gamma_Z(t-t_0)} = \frac{v_Z}{\gamma_Z} (1 - e^{-\gamma_Z \tau}) + Z_0 e^{-\gamma_Z \tau}$. Якщо на початку навчання той, хто навчається не має теоретичних знань ($Z_0 = 0$) кількість засвоєних знань за час $t = t_0 + \tau$ дорівнює $Z(t) = \frac{v_Z}{\gamma_Z} (1 - e^{-\gamma_Z \tau})$.

Якщо швидкість надходження інформації $v = 0$ (наприклад, після закінчення навчання), то кількість невтрачених знань за час τ дорівнює: $Z_0 e^{-\gamma_Z \tau}$.

Аналогічним чином для рівня умінь та навичок

$$\begin{aligned} \int_{U_0}^U \frac{\partial U}{U - v_U / \gamma_U} &= -\gamma_U \int_{t_0}^t \partial t, \\ \int_{N_0}^N \frac{\partial N}{N - v_N / \gamma_N} &= -\gamma_N \int_{t_0}^t \partial t. \end{aligned}$$

А рівень умінь та навичок того, хто навчається, в момент часу $t = t_0 + \tau$ дорівнюють:

$$\begin{aligned} U(t) &= \frac{v_U}{\gamma_U} (1 - e^{-\gamma_U(t-t_0)}) + U_0 e^{-\gamma_U(t-t_0)} = \frac{v_U}{\gamma_U} (1 - e^{-\gamma_U \tau}) + U_0 e^{-\gamma_U \tau}, \\ N(t) &= \frac{v_N}{\gamma_N} (1 - e^{-\gamma_N(t-t_0)}) + N_0 e^{-\gamma_N(t-t_0)} = \frac{v_N}{\gamma_N} (1 - e^{-\gamma_N \tau}) + N_0 e^{-\gamma_N \tau} \end{aligned}$$

Процес підготовки фахівця являється подрібненим на інтервали.

Оскільки кількість знань в кінці j -го інтервалу навчання (семестру) дорівнює сумі знань, засвоєних на попередніх інтервалах ($1, 2, \dots, i, \dots, j$ -ому семестрах), та частково забутих впродовж $(j-1), (j-2), \dots, (j-i), \dots, 0$ років відповідно, то маємо:

$$Z_j = \sum_{i=1}^j \Delta Z_i e^{-\gamma_Z(j-i)} = \sum_{i=1}^j \frac{v_{Zi}}{\gamma_Z} (1 - e^{-\gamma_Z \tau}) e^{-\gamma_Z(j-i)},$$

де $\Delta Z_i = (v_{Zi} / \gamma_Z) (1 - e^{-\gamma_Z \tau})$ – знання, засвоєнні на i -ому інтервалі підготовки.

Аналогічним чином для рівня умінь та навичок

$$U_j = \sum_{i=1}^j \Delta U_i e^{-\gamma_U(j-i)} = \sum_{i=1}^j \frac{v_{Ui}}{\gamma_U} (1 - e^{-\gamma_U \tau}) e^{-\gamma_U(j-i)}, \quad N_j = \sum_{i=1}^j \Delta N_i e^{-\gamma_N(j-i)} = \sum_{i=1}^j \frac{v_{Ni}}{\gamma_N} (1 - e^{-\gamma_N \tau}) e^{-\gamma_N(j-i)},$$

де $\Delta U_i = (v_{Ui} / \gamma_U) (1 - e^{-\gamma_U \tau})$ – уміння, сформовані на i -ому інтервалі підготовки,

$\Delta N_i = (v_{Ni} / \gamma_N) (1 - e^{-\gamma_N \tau})$ – навички, набуті на i -ому інтервалі підготовки.

Використання даної моделі для дослідження процесу формування системи знань до-

звояє враховувати залежність рівня професійної підготовленості фахівця від категорії фактів (знань, умінь, навичок). Використання коефіцієнтів забування фактів першої, другої та третьої категорій $\gamma_Z, \gamma_U, \gamma_N$, а також швидкості їх надходження v_{Zi}, v_{Ui}, v_{Ni} , де i – номер інтервалу навчання, дозволить ставити задачі раціонального планування системи підготовки.

Розрізняють два аспекти процесу засвоєння знань, формування вмінь та набуття навичок. Перший аспект – результативний – при навчанні система повинна досягнути необхідного результату – якості виконання завдань із задовільними затратами часу, енергії та ін. Другий аспект – процесуальний: адаптація системи до деякого виду дій в процесі навчання чи тренування. Відповідно, виділяють результативні характеристики навчання та характеристики адаптації. В роботі мова іде саме про результативні характеристики навчання.

В якості основної результативної характеристики навчання зазвичай приймається критерій рівня навчання. Також в якості показників рівня навченості можуть виступати наступні характеристики [4,5]:

- часові (час виконання дії, операції, час реакції, час, затрачений на виправлення помилки та ін.);
- швидкісні (продуктивність праці, швидкість реакції, руху та ін. – величини, обернені до часу);
- точностні (величина помилки в мірах фізичних величин, кількість помилок, ймовірність помилки, ймовірність точної реакції, дії та ін.);
- інформаційні (об'єм матеріалу, інформації).

Експериментальні дані свідчать, що важливішою загальною закономірністю ітеративного навчання являється уповільнено-асимптотичний характер кривих навчання: вони монотонні, швидкість зміни критерію рівня навченості з часом збільшується, а сама крива асимптотично наближається до деякої межі. В більшості випадків криві навчання апроксимуються експоненціальними кривими.

Важливу роль в процесах навчання грають процеси збереження інформації. Вони являються важливішими психічними процесами, що реалізують засвоєння знань, формування вмінь та набуття навичок. Важливим елементом пам'яті являється процес забування. Забування – процес, що характеризується поступовим зменшенням можливості згадування та відтворення інформації чи дій. Збереження в пам'яті і забування при усій їх протилежності – процеси в рівній мірі важливі для нормального функціонування системи підготовки.

На рис. 3 зображено загальний вигляд кривих навчання тобто залежності зміни знань, умінь та навичок у процесі навчання, що враховують процеси забування. Сімейство цих кривих має сенс назвати "криві рівня підготовки".

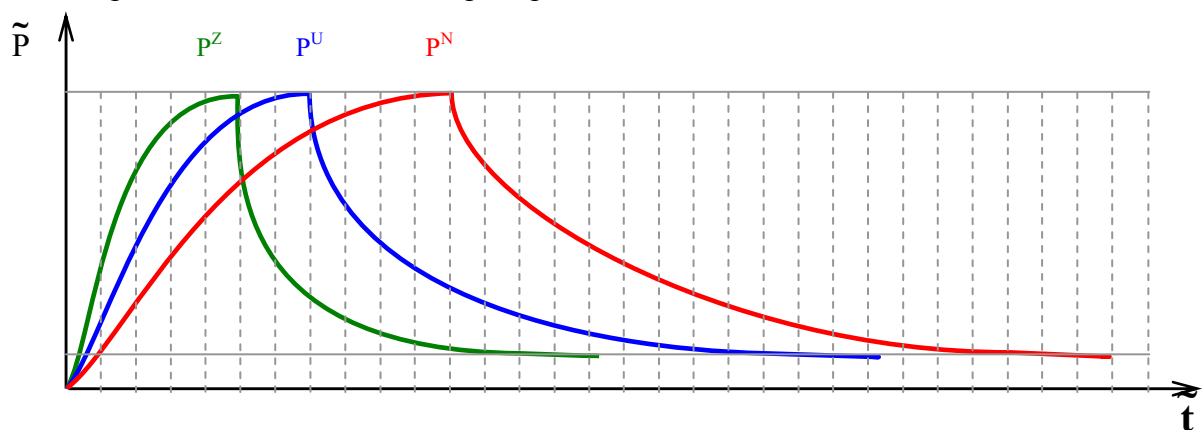


Рис. 3. Залежності рівня знань, умінь та навичок

Крім того, процеси підготовки змінюють свою швидкість при наявності повторювань (рис. 4).

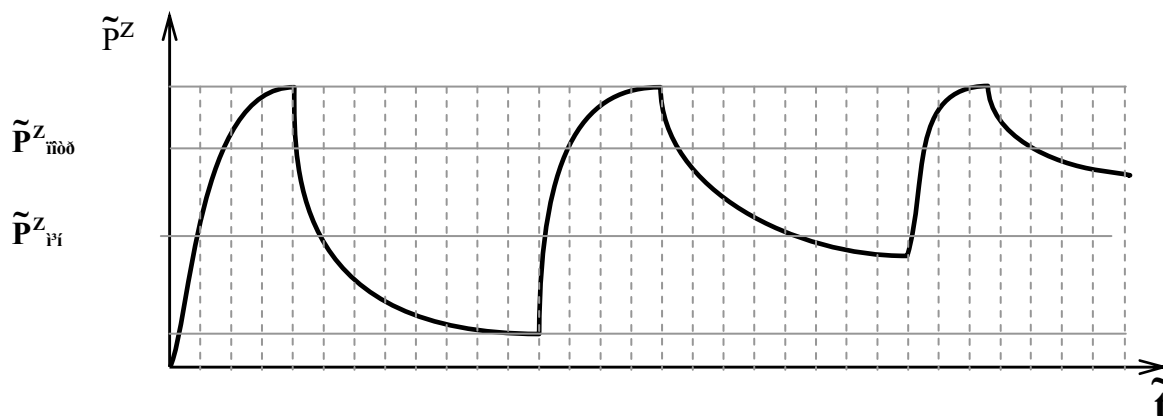


Рис. 4. Залежність рівня знань при повторюванні

Розрахунки $\tilde{P}$ і $\tilde{t}$ на рисунках представлено в нормованих одиницях. При проведенні розрахунків параметри, що входять до виразів, приведені до безрозмірних величин, а час представлено в нормованих одиницях. З рис. 3 і 4 видно, що швидкості отримання знань, формування умінь і набуття навичок та швидкості забування (зменшення) знань, втрата умінь і навичок різні. Можна припустити, що знання довше завоюються та швидше забуваються в силу свого теоретичного характеру. Практичні вміння, вочевидь, забуваються повільніше ніж знання, оскільки той, що навчається, часто стикається з ними, "повторюючи" їх у подальшому навчанні або роботі. Швидкість забування навичок, внаслідок створення у тих, хто навчається, деяких чуттєво-наочних образів, найменша. Забування залежить від об'єму матеріалу, а процент збереження вивченого матеріалу після певного відрізка часу знаходиться в обернено пропорційному відношенні до об'єму цього матеріалу.

Висновки

Врахування динаміки рівня знань, умінь та навичок об'єкту підготовки дає змогу вирішувати задачу моделювання взаємозв'язаних заходів системи підготовки на основі побудови функцій забування знань і втрати умінь та навичок, що дає основу планування системи підготовки для підвищення рівня знань залежно від кожної з цілей, що входять до переліку функціональних обов'язків. Крім того, це дає можливість його динамічного корегування за результатами аналізу результатів контролю навчання.

Список літератури

1. Растрингін Л.А., Зренштейн М.Х. Адаптивное обучение с моделью обучаемого. – Рига: Зинатне, 1988. – 160 с.
2. Буш Р., Мостеллер Ф. Стохастические модели обучаемости. - Г.: Физматгиз, 1962. – 484 с.
3. Майер Р.В. Информационные технологии и физическое образование. – Глазов: ГГПИ, 2006. – 64 с.
4. Новиков Д.А. Закономерности итеративного научения. – М.: Институт проблем управления РАН, 1998. – 96 с.
5. Ефективність впровадження CALS-технологій на машинобудівних підприємствах України / В.В. Ступницький // Вісн. Нац. ун-ту "Львів. політехніка". Оптимізація вироб. процесів і техн. контроль у машинобуд. та приладобудуванні. — 2009. — N 642. — С. 79-83. — Бібліогр.: 5 назв. — укр.

УДК 005.311.2:004.94

В.В. Трейтяк, аспірант

П.М. Павленко, д-р техн. наук

А.О. Хлевний, аспірант

Національний авіаційний університет, м.Київ, Україна

РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ АНАЛІЗУ ТА ОЦІНКИ ВИРОБНИЧОГО ЗАМОВЛЕННЯ

Розглянуто формалізований опис етапів автоматизованого аналізу та оцінки виробничого замовлення, використання яких забезпечує інформаційну підтримку процесів прийняття рішень по замовленню.

Постановка проблеми

Однією з основних задач ефективного функціонування машинобудівного підприємства є прийом виробничих замовлень та прийняття оптимального рішення відносно нього. Ефективність прийняття рішення по замовленню залежить від багатьох чинників. Це, насамперед, достовірність та оперативність проектних, виробничих та планових даних, які постійно змінюються. На жаль, на машинобудівних підприємствах України не вирішена проблема створення інтегрованого інформаційного середовища та забезпечення обміну даними між інтегрованими автоматизованими системами управління виробництвом ERP-системами та системами управління даними про виріб PDM-системи. Відсутня така інтеграція і на рівні автоматизації технічної підготовки виробництва засобами CAD/CAM- систем та САПР ТП [1].

Автоматизація задачі оцінки замовлення потребує інформації з різних структурних підрозділів підприємства або з впроваджених вище названих автоматизованих систем. Тобто, існує нагальна потреба в розробці інтегрованої підсистеми, універсальної до автоматизованих систем виробничого призначення, яка б могла оперативно і ефективно для даного конкретного підприємства забезпечувати оцінку отриманого замовлення.

Об'єднання даних про існуючу продукцію та ресурси підприємства і замовлення може значно скоротити терміни проектування виробу і технологічної підготовки його виробництва, а також своєчасно погоджувати із замовником технічні характеристики за рахунок оперативного доступу до інформації та прийняття оптимального рішення по замовленню.

Формулювання цілей статті

Тому є актуальною задача як формалізації проектних процедур оцінки замовлення, так і представлення отриманих результатів у вигляді методики автоматизованого аналізу та оцінки виробничого замовлення, яка і представлена в даній статті.

Виклад основного матеріалу дослідження

Дослідження процесу аналізу та оцінки виробничих замовлень на базових машинобудівних заводах показав, що в прийнятті рішень задіяні фахівці різних служб з використанням різнопланової інформації. Аналіз даних, формалізація та алгоритмізація процесів прийняття рішень дозволила розробити два взаємопов'язані методи, а саме метод оцінки виробничого замовлення та метод корегування параметрів технологічного процесу.

Подальша розробка проектних процедур реалізації методів та розробка відповідних прикладних програм, інтегрованих в інформаційне середовище автоматизованої системи технічної підготовки виробництва на базі PDM- системи ENOVIA SmarTeam V6, забезпечила вирішення вище описаної науково-технічної задачі.

Для подальшого використання методів та програмних засобів з аналізу та оцінки виробничих замовлень розроблена технологія інформаційної підтримки процесів прийняття рішень по замовленню.

В загальному вигляді дана технологія представлена як послідовність кроків по визначенню спроможності та економічного ефекту виробництва продукції по замовленню. Розглянемо детально кожен з цих кроків.

Етап 1. Після надходження формалізованого замовлення (згідно вимог підприємства) проводиться первинна оцінка замовляемого виробу [2]. В ході оцінки фахівці служби маркетингу або іншого підрозділу підприємства дають оцінку можливості виготовлення виробу, виходячи з таких загальних характеристик як габарити виробу, вимоги до його якості (точність, жорсткість та ін.), матеріал та ін.

Етап 2. Отримавши позитивне рішення, фахівець передає вхідні дані замовлення для подальшої обробки в інтегровану підсистему «Замовлення».

Підсистема включає набір прикладних програм аналізу вхідної інформації замовлення, аналізу і обробки існуючих баз даних та реалізації розроблених методів, а саме:

1. ANALOG – проводить пошук технологічного процесу (ТП)-аналога;
2. MARSH – встановлює технологічні операції та їх послідовність;
3. RESUR – визначає необхідні ресурси;
4. VARIAN – встановлює варіанти технологічного обладнання;
5. FINAN – розраховує фінансові показники від виготовлення виробів по замовленню;
6. RISHEN – вибудовує рейтинг замовлень.

Програмні модулі підсистеми «Замовлення» реалізовані на мові програмування високого рівня Visual Basic в середовищі Borland Delphi 7.0. Використана система управління базами даних Oracle. Використані модулі створення та редагування структур баз даних (Smart Wizard) та екранних форм (Form Designer), які дозволяють проводити гнучке налагодження підсистеми «Замовлення» без використання програмування. Використана також бібліотека функцій доступу до баз даних за допомогою API-інтерфейсів, завдяки якій створені нові інструментальні засоби користувача для обробки інформації в середовищі розробленої підсистеми.

В ході 2-го етапу проводиться пошук аналогів виробу-замовлення та існуючих відповідних ТП їх виготовлення (рис. 1).

При наявності ТП проводиться аналіз існуючого виробничого обладнання та інших ресурсів. При відсутності ТП-аналога або типового чи групового ТП розробляється можливий маршрутний ТП, в якому узагальнено формулюються кількість та послідовність операцій виготовлення виробу.

При цьому використовується програмний модуль «MARSH».

Етап 3. Маючи структуру даних по технологічному процесу виготовлення виробу, визначаємо вільну виробничу потужність обладнання з урахуванням параметрів виробу і обладнання, технологічної оснастки та режимного фонду. Цей етап є трудомістким і потребує інформаційної підтримки баз даних (БД) обладнання та оснастки [3].

Також на цьому етапі використовується конструкторсько-технологічна документація щодо типорозмірів та фізико-механічних характеристик виробів.

Враховуючи вищенаведене, підсистема розраховує кількість виробів (N), яку можна виготовити на даному обладнанні, за формулою:

$$N_i = \frac{Rf_i - Tz_i}{Pt_i},$$

де Rf – режимний фонд часу;

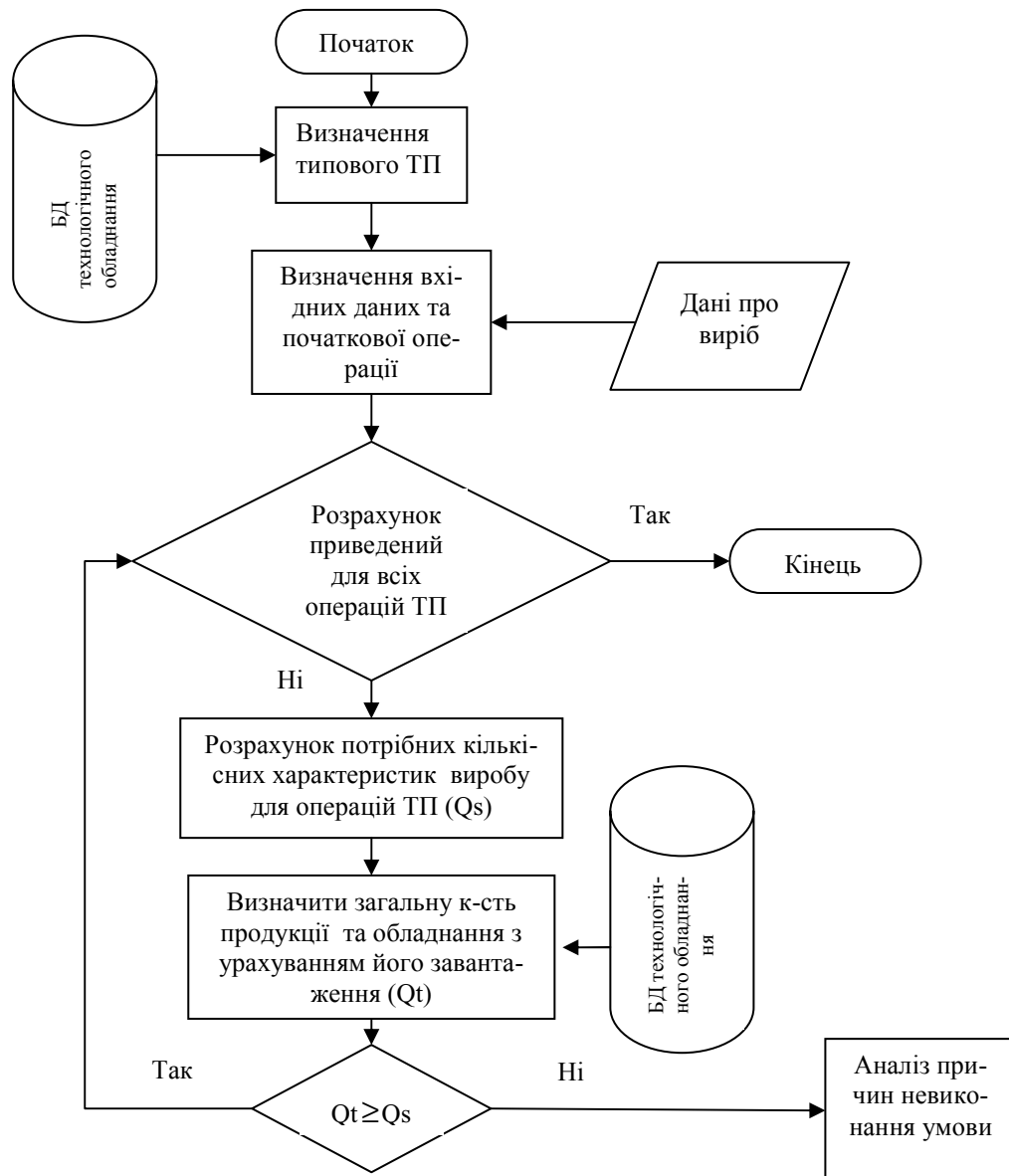


Рис. 1. Алгоритм розробки структури ТП та визначення вільної виробничої потужності

T_z – завантаження обладнання (час, необхідний для виготовлення продукції, включеної до плану виробництва на заданий період);

P_t – норма часу.

Для оцінки спроможності випуску заданої кількості виробів по замовленню підсистема встановлює кількість незавершеної продукції на кожній операції ТП за формулою:

$$N_p = \{np_1, np_2, \dots, np_o\},$$

де np_o – розрахункова кількість незавершеної виробництвом продукції на кожній технологічній операції;

o – кількість технологічних операцій.

Таким чином, технічна спроможність (TP) виготовлення даної кількості виробів на наявних виробничих площах визначається за формулою:

$$TP = (n_1 \geq np_1) \cup (n_2 \geq np_2) \cup \dots \cup (n_k \geq np_k)$$

Етап 4. Маючи інформацію про спроможність виготовлення виробів існуючими на підприємстві ресурсами, вибираємо варіанти обладнання та технологічну оснастку,

враховуючи конструкторсько-технологічну документацію щодо виробів по замовленню. У разі неспроможності виконання замовлення, технологіями підприємства проводиться аналіз можливих причин (відсутність обладнання з заданими характеристиками, завантаженість обладнання, недостатній режимний фонд часу та ін.) та можливі шляхи вирішення. Інформаційна підтримка БД обладнання та оснастки є першочерговою умовою для даного етапу [4].

Етап 5. Встановивши на попередньому етапі виробничі ресурси, необхідні для виконання виробничого замовлення, визначаємо варіанти технологічного обладнання d . Під час їх вибору використовуємо адитивний критерій [5], який містить:

- а) оцінку перемінних витрат d -го варіанту обладнання ($fz(d)$);
- б) експертну оцінку рівня складності наладки d -го варіанту технологічного обладнання ($fe(d)$);
- в) оцінку вартості технологічної оснастки d -го варіанту обладнання ($fc(d)$);
- г) оцінку вільної виробничої потужності d -го варіанту обладнання ($ft(d)$);
- д) оцінку продуктивності d -го варіанту обладнання ($fx(d)$).

Для кожного варіанту технологічного обладнання, що відповідає обмеженням, підсистема розраховує цільову функцію та кількість виробів, яку можна виготовити на даному обладнанні при існуючих умовах завантаження та змінності по формулі:

$$Fc(d) = (k_1 \cdot fz(d) + k_2 \cdot fe(d) + k_3 \cdot fc(d)) + k_4 \cdot ft(d) + k_5 \cdot fx(d),$$

де d – варіанти обладнання;

k_{1-5} – вагові коефіцієнти, які відображають значимість критеріїв.

Етап 6. Визначивши варіанти технологічного обладнання, оснастки та складність наладки верстатів, встановлюємо перемінні витрати, які в подальшому формуватимуть дані для розрахунку за методом маржинального доходу [6,7].

Метою розрахунків за методом маржинального доходу є визначення можливих фінансових результатів від виконання замовлення, яке полягає в оцінці величини прибутків (збитків) від реалізації продукції. Кожний виріб (P) характеризується перемінними витратами (PC), ціною (S) та об'ємом продажу (Q).

Маржинальний дохід (A) конкретного виду продукції визначається за формулою:

$$A = \sum_{j=1}^n (S_j - PC_j) \cdot Q_j,$$

де n – кількість j -тих контрактів на даний вид продукції.

Відносний маржинальний дохід (Av) показує долю маржинального доходу у вартості продукції

$$Av = \frac{\sum_{j=1}^n (S_j - PC_j) \cdot Q_j}{\sum_{j=1}^n S_j \cdot Q_j}$$

Залежно від величини відносного маржинального доходу підсистема виконує формування рейтингу виробів.

Етап 7. Провівши аналіз та оцінку замовлення, підсистема забезпечує фахівців підприємства необхідною інформаційною підтримкою для прийняття оптимального для даного підприємства рішення по конкретному виробничому замовленню. Ця інформація включає в себе:

1. Відповідь на питання, чи можливо виготовити дану кількість виробів по замовленню при існуючих на підприємстві ресурсах з урахуванням завантаження обладнання та режимного фонду часу.

2. У випадку неспроможності випуску виробів по замовленню встановлює причини та можливі шляхи вирішення.

3. Економічні показники від виконання замовлення.

Виконання кожного з етапів вимагає відповідної підготовки та чіткої координації дій спеціалістів та фахівців підприємства.

Трьохрівнева архітектура реалізації розробленої інформаційної технології (рис. 2) передбачає, окрім сервера БД, також виділення сервера додатків, який акумулює в собі основну частину бізнес-логіки системи.

В залежності від запропонованої сервером додатків функціональності виконання бізнес-логіки може бути розділене між сервером додатків та функціонально навантаженим клієнтським програмним забезпеченням, яке здійснює доступ до ресурсів системи (в тому числі бізнес-логіки) за допомогою інтернет- чи інтранет мереж.

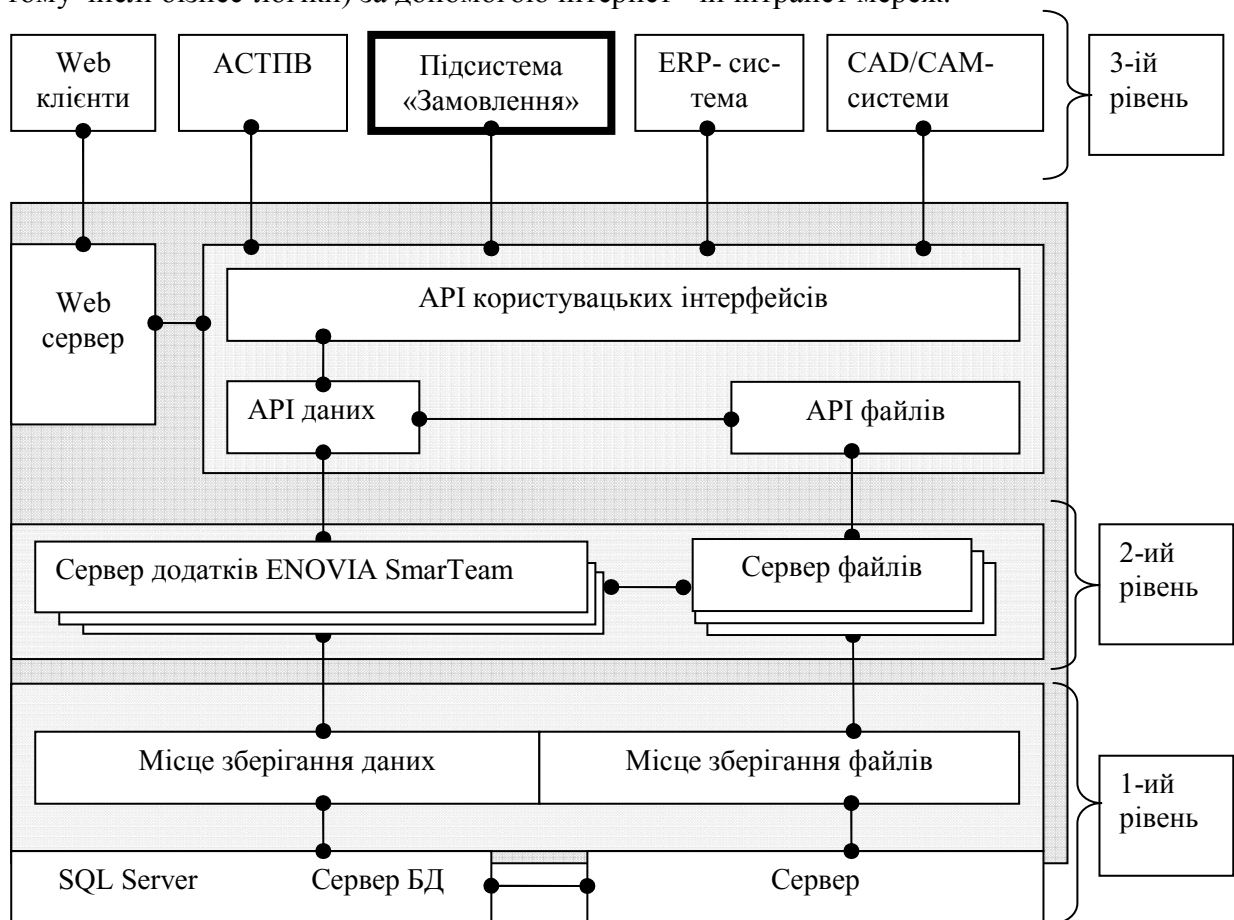


Рис. 2. Трьохрівнева архітектура реалізації розробленої інформаційної технології на промисловому підприємстві

Сама трьохрівнева архітектура реалізації розробленої інформаційної технології не обмежує підприємство у виборі конкретного рішення для організації роботи сервера додатків.

Розроблена інформаційна технологія впроваджена та пройшла апробацію на таких машинобудівних підприємствах України, як ВАТ «Сумське машинобудівне науково виробниче об'єднання ім. М.В. Фрунзе» (м. Суми), ВАТ «Мотор Січ» (м. Запоріжжя) та ТОВ «Український кардан» (м. Чернігів).

Після впровадження розробленої підсистеми «Замовлення» інформаційної підтримки процесу прийняття рішення по виробничому замовленню на підприємствах відбули-

ся зміни в інформаційних процесах підтримки етапів життєвого циклу виробів (ЖЦВ). На рисунку 3 приведено схему ЖЦВ після впровадження підсистеми. Спочатку на основі типового ТП створюється індивідуальний ТП, відбувається його параметричне налагодження, оцінюється наявність технічної спроможності щодо конкретних видів обладнання на кожній операції ТП.

Виконання даних функцій забезпечує також автоматизована система технологічної підготовки виробництва і в результаті її експлуатації створюється ТП для конкретного типорозміру з переліком ресурсів кожної операції ТП. У випадку відсутності технічної спроможності технолог отримує необхідну інформацію для прийняття наступних рішень.

1. Відмова від розміщення замовлення.
2. Необхідність виконання проектних робіт відносно ТП для іншої продукції з метою зниження завантаження потрібного обладнання.
3. Необхідність проведення організаційних заходів.

В результаті параметричного корегування ТП та точного визначення ресурсів технологічних операцій перед початком проектування самого виробу виникає можливість паралельного проектування виробу та оснастки. А оскільки проектування технологічної оснастки складає основну частину робочого часу конструкторів, то дана можливість дозволяє скоротити строки розробки конструкторської документації.

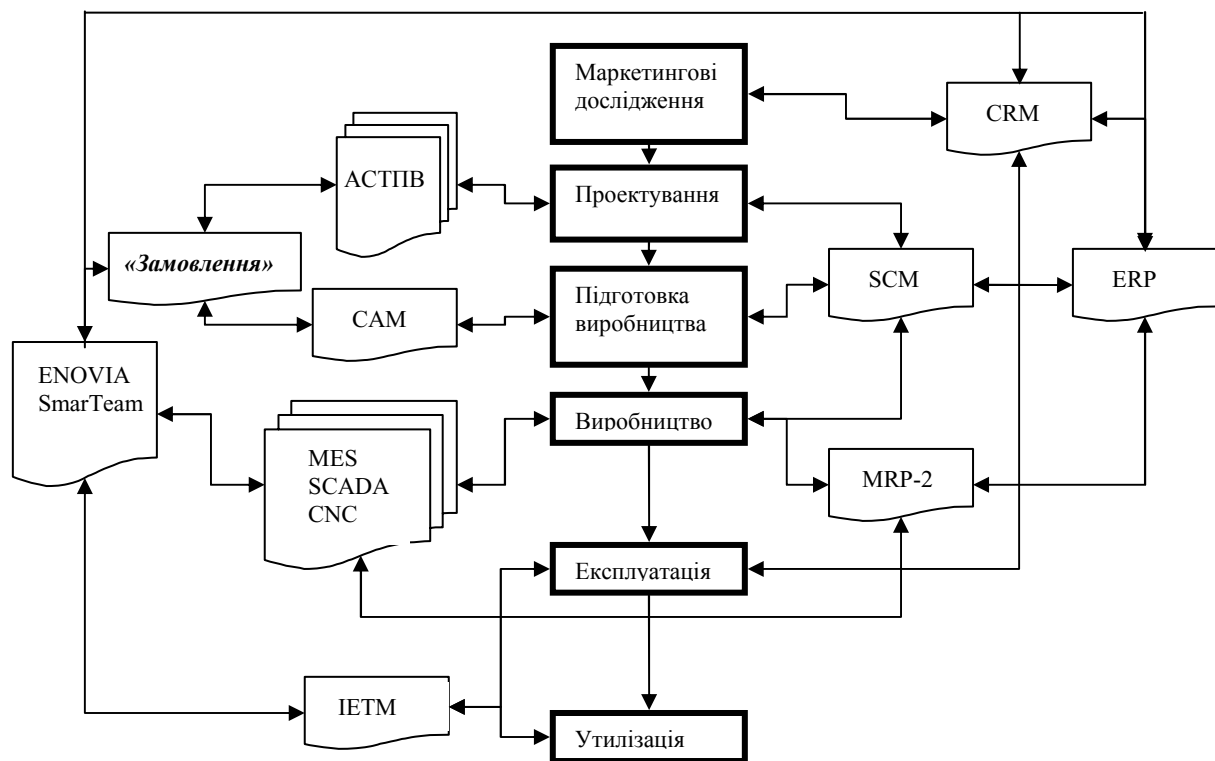


Рис. 3. Схема ЖЦВ після впровадження підсистеми інформаційної підтримки прийняття рішення по виробничому замовленню

Ці зміни дозволили підвищити ефективність використання робочого часу висококваліфікованих спеціалістів технічного відділу за рахунок реорганізації переліку проектних робіт згідно наявності технічної спроможності та економічних показників. Отже, досягається скорочення строків технологічної підготовки виробництва, знижується завантаження диспетчерів планово-диспетчерського відділу та цехових спеціалістів.

Висновки

Використання технології інформаційної підтримки прийняття рішень по замовленню та відповідних програмних засобів передбачає обмін та доступ до даних про виробу, процеси та ресурси, що забезпечує скорочення строків узгодження із замовником контрактних зобов'язань. Використання приведеної технології дозволяє достовірно в стислі терміни відповісти на питання: чи можливо виготовити вироби згідно вимог замовника та який економічний ефект це буде мати?

Список літературних джерел

1. Информационные технологии и управление предприятием / В.В. Баронов, Г.Н. Каллянов, Ю.И. Попов, И.Н. Титовский. – М.: ДМК, 2004. – 328 с.
2. Капустин Н.М. Автоматизация производственных процессов в машиностроении. – М.: Высшая школа, 2004. – 415 с.
3. Павленко П.М. Автоматизовані системи технологічної підготовки розширених виробництв. Методи побудови та управління: Монографія. – К.: Книжкове вид-во НАУ, 2005. – 280 с.
4. Управление жизненным циклом продукции / А. Ф. Колчин, М. В. Овсянников, А. Ф. Стрекалов, С. В. Сумароков; Под ред. А. Пальчикова. – М.: Анахарсис, 2002. – 304 с.
5. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования: Учебник для вузов. 2-М.: Издательство МГТУ им. Баумана, 2002. - 366с.
6. Савицкая Г.В. Анализ хозяйственной деятельности предприятия: Учеб. пособие / Г.В.Савицкая. - Мн.: Новое знание, 2002.- 704 с
7. Тафинцева В.Н. Маржинальный доход, как инструмент оценки финансовых результатов//Финансовый менеджмент. — 2001. - №3. - С. 15-27.

УДК 004.9, 004.02

Вервейко О.І., канд. техн. наук,**Нікітенко Є.В.**, канд. фіз.-мат. наук,**Стрелок Д.В.**, магістрант

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ БЕЗДРОТОВИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ

Досліджено принципи побудови та складові бездротових систем моніторингу. Запропоновано систему проектування таких систем. Описані основні принципи роботи системи, архітектура та алгоритми, що використовує система. Запропонований алгоритм автоматизованого проектування бездротової мережі системи моніторингу.

Постановка проблеми

В наш час з'являється новий перспективний напрямок в системах моніторингу (СМ), пов'язаний із застосуванням бездротових сенсорних мереж (БСМ). БСМ має здатність до ретрансляції сигналів від одного вузла до іншого, що дозволяє у разі виходу з ладу одного з вузлів організувати передачу інформації через сусідні елементи. Сама мережа визначає оптимальний маршрут руху інформаційних потоків. Ці особливості дозволяють використовувати сенсорні мережі для моніторингу навколишнього середовища.

Системи моніторингу, які побудовані на основі сенсорних мереж, мають наступні переваги:

- а) можливість розміщення вимірювальних приладів у важкодоступних місцях;
- б) надійність системи в цілому – у разі виходу з ладу одного вузла мережі інформація переноситься через сусідні елементи;
- в) можливість додавання або видалення будь-якої кількості пристроїв з мережі;
- г) високий рівень проникнення крізь перешкоди (стіни, стелі) і стійкість до електромагнітних перешкод (завдяки високій частоті роботи системи — 2,4 ГГц);
- д) тривалий час роботи без заміни елементів живлення.

У зв'язку з достатньо широким розповсюдженням бездротових систем моніторингу на основі сенсорних мереж ZigBee і відсутністю систем їх автоматизованого проектування, актуальною задачею є розробка такої системи. В рамках розробки даної системи необхідно також вирішити задачу автоматизованого планування бездротової мережі, яка зводиться до раціонального розташування ретрансляторів мережі для проходження сигналу від кінцевих пристроїв до координатора мережі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Основною областю використання технології сенсорних мереж є контроль та моніторинг змінних параметрів різноманітних об'єктів та фізичних середовищ. Працююча сенсорна мережа може бути доопрацьована будь-якими видами датчиків і обслуговувати різні прикладні системи: охоронні комплекси, пожежні сигналізації, системи знаходження місць витоку води чи газу.

На сьогоднішній день Інститутом точної механіки і обчислювальної техніки ім. С.А.Лебедева Російської академії наук розроблені ефективні системи для моніторингу навколишнього або виробничого середовища і контролю за станом різних видів обладнання на основі бездротових сенсорних мереж стандарту ZigBee [1].

Проектування системи моніторингу вимагає автоматизованого планування топологічної структури БСМ. Відомі сьогодні підходи до проектування топологічної структури бездротових сенсорних мереж із використанням математичного моделювання базуються на використанні апарату комбінаторного аналізу та обтяжені

значними тратами ресурсів, які збільшуються за експонентою при зростанні числа вузлів БСМ [2, 3]. Це ускладнює використання таких методів для проектування мереж великої розмірності.

Постановка завдання

Метою роботи є створення системи автоматизованого проектування систем моніторингу на основі бездротових сенсорних мереж, яка б дозволяла виконувати автоматизоване планування сенсорної мережі, а також перевірку правильності побудови системи моніторингу.

Автоматизоване планування бездротової мережі вимагає застосування алгоритму раціонального розподілення ретрансляторів мережі при відомих координатах розміщення кінцевих пристроїв і координатора мережі.

Архітектура запропонованої системи

Головними складовими архітектури даної системи є дві підсистеми, які здатні функціонувати незалежно одна від одної: підсистема планування роботи СМ та підсистема моделювання роботи СМ. Взаємодію між ними забезпечує підсистема координації. Головним об'єктом цієї підсистеми є диспетчер, який призначений для контролю над усіма функціями даної системи.

Серед службових файлів конфігурації системи можна виділити службові конфігураційні файли, що необхідні для взаємодії складових розроблюваної системи між собою, а також файли конфігурації, специфічні для кожної підсистеми.

В службовому файлі конфігурації системи буде зберігатися інформація про усі підсистеми системи проектування бездротових систем моніторингу, а також про місце розташування службових файлів кожної підсистеми.

Підсистема планування системи моніторингу може зберігати конфігурації спланованих IP-мережі і ZigBee-мережі, а також відтворювати ці мережі за їх конфігураційними файлами.

Підсистема моделювання роботи системи моніторингу інформацію про всі події в системі моніторингу повинна заносити до відповідних вихідних файлів.

Архітектура системи проектування бездротових систем моніторингу представлена на рисунку 1.

Кожна підсистема реалізована у вигляді модулів, що підключаються до основної програми.

Бездротова система моніторингу об'єднує БСМ і дротову локальну мережу, тому в рамках даної системи доцільно розробити модулі планування бездротової сенсорної мережі та IP-мережі. Модуль планування IP-мережі відповідальний за присвоєння адрес вузлам IP-мережі і передачу даних між вузлами IP-мережі.

БСМ є самоорганізуючими мережами, що значно полегшує інсталяцію системи, оскільки вузли мережі здатні самостійно визначати і корегувати маршрути доставки даних.

Однак БСМ вимагають планування розміщення пристроїв різного типу на етапі проектування системи. В БСМ, що використовуються для моніторингу та управління, більшість вузлів – це кінцеві пристрої, які не здатні до ретрансляції повідомлень, тому в радіусі дії кожного кінцевого пристрою повинен бути хоча б один ретранслятор або координатор БСМ. Модуль планування роботи СМ буде виконувати функції автоматизованого планування БСМ (раціональне розміщення ретрансляторів мережі при відомих координатах кінцевих пристроїв та координатора мережі).

В процесі планування системи моніторингу користувач може припуститися ряду помилок, які мають бути помічені і виправлені. Тому після закінчення планування дротової мережі і БСМ необхідно проводити їх верифікацію. Верифікація призначена

для перевірки мережі на присутність грубих помилок. Для IP-мереж такими помилками можуть бути, наприклад, неспівпадіння маски мережі для різних вузлів або помилки в адресах різних вузлів мережі. Для БСМ помилками вважаються неоптимальні варіанти розміщення вузлів мережі.

Модуль верифікації мереж СМ повинен перевіряти мережі на грубі помилки проектування, тому що правильність роботи мереж системи моніторингу можна визначити лише після моделювання роботи системи.

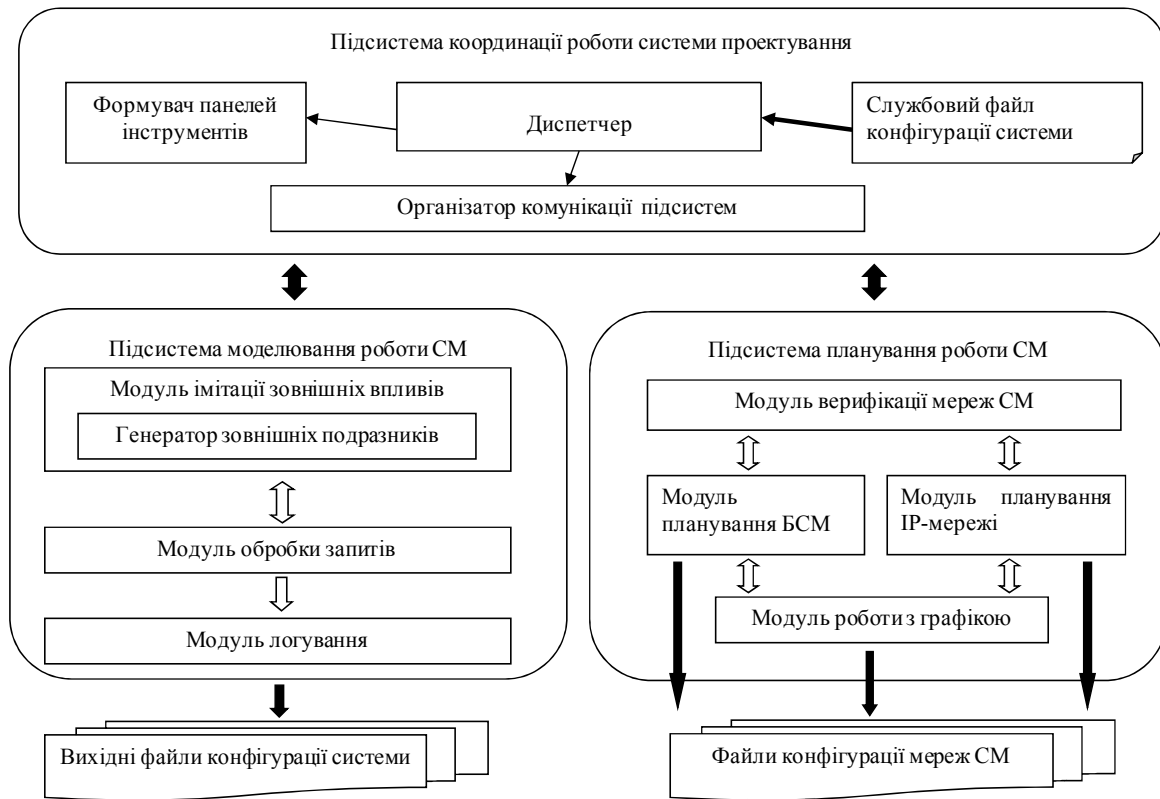


Рис. 1. Архітектура системи автоматизованого проектування бездротових систем моніторингу

Модуль обробки запитів служить для моделювання передачі даних по БСМ. Моделювання роботи кожного вузла мережі буде відбуватися за допомогою підходу агентного моделювання, при якому робота системи моделюється на рівні вузлів.

Для того, щоб змодельовати роботу системи моніторингу, недостатньо описати лише поведінку вузлів системи. Перш за все, треба змодельовати запити, яким будуть піддаватися кінцеві пристрої ZigBee мережі. В якості запитів для кінцевих пристроїв ZigBee мережі служать спрацювання датчиків системи моніторингу. Імітацією таких запитів буде займатися модуль імітації зовнішніх впливів. Основним об'єктом цього модуля є генератор зовнішніх подразників, який має в своєму складі генератор випадкових чисел.

Алгоритм раціонального планування бездротової сенсорної мережі

Актуальною задачею в процесі побудови системи автоматизованого проектування систем моніторингу є задача автоматизованого планування бездротової сенсорної мережі ZigBee.

Як відомо, вузол в мережі ZigBee може виконувати одну з трьох ролей: кінцевого пристрою, ретранслятора або координатора.

Кінцеві пристрої (КП) – це пристрої з обмеженою функціональністю, які забезпечують мінімальний набір функцій і здатні до обміну інформацією з ретранслятором чи координатором мережі.

Ретранслятор мережі – це пристрій з повною функціональністю, що визначена в документі IEEE 802.15.4. Він може виконувати функції мосту, маршрутизатора або шлюзу для взаємодії з іншими мережами.

Координатор мережі повинен містити всю інформацію стосовно мережних з'єднань, мати великий об'єм пам'яті та високу продуктивність. Зазвичай такий пристрій у складі сенсорної мережі лише один (хоча може бути і більше). Саме з координатора дані про стан мережі потрапляють через відповідні шлюзи до робочих станцій пунктів нагляду системи моніторингу.

Розташування кінцевих пристроїв, як правило, визначається розташуванням датчиків різних параметрів, а розташування координатора – місцем його з'єднання з пристроєм, що забезпечує передачу інформації до пункту нагляду. Тому задача автоматизації планування сенсорної мережі ZigBee зводиться до задачі оптимального розміщення ретрансляторів мережі таким чином, щоб забезпечити передачу інформації від кінцевих пристроїв до координатора.

Умови задачі оптимального розміщення ретрансляторів мережі подібні до умов транспортної задачі. За критерій оптимальності взято мінімальну кількість ретрансляторів, що здатні забезпечити передачу даних від кінцевих пристроїв до координатора БСМ. Для вирішення подібних задач зазвичай використовується підхід динамічного програмування [4, 5], оскільки він має ітеративний характер та дозволяє розбивати задачу на підзадачі меншого розміру, рішення яких можна використати для рішення основної задачі.

На тривимірній системі координат (рисунок 2) зображені множина КП $A = \{a_1, \dots, a_m\}$ і множина кінцевих точок системи $B = \{b_1, \dots, b_n\}$, що на початку вирішення задачі дорівнює множині координаторів мережі $K = \{k_1, \dots, k_u\}$ (для початку $n = 1$). Відстань між точками $a_i(x_i, y_i, z_i)$ і $b_j(x_j, y_j, z_j)$ дорівнює:

$$c_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2} \quad (1)$$

Множина таких відстаней $C = \{c_{11}, \dots, c_{m1}, \dots, c_{1n}, \dots, c_{mn}\}$.

Відстань між вузлами не повинна перевищувати максимальну дальність передачі даних. Для простоти будемо вважати, що максимальна дальність передачі між будь-якими вузлами мережі однакова і дорівнює $c_{\max}$.

Отже, треба визначити множину ретрансляторів $R = \{r_1, \dots, r_p\}$, таких, що для точки $a_i \in A$, існувала б точка $b_j \in B$, а також множина точок $F = \{f_1, \dots, f_q\}$ і відстань між сусідніми з них $c_{l,l+1} < c_{\max}, l \in (1 \dots q)$, де $c_{\max}$ – максимальна відстань між вузлами мережі.

Для того, щоб оптимально розмістити ретранслятори, треба визначити сукупності кінцевих пристроїв L із множини A ($L \subset A$), які розташовані досить близько один до одного так, що для передачі інформації до координатора мережі достатньо одного ретранслятора, який буде приймати сигнали від цих точок.

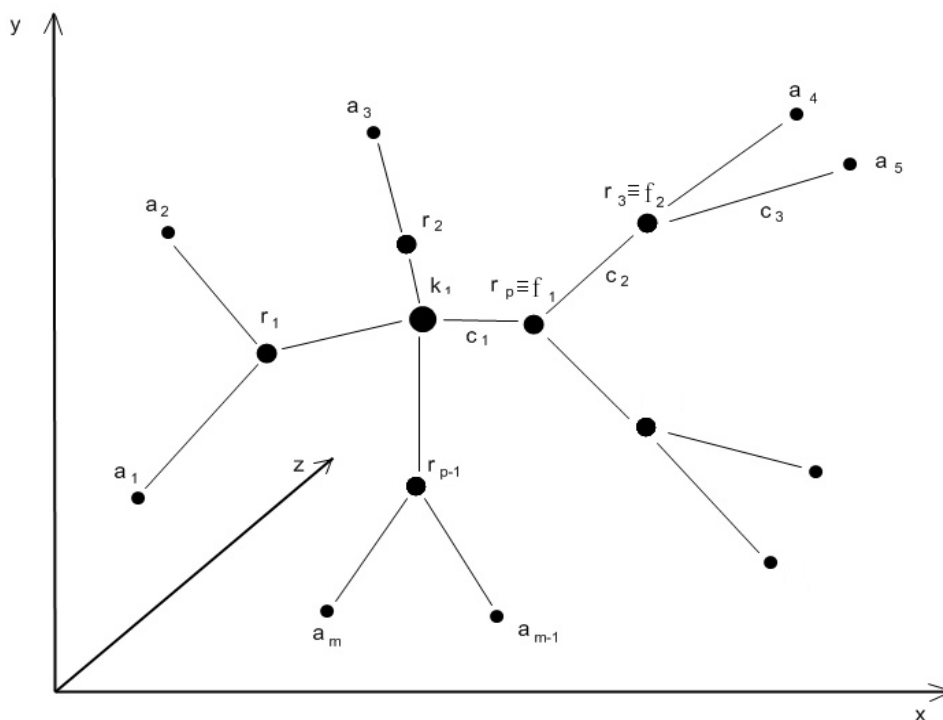


Рис. 2. Модель кінцевої топології сенсорної мережі

Визначити сукупності L можна різними методами. У множині A треба виділити підмножини L і для кожної з них знайти оптимальну позицію для ретранслятора $r \in N \subset R$, де N – множина ретрансляторів, що з'явилися на певній ітерації. Сукупність точок L можна розглядати як вміст прямокутного паралелепіпеда у тривимірному просторі (рисунок 3).

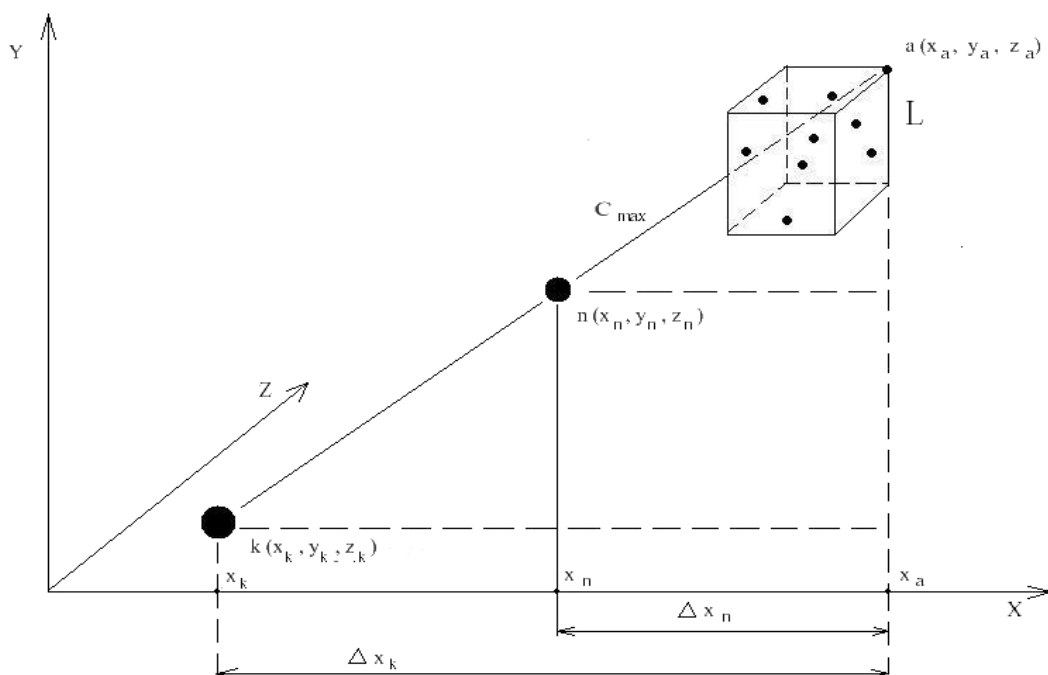


Рис. 3. Визначення позиції ретранслятора

Для визначення позиції ретранслятора обчислимо спочатку координати кута куба, що знаходиться якнайдалі від координатора мережі. Формула для обчислення

$$x(L) = \begin{cases} x_{L\min}, \forall x_L < x_K, \\ x_{L\max}, \forall x_L > x_K, \\ 0, \exists x_L < x_K < \exists x_L \end{cases} \quad (2)$$

де $x(L)$ – координата x дальнього кута паралелепіпеда, $x_{L\min}$ – мінімальна координата x серед усіх елементів множини L , $x_{L\max}$ – максимальна координата x серед усіх елементів множини L , x_K – координата x координатора мережі.

Аналогічні формули можна записати для координат y та z .

Для обчислення координат ретранслятора n треба спочатку розкласти відрізок, що сполучає точки на проекції $\Delta x_n, \Delta y_n, \Delta z_n$ по координатним осям x, y, z . Відрізок, який сполучає точки k і a , також можна розкласти на проекції $\Delta x_k, \Delta y_k, \Delta z_k$. Як видно з подібності трикутників на рисунку 3, можна записати наступні рівняння:

$$\frac{\Delta y_k}{\Delta x_k} = \frac{\Delta y_n}{\Delta x_n} = t_{yx} \quad (3)$$

$$\frac{\Delta z_k}{\Delta x_k} = \frac{\Delta z_n}{\Delta x_n} = t_{zx} \quad (4)$$

$$\frac{\Delta x_k}{\Delta y_k} = \frac{\Delta x_n}{\Delta y_n} = t_{xy} \quad (5)$$

$$\frac{\Delta x_k}{\Delta z_k} = \frac{\Delta x_n}{\Delta z_n} = t_{xz} \quad (6)$$

$$\frac{\Delta z_k}{\Delta y_k} = \frac{\Delta z_n}{\Delta y_n} = t_{zy} \quad (7)$$

$$\frac{\Delta y_k}{\Delta z_k} = \frac{\Delta y_n}{\Delta z_n} = t_{yz} \quad (8)$$

Таким чином, величина проекцій $\Delta x_n, \Delta y_n, \Delta z_n$ обчислюється за наступними формулами:

$$\Delta x_n = \frac{\sqrt{t_{yx}^2 + t_{zx}^2 + 1}}{c_{\max}} \quad (9)$$

$$\Delta y_n = \frac{\sqrt{t_{xy}^2 + t_{zy}^2 + 1}}{c_{\max}} \quad (10)$$

$$\Delta z_n = \frac{\sqrt{t_{zx}^2 + t_{zy}^2 + 1}}{c_{\max}} \quad (11)$$

Знаючи величини $\Delta x_n, \Delta y_n, \Delta z_n$, можна визначити координати ретранслятора n за формулами:

$$x_r = \begin{cases} x(L) + \Delta x_n, x(L) < x_K, \\ x(L) - \Delta x_n, x(L) > x_K; \end{cases} \quad (12)$$

$$y_r = \begin{cases} y(L) + \Delta y_n, y(L) < y_K, \\ y(L) - \Delta y_n, y(L) > y_K; \end{cases} \quad (13)$$

$$z_r = \begin{cases} z(L) + \Delta z_n, z(L) < z_K, \\ z(L) - \Delta z_n, z(L) > z_K; \end{cases} \quad (14)$$

Аналогічні формули можна застосувати для обчислення координат y та z ретранслятора.

Після обчислення позицій ретрансляторів їх треба зарахувати до множини R .

У наступній ітерації у якості множини A буде розглядатися множина, до якої входять усі елементи множини N , окрім елементів $n \in N_h$, таких, для яких виконується $\exists c_n < c_{\max}$, де c_n – відстань між ретранслятором і координатором мережі. Такі елементи заносяться до множини B . Робота алгоритму буде припинена, якщо на певній ітерації буде виконуватися вимога $\forall c_n < c_{\max}$.

Висновки

На основі аналізу існуючих технологій проектування сенсорних і комп'ютерних мереж сформульовані вимоги і запропонована архітектура системи автоматизованого проектування бездротових систем моніторингу. Ця система дає наступні переваги:

- можливість проектування систем для моніторингу середовища та параметрів різних об'єктів;
- автоматизація планування топології за рахунок запропонованого раціонального алгоритму планування бездротової мережі;
- можливість перевірки результатів проектування системи моніторингу за рахунок верифікації та моделювання роботи системи.

Для автоматизованого проектування БСМ розроблений алгоритм, що дозволяє раціонально розподілити ретранслятори при відомих позиціях кінцевих пристроїв та координатора мережі.

Використання даної системи інженерами різних напрямків під час проектування систем моніторингу навколишнього середовища, систем охоронної і пожежної сигналізації, систем обліку небезпечних показників на виробництві і т. д. дозволить скоротити трати часу і ресурсів на розробку за рахунок використання автоматизації.

Список літературних джерел

1. Интеллектуальные системы на базе сенсорных сетей// Институт точной механики и вычислительной техники им. С.А. Лебедева РАН, 2009. – 10 с.
2. Акимов Е.В. Сравнение топологий беспроводных сенсорных сетей (БСС). — «Вестник компьютерных и информационных технологий» №8, 2008 г. — М.: Машиностроение, 2008. – С. 43-49.
3. Акимов Е.В. Проектирование рациональной топологии беспроводных сенсорных сетей: Автореф. дис. канд.техн. наук. - М., 2010. - 22с.
4. Беллман Р. Динамическое программирование/ Белманн Р. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1960. – 401 с.
5. Щербина О. А. Методологические аспекты динамического программирования / Щербина О. А.// Динамические системы.–2007.– вып. 22. — С. 21-36.

УДК 004.27

О.І. Вервейко, канд.техн.наук

А.О.Мичта, магістрант

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ВІРТУАЛЬНИЙ РЕКОНФІГУРУЮЧИЙ ВИМІРЮВАЧ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИГНАЛІВ

Розглянуті існуючі вимірювачі параметрів електричних сигналів, що побудовані на базі персонального комп'ютера. Доведена доцільність побудови вимірювача з реконфігуруючою структурою. Досліджені методи вимірювання основних параметрів електричних сигналів та можливості їх використання при побудові реконфігуруючого вимірювача. Побудовано віртуальний реконфігуруючий вимірювач, що дозволяє вимірювати напругу, частоту, період, форму сигналу, а також визначені його метрологічні характеристики

Постановка проблеми

Вимірювальна техніка – один з найважливіших факторів прискорення науково-технічного прогресу практично у всіх галузях науки й техніки, невід'ємна частина оснащення будь-якого технологічного процесу, незамінне обладнання науково-дослідних інститутів і лабораторій. Застосування комп'ютерних технологій при побудові вимірювачів уже стало нормою життя, що зумовлено широкими можливостями комп'ютерів по оперативній обробці результатів вимірювань, накопиченню даних, забезпеченню перебудови структури вимірювачів в процесі роботи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Традиційні вимірювачі з їх суворо заданою функціональністю, жорстким алгоритмом роботи, великим часом розробки, слабкими можливостями автоматизації вже не відповідають сучасним вимогам.

Формулювання цілей статті

Актуальною вимогою до сучасних вимірювальних приладів є підвищення їх адаптивності до умов реального виробництва [1]. Одним із шляхів реалізації цієї вимоги є створення віртуального вимірювального приладу на основі персонального комп'ютера з реконфігуруючою структурою.

Виклад основного матеріалу дослідження

Вимірювання параметрів електричного сигналу являє собою сукупність операцій по застосуванню технічного засобу, що зберігає одиницю фізичної величини, для знаходження співвідношення (у явному або неявному вигляді) вимірюваної величини з її одиницею та одержання значення цієї величини [2,3].

Віртуальний вимірювальний прилад (ВВП) – це засіб вимірювання, побудований на базі персонального комп'ютера, порівняно нескладного апаратного обладнання (первинних і вторинних перетворювачів, драйверів інтерфейсів і т.д.) і комп'ютерної програми (прикладного програмного забезпечення) [4]. Загальна структура ВВП представлена на рис 1. Вимірююча величина безпосередньо діє на первинний перетворювач (датчик), який перетворює її у форму, зручну для наступної обробки (наприклад, цифрову, імпульсну). В якості вузла обробки даних використовуються мікроконтролери або надвеликі інтегральні схеми, які виконують управління первинними перетворювачами, обробку даних і їх передачу по комунікаційному інтерфейсу на комп'ютер. Прикладне програмне забезпечення віртуального вимірювача, що виконується на комп'ютері, виконує вторинну обробку даних, відображення отриманих результатів вимірювання та управління процесом вимірювання.

Головною перевагою віртуальних вимірювальних приладів є те, що їх функціональність повністю визначається програмним забезпеченням. Змінюючи конфігурацію вузла обробки даних (ВОД) і прикладного програмного забезпечення, можна одержати різні вимірювачі. Це дає можливість створити єдину платформу для широкого кола вимірювачів, реалізованих на одній і тій же апаратній частині.

Однією з найпоширеніших задач метрології є визначення параметрів електричних сигналів.

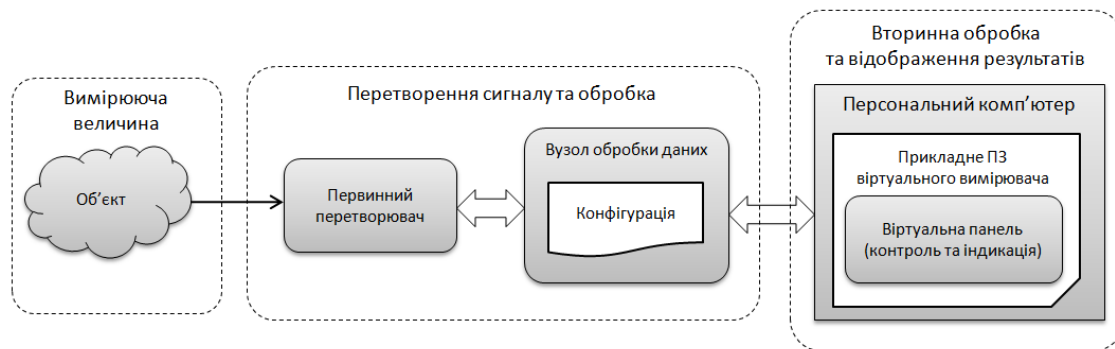


Рис. 1. Загальна структура віртуального вимірювального приладу

Розроблений віртуальний реконфігуруючий вимірювач основних параметрів електричних сигналів (ВРВПС) – універсальний вимірювальний прилад, здатний вимірювати частоту, період, напругу та форму сигналу. Тип вимірюваного параметра задається користувачем. ВРВПС передбачає можливість розширення функціональних можливостей для вимірювання інших параметрів електричного сигналу без ускладнення конструктивної реалізації.

Вимірювання окремих параметрів електричних сигналів можливо декількома методами [5]. Наприклад, частота, зокрема, може вимірюватися:

- методом вимірювання середньої частоти за часовий інтервал;
- методом вимірювання миттєвої частоти.

Аналіз цих методів показав, що їх спільне використання дозволяє підвищити метрологічні характеристики частотомера (зменшення часу вимірювання при заданій максимальній похибці). Для цього діапазон вимірювання частоти розбивається на два піддіапазони, і вимірювання у кожному з них проводиться відповідним методом.

В процесі спадного структурного проектування розроблена архітектура ВРВПС (рис. 2).

У якості первинних перетворювачів використовуються аналогово-цифровий перетворювач і формувач імпульсів, що включені паралельно. Аналогово-цифровий перетворювач використовується при вимірюванні напруги і форми сигналу, а формувач імпульсів – при вимірюванні частоти та періоду.

Наступне функціональне, масштабне перетворення сигналу виконується вузлом обробки даних. Для забезпечення можливості багаторазової зміни конфігурації ВОД в ролі вузла обробки даних використовується програмуюча логічна інтегральна схема (ПЛІС) типу FPGA – FLEX10K10, яка має можливість багатократного перепрограмування.

Зміна конфігурації ПЛІС можлива в автоматичному й ручному режимі. Ручний режим забезпечує зміну типу вимірюваного параметра, а автоматичний використовується для вимірювання частоти й періоду різними методами.

Реконфігурування ПЛІС виконує прикладне програмне забезпечення ВРВПС на підставі аналізу результатів вимірювань або за вказівкою користувача. Конфігураційні

файли ПЛІС зберігаються на комп'ютері. Набір конфігураційних файлів включає по одному файлу для вольтметра й осцилографа, і два – для частотоміра й періодоміра.

Розробка конфігураційних файлів виконувалась на мові опису апаратури VHDL (IEEE Std 1076-2000).

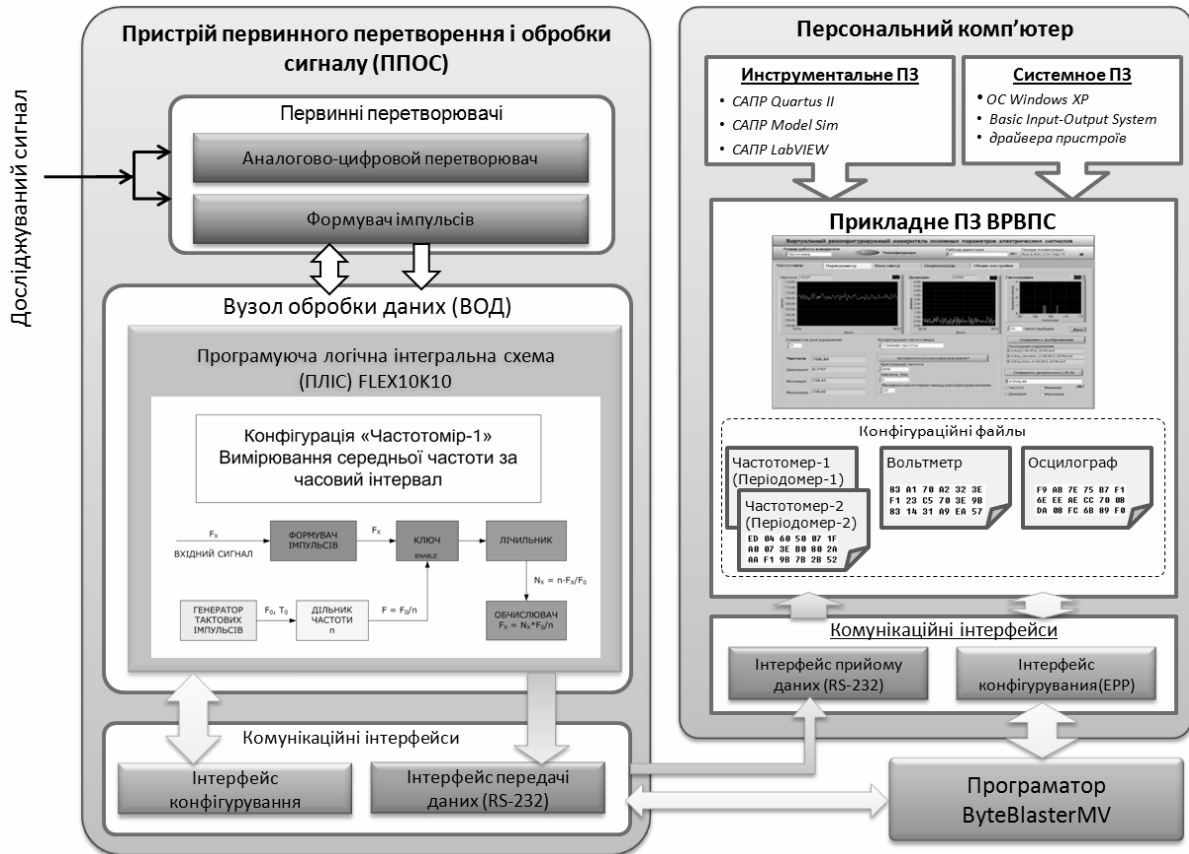


Рис. 2. Архітектура віртуального реконфігуруючого вимірювача основних параметрів електричних сигналів

Створення прикладного програмного забезпечення віртуальних приладів з використанням стандартних текстових мов програмування вимагає чіткого дотримання синтаксису мови, досконалого розуміння принципів real-time-технологій. При цьому більша частина часу витрачається на процес програмування, ніж на створення загальної концепції проекту і його структури. Проблема створення програмного забезпечення віртуальних приладів легко вирішується за допомогою САПР Labview компанії National Instruments. САПР LabVIEW де-факто є міжнародним стандартом систем збору даних і керування вимірами, за допомогою якої й проводилася побудова ВРВПС.

САПР Labview фірми National Instruments завдяки використанню мови графічного програмування G, величезній бібліотеці стандартних компонентів значно збільшує продуктивність роботи інженерів за рахунок зменшення часу розробки.

Програми, створені мовою G, представляються у вигляді блок-діаграми із зображенням функціональних вузлів і зв'язків між ними. Це дозволяє порівняно легко створювати віртуальні прилади, не заглиблюючись у вивчення конкретної мови програмування. Мова G базується на архітектурі потоків даних: послідовність виконання операторів визначається не порядком їх проходження (як в імперативних мовах програмування), а наявністю даних на входах цих операторів [4].

Комп'ютерна програма, створювана в Labview (прикладне програмне забезпечення), складається з двох взаємозалежних частин: лицьової панелі й блок-діаграми. На лицьовій панелі розміщуються індикатори й елементи керування вимірником, імітуючи панель реального вимірника. Блок-діаграма описує логіку роботи віртуального приладу: збір даних з комунікаційних інтерфейсів, математична обробка, обчислення супутніх величин, передача даних на індикатори, збереження результатів.

Вимірювання параметрів електричного сигналу виконується в кілька етапів.

На першому етапі відбувається налаштування й початкове конфігурування програмуваної логічної інтегральної схеми, що входить до складу приладу первинного перетворення і обробки сигналу.

На другому етапі відбуваються перетворення й обробка сигналу. Досліджуваний сигнал подається на первинні перетворювачі: формувач імпульсів і аналогово-цифровий перетворювач. Отримані сигнали подаються на вузол обробки даних, де відповідно до завантаженої конфігурації виконується первинна обробка даних.

На третьому етапі відбувається передача даних від ПЛІС до комп'ютера. Обмін даними з комп'ютером здійснюється по комунікаційному інтерфейсу RS-232.

На заключному етапі виміру відбувається обробка даних. Цей етап передбачає аналіз отриманих даних, відображення результатів в аналоговій і/або цифровій формі, їх збереження в текстовому або графічному форматах.

Лицьова панель віртуального приладу представлена у вигляді сукупності індикаторів і елементів керування (рис. 3). Відображення кожного вимірювача представлено у вигляді вкладок. Також існує вкладка загальних налаштувань, у якій задається набір файлів-конфігурацій, формати збереження результатів виміру і т.п.

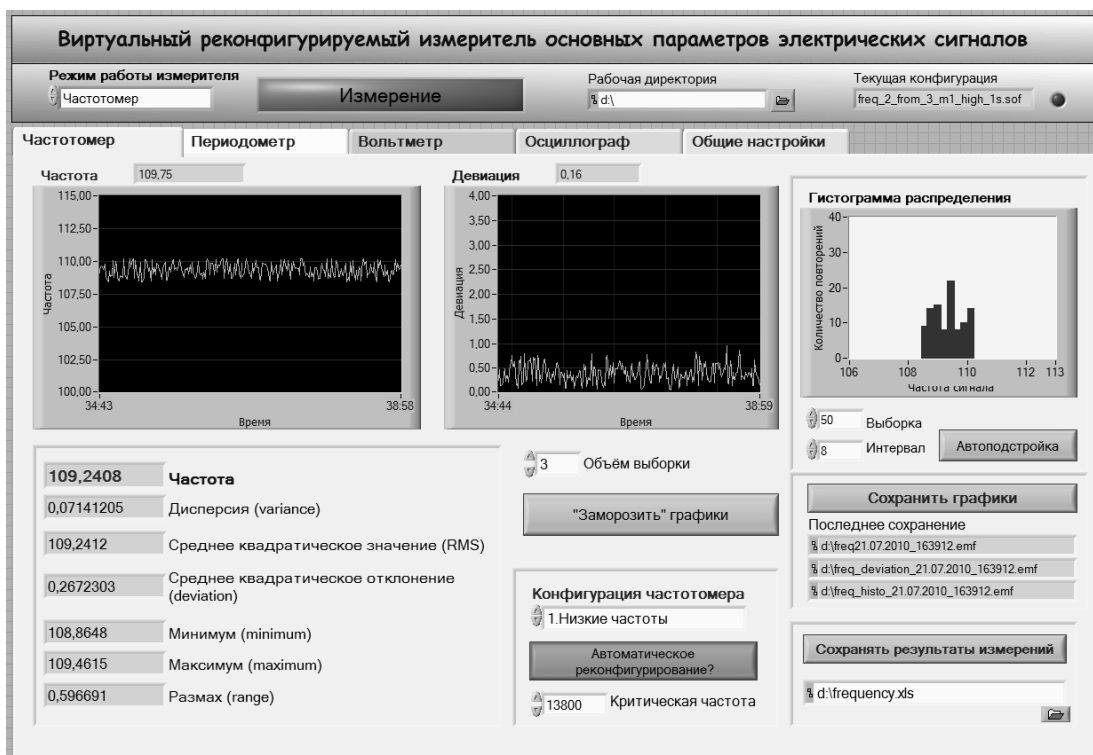


Рис. 3. Лицьова панель віртуального реконфігуруючого вимірювача основних параметрів електричних сигналів

Блок-діаграма ВРВПС складається з модулів конфігурування ПЛІС, вимірювання частоти, періоду, напруги, форми сигналу, модуля керування процесом вимірювання. Блок-діаграма модуля вимірювання напруги представлена на рисунку 4. Використання

підмодулів (на даному рисунку – прийом даних по інтерфейсу RS-232, обчислення статистичних даних) дозволяє застосувати структурний підхід до організації програмних модулів, а також поліпшує наочність блок-діаграми.

У запропонованій архітектурі ВРВПС передбачене використання операційної системи Windows XP, але при необхідності, в силу крос-платформеності Labview, ВРВПС легко може бути адаптований для інших найпоширеніших операційних систем (Linux, Mac OS). При використанні ВРВПС у промисловості можна використовувати операційні системи реального часу, наприклад, Windows CE, Labview RT або Rtlinux.

Для тестування працездатності ВРВПС у якості приладу ППОС застосований лабораторний стенд “PLD Emulator-1”, що використовується для проведення лабораторних робіт у Чернігівському державному технологічному університеті.

Проведений розрахунок метрологічних параметрів і характеристик [6] ВРВПС. Погрішність вимірювання частоти й періоду становить не більше 0,1% при максимальному часі вимірювання 1 с. Діапазон вимірювання частоти – від 10 Гц до 20 МГц. Діапазон вимірювання періоду – від 50 нс до 0,1 с. Діапазон вимірювання напруги – від -2 В до +2 В. при похибці результатів вимірювання не більше ніж 1%. Діапазон вимірювання форми сигналу – від 10 Гц до 1 кГц при похибці результатів вимірювання не більше 6%.

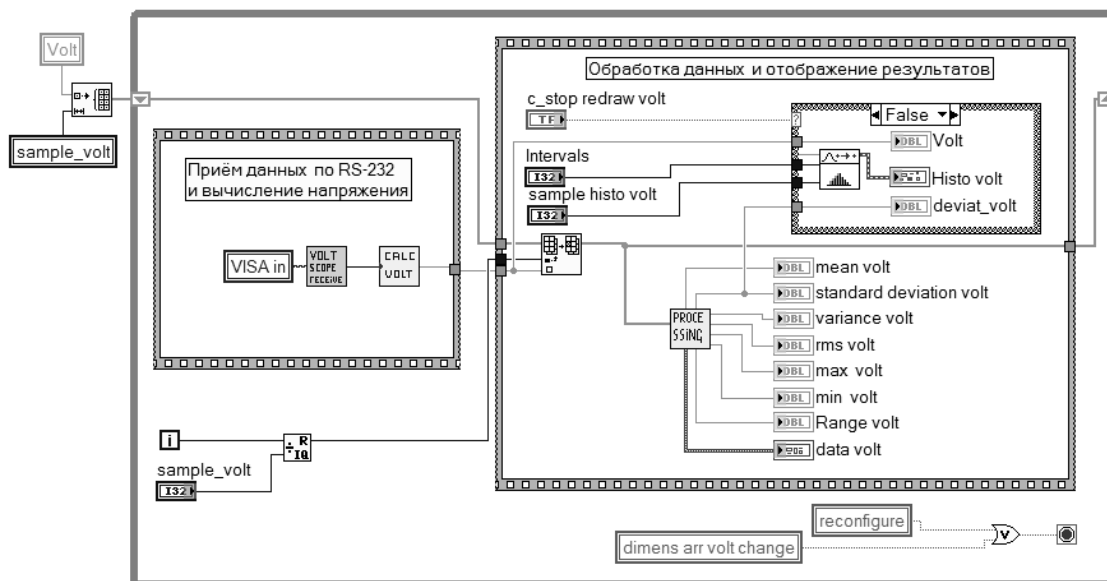


Рис. 4. Блок-схема модуля вимірювання напруги

Великі значення похибок обумовлені використанням компонентів з низькими метрологічними характеристиками, застосованих у лабораторному стенді. Подальше поліпшення властивостей ВРВПС може бути досягнуте при використанні більш дорогих прецизійних компонентів та/або при розширенні кількості вимірюваних параметрів.

Висновки з даного дослідження

Використання інтегральних схем з програмуємою структурою при побудові віртуального вимірювального приладу дозволило створити віртуальний вимірювач основних параметрів електричних сигналів зі змінною конфігурацією.

Архітектура вимірювача характеризується можливістю її автоматичної та ручної ре-конфігурації, що дозволяє поліпшити метрологічні характеристики створеного приладу і спростити його конструктивну реалізацію.

Список літературних джерел

1. USB-лаборатория АКТАКОМ генерирует цифру / Афонский А.А., Фомин Н.С. // Журнал “Контрольно-измерительные приборы и системы”. – 2007. – № 2. – С. 31.
2. РМГ 29-99 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения . – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2000. – 140 с.
3. Большая энциклопедия Кирилла и Мефодия [Электронный ресурс]. – 8-е изд. – М.: Большая Российская энциклопедия, 2005. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
4. Графическое программирование в LabVIEW [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.automationlabs.ru.
5. Орнатский П. П. Автоматические измерения и приборы (аналоговые и цифровые). – 5-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1986. – 604 с.
6. Пронкин Н.С. Основы метрологии: практикум по метрологии и измерениям: учеб. пособие для вузов. – М.: Логос; Университетская книга, 2007. – 392 с.

УДК 519.6

Зацерковний В. І., канд. техн. наук, доцент
Кривоберець С. В., аспірант
Сімакін Ю. С., викладач

Чернігівський державний інститут економіки і управління, м. Чернігів, Україна

МЕТОДИКА СТВОРЕННЯ ЕТАЛОННИХ МОДЕЛЕЙ ПРОСТОРОВИХ ОБ'ЄКТІВ ГІС ЗА ДОПОМОГОЮ КОМБІНАТОРНОГО АЛГОРИТМУ

Розглянута можливість застосування геоінформаційних систем та геоінформаційних технологій для оцінки стану природного середовища. Розроблена математична модель на базі комбінаторного алгоритму для діагностування станів навколишнього середовища.

Постановка проблеми

Ефективність використання геоінформаційних систем (ГІС) та геоінформаційних технологій (ГІТ) в різних сферах діяльності людини визначається перед усім тим фактом, що 85 % інформації, з якою зіштовхується людина в своєму житті, має територіальну прив'язку.

На сучасному етапі ГІС все частіше починають застосовуватися для вирішення задач моделювання процесів і ситуацій, що дозволяє вести мову про новий клас інтелектуальних ГІС. Інтелектуальні ГІС здійснюють комплексний аналіз та інтерпретацію різнотипних даних і, зазвичай, включають в себе засоби підтримки прийняття рішень.

Ефективність функціонування ГІС в значному ступені визначається її математичним забезпеченням, під яким розуміють математичні моделі досліджуваних просторових об'єктів, представлених у вигляді, придатному для обчислень в комп'ютері, та алгоритми прогнозування зміни станів цих об'єктів і якістю пошарового тематичного наповнення бази метричних та атрибутивних даних. Це зумовлено тим, що при дослідженні будь-якого просторового об'єкта необхідно сформувати адекватну модель просторового об'єкта дослідження; сформувати відхилення параметрів стану просторового об'єкта дослідження; визначити перехід об'єкта дослідження в „несправний” стан; отримати управлінське (діагностичне) рішення.

Для формування відхилення параметрів стану досліджуваного просторового об'єкта в якості еталона можна прийняти: значення параметрів досліджуваного об'єкта, отриманих на його початковій стадії дослідження (експлуатації) в завідомо справному стані, перерахованих по формулах приведення; значення параметрів середньостатистичного досліджуваного просторового об'єкта при стандартних атмосферних умовах, отриманих по експериментальних даних; індивідуальну ідентифіковану нелінійну математичну модель залежностей контрольованих параметрів просторового об'єкта від зовнішніх умов і режимних параметрів (параметрів управління), отриману по експериментальних даних в початковий період дослідження (експлуатації), тощо; середньостатистичну ідентифіковану нелінійну математичну модель досліджуваного об'єкта ГІС, отриману шляхом обробки експериментальних даних; багаторежимну квазінелінійну індивідуальну ідентифіковану математичну модель досліджуваного об'єкта; багаторежимну квазілінійну ідентифіковану середньостатистичну математичну модель досліджуваного об'єкта.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Обраний напрям дослідження пов'язаний з реалізацією завдань постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля» від 30.03.1998 р. №391, Державної цільової екологічної програми проведення моніторингу навколишнього природного середовища, що затверджена постановою Ка-

бінету Міністрів України від 5.12.2007 р, №1376; Закон України "Про екологічну мережу України" за станом на 24.06.2008, № 1864-IV, виконанням науково-дослідної роботи кафедри геодезії, картографії та землеустрою Чернігівського державного інституту управління і економіки спільно з Державним управлінням у сфері охорони навколишнього природного середовища в Чернігівській області.

Питанням екологізації економіки, раціонального природокористування, проблемам сталого розвитку присвячено багато наукових праць вітчизняних вчених, зокрема: О.Ф. Балацького, В.А.Барановського, Л.Г. Мельника, Б.М. Данилишина, Є.В. Хлобистова, Б.В. Буркинського, О.О.Веклич, М.Г. Ступеня, Л.Я. Новаковського, О.М. Теліженка, О.І. Карінцевої, П.Г.Казьміра, З.В. Герасимчук, Л.Г. Руденко, С.К. Харічкова, Н.В. Караєвої, Г.О. Білявського, Р.С.Фурдуй, І.Ю. Костікова та ін.

Постановка завдання

Метою роботи є розробка програмного забезпечення для проведення діагностики екологічного стану територій України та прогнозування можливих змін, викликаних антропогенним тиском на довкілля.

Виклад основного матеріалу дослідження

На сучасному етапі розвитку суспільства значна увага приділяється питанням охорони навколишнього середовища і раціонального використання природних ресурсів. Для їх вирішення необхідний комплексний підхід, який вимагає використання великих обсягів екологічної, картографічної та іншої кількісної інформації про стан компонент природного середовища, що практично неможливо без застосування розвинених методів і засобів геоінформатики. Найбільш перспективними методами обробки і засвоєння подібних обсягів інформації, на сьогоднішній день, є методи, що ґрунтуються на використанні ГІТ. Використання ГІС та ГІТ, які дозволяють здійснювати одночасний аналіз багатомірних даних з використанням цифрових карт, спрощує процедури екологічного прогнозу і оцінку комплексної взаємодії антропогенних факторів на природне середовище, робить можливим оперативне виявлення аномалій і прийняття необхідних заходів для їх усунення.

Серед великої кількості задач, що вирішуються за допомогою ГІС, найбільш інтелектуальними є системи прогнозу та діагностики, які спроможні передбачати сценарій майбутнього, ґрунтуючись на подіях минулого і наявного стану, та володіють можливістю знаходити причини аномальності спостережуваних процесів та явищ. Для цього ГІС використовують динамічні параметричні моделі та набори даних, за допомогою яких виявляються відхилення від еталонної поведінки.

Як показано в роботі [1], найбільш прийнятним для діагностики стану просторових об'єктів ГІС, є математичні моделі, в яких матриця коефіцієнтів впливу розраховується в темпі "виходу" моделі на режим прийняття рішення (діагностування), тобто, багаторежимні квазілінійні середньостатистичні ідентифіковані математичні моделі. У цьому випадку діагностична модель менш піддається „шумам” і більш пристосована для ефективної ідентифікації стосовно кожного екземпляру об'єкта дослідження або середньостатистичного об'єкта дослідження.

В загальному випадку лінійну математичну модель об'єкта дослідження при наявності похибок вимірів можна представити матричними рівняннями двох типів [2]:

$$\overline{Y}_\zeta = A\overline{O} + \Delta\overline{Y}_\zeta \quad (1)$$

або

$$\overline{W}_\zeta = A\overline{O} + \Delta\overline{W}_\zeta; \overline{W}_\zeta = \overline{Y}_\zeta - \Delta\overline{S}_\zeta; \Delta\overline{W}_\zeta = \Delta\overline{Y}_\zeta - \Delta\overline{S}_\zeta \quad (2)$$

де $\overline{Y}_\epsilon$ – вектор відносних відхилень параметрів режиму функціонування об'єкта дослідження розмірності $(m \times 1)$;

$\overline{X}$ – вектор відносних відхилень шуканих параметрів стану об'єкта дослідження, керуючих і збурюючих впливів розмірності $(n \times 1)$;

A – матриця коефіцієнтів впливу розмірності $(m \times n)$;

$\overline{S}$ – вектор відносних вимірюваних збурюючих і керуючих впливів, якщо вони не переведені у вектор $\overline{Y}$ шляхом перетворень для заданої структури системи рівнянь. Розмірність вектора $(\nu_\epsilon \times 1)$;

T – матриця коефіцієнтів впливу розмірності $(m \times \nu_\epsilon)$.

Діагностичну модель досліджуваного об'єкта виду (1) правомірно використовувати у випадку виконання наступних умов: в діагностичній моделі врахована програма керування досліджуваного об'єкта на режимі діагностування. При цьому, якщо керуючі впливи вимірюються, то вони уведені у вектор $\overline{Y}_\epsilon$, якщо не вимірюються – то вони відсутні; відхилення параметрів управління дорівнюють нулю; відхилення збурюючих впливів на режимі діагностування відсутні; відсутні похибки вимірів збурюючих впливів; характеристики еталонних модулів відповідають номінальним характеристикам або здійснена ідентифікація математичної моделі до індивідуальних характеристик досліджуваного об'єкта (явища), тобто, відсутній вплив на вектор $\overline{Y}_\epsilon$ природного розсіювання характеристик модулів об'єкта (явища); відсутнє приведення вимірюваних параметрів до стандартних атмосферних умов. В протилежному випадку, при приведенні до стандартних атмосферних умов компоненти вектора $\overline{Y}_\epsilon$ стануть корельованими. У всіх інших випадках необхідно використовувати діагностичну модель (2).

В реальних умовах моделювання, властивості об'єкта дослідження змінюються в широкому діапазоні, тому для забезпечення необхідної ефективності ГІС необхідно мати наявності еталон контрольованих параметрів і матриці коефіцієнтів впливу на кожному режимі діагностування для кожного тематичного шару ГІС у відповідних умовах дослідження (діагностування). Однак, на даний час, всережимну багатофункціональну математичну модель ГІС з усіма тематичними шарами закласти в пам'ять комп'ютера не представляється можливим через певні обмеження цих пристроїв.

В ситуації, що склалася, одним з компромісних виходів є представлення РГІС у вигляді "згорнутої" математичної моделі окремих тематичних шарів просторового об'єкта дослідження – еталона контрольованих параметрів і коефіцієнтів впливу лінійних діагностичних моделей в функції режимних параметрів і параметрів зовнішніх умов. При цьому, "згортання" необхідно провадити таким чином, щоб втрати інформації були мінімальними.

Отримання "згорнутих" (поліноміальних) моделей об'єктів дослідження ГІС засновано на певному класі алгоритмів, тому, перед тим, як приступити до "згортання", доводиться відповідати на питання, а який саме чисельний метод взяти за основу?

На сьогодні існує величезна кількість підходів, алгоритмів і програм, які дозволяють в тому або іншому ступені раціонально організувати обчислювальні процедури. До них відносяться [2, 3, 4, 9]: метод усіх можливих регресій; метод вибору "найкращої підмножини" предикторів; метод виключення; покроковий регресійний метод; гребенева ("рідж") регресія; "ПРЕСС"-регресія; регресія на головних компонентах; регресія на ортогональні поліноми Чебишева; регресія на власних значеннях; східчастий регресійний метод; регресія на основі G -обернення; робастна регресія; регуляризація по Тихо-

нову; регресія з використанням сингулярних розкладань; схеми Холецкого і Хаусхолдера; метод групового урахування аргументів (МГУА).

На цій основі написана велика кількість пакетів програм на різних алгоритмічних мовах, наприклад, [2, 4].

Однак, частина з них мало відрізняється одна від одної, а іншими досить складно скористатися. Цей факт можна пояснити тим, що [3]: більшість пакетів програм розроблялися приблизно в один і той же час, незалежно один від одного, і ґрунтувалися на одному і тому ж фундаменті наявних на той час математичних методів; відсутність, недостатність або наявність помилок в необхідній документації по використанню розроблених пакетів програм призводять до того, що найчастіше простіше розробити нові програми, ніж розібратися у відомих; досконало неопрацьованою залишається поки що проблема порівняння і вибору кращого алгоритму або програми; автоматизовані тільки лише розрахунки, а аналіз результатів і вибір найкращих варіантів, як і раніше, проводиться інтуїтивно, вимагаючи суттєвих витрат часу і коштів.

Використання традиційних [2] та інших підходів для створення поліноміальних моделей тематичних шарів ГІС виявилось малоефективним через притаманні їм в тому або іншому ступені спільних недоліків: великої чутливості до похибок виміру відгуків; великими погрішностями в обчисленні коефіцієнтів поліномів при поганій обумовленості матриці планування; неможливістю розрахунку коефіцієнтів полінома у випадку недостатньої кількості експериментів; відсутності формалізованих методів вибору оптимальної структури поліноміальної моделі.

Більше того, задача виявляється взагалі нерозв'язною при достатньо великій кількості варійованих факторів.

При створенні "згорнутих" математичних моделей окремих тематичних шарів ГІС ступені поліномів, зазвичай, невеликі. Однак число параметрів може бути значним (більше 10...15). Чутливість контрольованих параметрів до більшості варійованих факторів мало відрізняється одне від одної. Крім того, контрольовані параметри, отримувані зазвичай в результаті вимірів, містять погрішності. Ці особливості призводять до того, що задача відновлення поліноміальних залежностей розглядуваних тематичних шарів просторових об'єктів РГІС є погано обумовленою. Тому, незважаючи на те, що на даний час запропонований цілий ряд алгоритмів отримання поліноміальних моделей просторових об'єктів, цикл робіт в цьому напрямку далекий від завершення як в частині удосконалення математичних методів, так і в частині охоплення класу задач.

У зв'язку з цим виникла необхідність випробувати ряд нових підходів, щоб при наступних комп'ютерних експериментах і порівняльній оцінці виявити комплекс алгоритмів, здатних автоматизувати вибір оптимальної структури поліноміальної моделі еталонних тематичних шарів РГІС в умовах поганої обумовленості задачі і вирішити тим самим задачу створення моделей просторових об'єктів ГІС.

Вихідна інформація для побудови поліноміальної моделі може бути отримана по результатах натурних досліджень або розрахунковим шляхом на базі математичних моделей об'єкта дослідження. При цьому передбачається, що фактори задаються без помилок.

В процесі відновлення моделей можуть зустрітися два випадки: структура математичної моделі відома апіорі і задача відновлення зводиться до визначення коефіцієнтів цієї моделі; структура математичної моделі заздалегідь невідома. У другому, більш загальному випадку, використовуються відрізки нескінченного ряду Тейлора [5] і задача відновлення полягає у визначенні як числа членів ряду, так і коефіцієнтів при цих членах. Треба враховувати, що підвищення складності відновлюваного полінома дозволяє отримати краще співпадання відновлюваної залежності з експериментальними даними. Але збільшення ступеня полінома доцільно лише до тих пір, поки з експериментальної

вибірки добувається надійна інформація [6]. Тому дуже важливо створення таких алгоритмів відновлення, у яких процес вибору оптимальної структури був би формалізованим при надійному отриманні значимих, незміщених і ефективних оцінок.

Комбінаторний алгоритм, що заснований на методі повної математичної індукції [5] дозволяє не пропустити оптимальної структури відновлюваних поліномів. Алгоритм, представлений на рис. 1, є багатоетапним. На першому етапі здійснюється пошук тільки в класі одночленів, на другому етапі досліджуються можливі двочленні описи тощо.

Математично задача відновлення поліноміальної моделі формулюється наступним чином. Є m експериментів, для кожного з яких відомий вихідний вектор W , розмірності $(m \times 1)$; матриця спостережень (планування) U незалежних змінних $u_1, u_2, \dots, u_k$, складена таким чином, щоб область факторного простору була рівномірно заповнена, що дозволяє виявити характер вихідної функції навіть при достатньо складній її зміні.

Кожний з отриманих результатів розглядають як випадкову реалізацію вихідної функції. Розмірність матриці U становить $(m \times n)$.

Необхідно знайти аналітичний вираз залежності:

$$W = F(U), \quad (3)$$

яка найкращим чином відтворює значення вихідної функції (функції відгуку) W і розкриває характер і ступінь впливу незалежних факторів $u_i, i = \overline{1, k}$

В матричному вигляді можна записати:

$$W = UB + \Delta W, \quad (4)$$

$$\text{де: } W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ \vdots \\ w_m \end{bmatrix}; U = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{1,2} & \dots & u_{1k} & u_{1,1}^2 & \dots & u_{1n-1} & u_{1n-2} & \dots & u_{1,1} \\ u_{21} & u_{22} & \dots & u_{2k} & u_{2,1}^2 & \dots & u_{2n-1} & u_{2n-2} & \dots & u_{1,1} \\ u_{31} & u_{32} & \dots & u_{3k} & u_{3,1}^2 & \dots & u_{3n-1} & u_{3n-2} & \dots & u_{1,1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ u_{m,1} & u_{m2} & \dots & u_{mk} & u_{m1}^2 & \dots & u_{mn-1} & u_{mn-2} & \dots & u_{1,1} \end{bmatrix};$$

$B = [\hat{a}_1, \hat{a}_2, \hat{a}_3, \dots, \hat{a}_n]^T$ – вектор-стовпець відновлюваних коефіцієнтів розмірності $(n \times 1)$;

$\Delta W = [\Delta w_1, \Delta w_2, \dots, \Delta w_m]^T$ – вектор випадкових відхилень розмірності $(m \times 1)$.

Задача відновлення поліноміальної моделі полягає в знаходженні вектора B , який мінімізує суму квадратів відхилень:

$$Q = \Delta W^T \Delta W = (W - UB)^T (W - UB). \quad (5)$$

Цей мінімум досягається для вектора B з рішення системи нормальних рівнянь [5]:

$$U^T UB = U^T W, \quad (6)$$

Звідки

$$B = (U^T U)^{-1} U^T W. \quad (7)$$

При цьому можуть виникнути особливості, які знижують ефективність даного алгоритму.

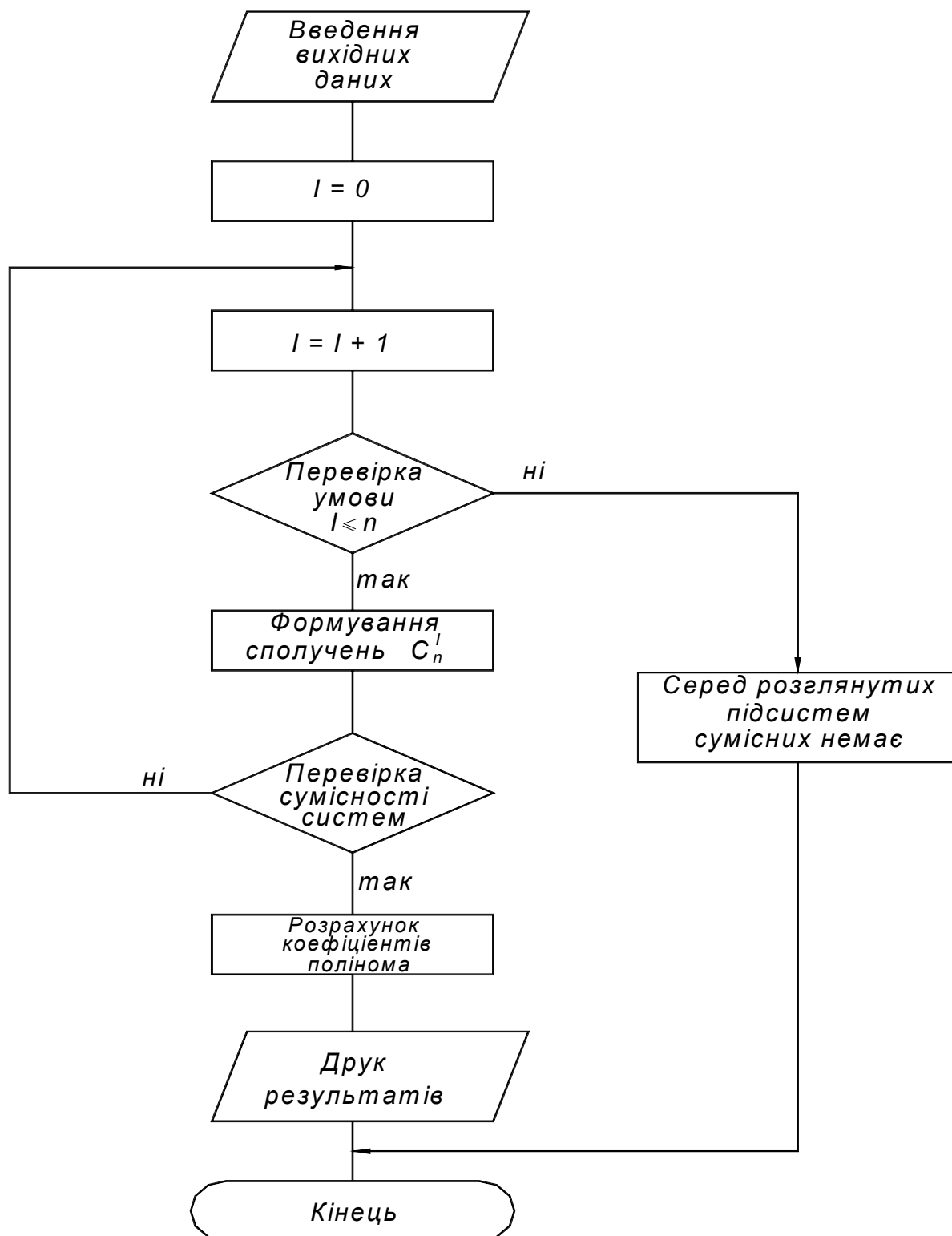


Рис.1. Блок-схема комбінаторного алгоритму

По-перше, при дослідженні на значимість точкових і інтервальних оцінок відновлюваного полінома корельованість сполучень параметрів U_j і U_{jk} , U_j і U_j^2 та інших між

собою збільшує дисперсії їх оцінок, що ускладнює інтерпретацію отриманих результатів [7].

По-друге, з формули (7) випливає, що коефіцієнти регресії $\hat{a}_j$ не можуть бути визначені незалежно один від одного. Якщо в силу певних міркувань опустити (додати) в рівняння (4) хоча б один член, то це призведе до необхідності перерахування всіх інших коефіцієнтів полінома.

По-третє, число коефіцієнтів $\hat{a}_j$ в рівнянні (4) зростає дуже швидко по мірі збільшення числа аргументів. Так наприклад, в рівнянні 3 ступеня з 3 аргументами міститься 20 доданків:

$$W = \hat{a}_0 + \hat{a}_1 e_1 + \hat{a}_2 e_2 + \dots + \hat{a}_{19} e_1 e_2 e_3, \quad (8)$$

а перебору підлягає $2^{19} = 524288$ поліномів, що вимагає істотних витрат часу і об'єму оперативної пам'яті комп'ютера.

Крім того, при використанні МНК, коли параметри W_i заміряються з погрішністю σ_{w_i} , коваріаційна матриця відхилень коефіцієнтів відновлюваної залежності дорівнює:

$$R = M[\Delta B \Delta B^T] = M\left[(U^T U)^{-1} U^T \Delta W \Delta W^T \left\{ (U^T U)^{-1} U^T \right\}^T\right] = (U^T U)^{-1} U^T \begin{bmatrix} \sigma_{w_1}^2 & . & . & . & 0 \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ 0 & . & . & . & \sigma_{w_m}^2 \end{bmatrix} \left\{ (U^T U)^{-1} U^T \right\}, \quad (9)$$

де ΔW – вектор помилок вимірів;

$\Delta B = (U^T U)^{-1} U^T \Delta W$ – вектор помилок коефіцієнтів полінома;

M – символ математичного очікування.

Для спрощення міркувань будемо вважати, що $\sigma_{w_1} = \sigma_{w_2} = \dots = \sigma_{w_m}$.

Тоді:

$$\begin{aligned} R &= (U^T U)^{-1} U^T \sigma_w^2 I_m \left\{ (U^T U)^{-1} U^T \right\}^T = \sigma_w^2 (U^T U)^{-1} U^T U \left\{ (U^T U)^{-1} U^T \right\}^T = \\ &= \sigma_w^2 (U^T U)^{-1} U^T U \left\{ (U^T U)^{-1} \right\}^T = \sigma_w^2 (U^T U)^{-1}, \end{aligned} \quad (10)$$

де I_m – одинична матриця.

Погіршення обумовленості матриці $U^T U$ небезпечно для МНК тим, що дисперсії оцінок МНК стають надзвичайно великими. Якщо за критерій якості прийняти середньоквадратичну помилку, то рівняння (9) можна записати [8]:

$$R = \sigma_w^2 (U^T U)^{-1} = \sigma_w^2 \text{tr}(U^T U)^{-1} = \sigma_w^2 \sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i}, \quad (11)$$

λ_i – власні числа матриці $(U^T U)$.

По мірі погіршення обумовленості матриці $(U^T U)$, $\lambda_{\min}$ зменшуються [5], а якість отриманого рішення (7) погіршується. І при $\lambda_{\min}$, що прямує до 0, середньоквадратичне відхилення (СКВ) – σ , прямує до нескінченності.

Обчислювальні складності МНК можна перебороти, використовуючи замість МНК метод циклічної мінімізації квадратичного функціоналу. Часові витрати в даному алгоритмі при пошуку оптимальної структури полінома зменшуються, тому що пошук рі-

шення здійснюється тільки для тих підсистем, які з заданою імовірністю (0.95) дозволяють інтерпретувати результати спостережень [9].

Висновки з даного дослідження

Розроблений алгоритм, реалізований авторами в пакеті прикладних програм РКОМВ, може бути рекомендований для моделювання в ГІС при порівняно невеликому числі аргументів.

Для розширення можливостей даного алгоритму доцільно розробляти більш досконалі схеми перебору, які дозволяють зменшити час обчислення і збільшити число варіюваних факторів. Зокрема, можуть бути рекомендовані алгоритми відновлення поліноміальних моделей за допомогою регуляризуючого функціоналу та ортогональних багаточленів, застосування яких потребує додаткових досліджень.

Список літературних джерел

1. Зацерковный В. И. Математическая модель бортовой системы диагностирования ГТД по газодинамическим параметрам / В. И. Зацерковный, В. И. Никитин // Материалы научно-технической конференции училища. Ч.1. – Иркутск : ИВВАИУ, 1990. – С. 34-36
2. Алабин М. А. Кореляционно-регрессионный анализ статистических данных в двигателестроении / М. А. Алабин, А. Б. Ротман. – М. : Машиностроение, 1975. – 124 с.
3. Загоруйко Н. Г. Алгоритмы обнаружения эмпирических закономерностей / Н. Г. Загоруйко, В. Н. Елкина, Г. С. Лбов. – Новосибирск : Наука, 1985. – 160 с.
4. Справочник по типовым программам моделирования / [под редакцией Ивахненко А. Г.]. – Киев : Техника, 1980. – 184 с.
5. Корн Г. Справочник по математике / Г. Корн, Т. Корн. – М. : Наука, 1973. – 830 с.
6. Загоруйко Н. Г. Пакет прикладных программ ОТЭКС / Н. Г. Загоруйко, В. Н. Елкина, С. В. Емельянов, Г. С. Лбов. – М. : Финансы и статистика, 1986. – 160 с.
7. Демиденко Е. З. Линейная и нелинейная регрессии / Е. З. Демиденко. – М. : Финансы и статистика, 1981. – 304 с.
8. Шепель В. Т. Контроль технического состояния авиационных ГДТ / В. Т. Шепель. – Ярославль : 1982. – 86 с.
9. Себер Дж. Линейный регрессионный анализ / Дж. Себер. – М. : Мир, 1980. – 456 с.

УДК 621.9

В.А. Бичко, канд. фіз.-мат. наук

О.В. Шумский, магістрант

Чернігівський державний технологічний університет, м.Чернігів, Україна

Dr. Ramit Azad,

American International University-Bangladesh, Dhaka, Bangladesh

МЕТОДИ ПЕРВИННОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ ПРИ ТРИВИМІРНОМУ СКАНУВАННІ ПОВЕРХНІ ФІЗИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Реалізована можливість отримання комп'ютерної моделі поверхні фізичних об'єктів шляхом безконтактного тривимірного сканування. Аналізуються засоби виокремлення профільних кривих з послідовності зображень світлових відбитків, отриманих при тривимірному скануванні.

Вступ

Останнім часом особливу актуальність набуває технологія швидкого прототипування, яка призначена для створення дослідних зразків або працюючої фізичної моделі. Така технологія припускає наявність тривимірної комп'ютерної моделі прототипу.

У зв'язку з цим спостерігається стрімкий розвиток засобів віртуального представлення фізичних об'єктів [1,2,3]. Проте, якість методів отримання апіорної інформації про фізичні об'єкти, а так само їх доступність не задовольняють споживацький попит в даній області. Частково задовольнити попит на обладнання у згаданій галузі дозволяють засоби отримання комп'ютерних моделей, створені на основі серійного обладнання широкого споживання [4,5]. Це дає можливість реалізувати процес тривимірного сканування значно меншим коштом.

Для побудови тривимірної сітки поверхні моделі потрібно отримати набір профільних кривих поверхні об'єкту. Найширше розповсюдження отримав спосіб безконтактного сканування поверхні з використанням лазерного генератора лінії, призначеного для формування профільної кривої на поверхні фізичного об'єкта [5].

При отриманні первинної інформації з послідовності растрових зображень виникає ряд проблем, пов'язаних з виокремленням відбитку світлової лінії, яка несе інформацію про поверхню [6]. Цілком зрозуміло, що якість поверхні моделі напряму залежить від повноти інформації та спотворень профільних кривих. Отже, основна задача первинної обробки отриманої послідовності зображень полягає у підвищенні якості виокремлення інформативної профільної кривої (ІПК) з первинного зображення та відокремлення її від „шумових” забруднень.

Цілком зрозуміло, що для зручності розпізнавання необхідно, щоб освітленість інформаційної кривої була значно вище фоновій освітленості. Тобто в ідеальних умовах під час сканування фонове освітлення повинно бути відсутнє. Але наявність фоновій освітленості певного рівня доцільна з міркувань як безпеки, так і зручності.

Спираючись на вищесказане, була висунута наступна задача: розробити програмний модуль, здатний здійснювати максимально якісну первинну обробку інформації для виокремлення ІПК поверхні з початкового растрового зображення та відокремлення її від шумів.

Як засіб отримання первинних даних в системі необхідно застосувати стандартне обладнання широкого вжитку (цифрову відеокамеру).

Методика отримання тривимірної моделі

При вирішенні задачі використаний безконтактний метод тривимірного сканування поверхні фізичного об'єкта. Для отримання апіорних даних була застосована триангулярна схема сканування з двома монохромними джерелами світла різної довжини хвилі, розташованими симетрично [7].

Така схема дає можливість отримати більш повну інформацію про поверхню з двох ППК різного кольору та полегшує алгоритмізацію їх ідентифікації, але у подальшому обговоренні міркування наведені на основі червоної складової спектру.

Схема сканування реалізується на установці, обладнаній рухомим скануючим модулем (СМ) з механічним приводом, що здійснює прямолінійне рівномірне переміщення (рис.1).

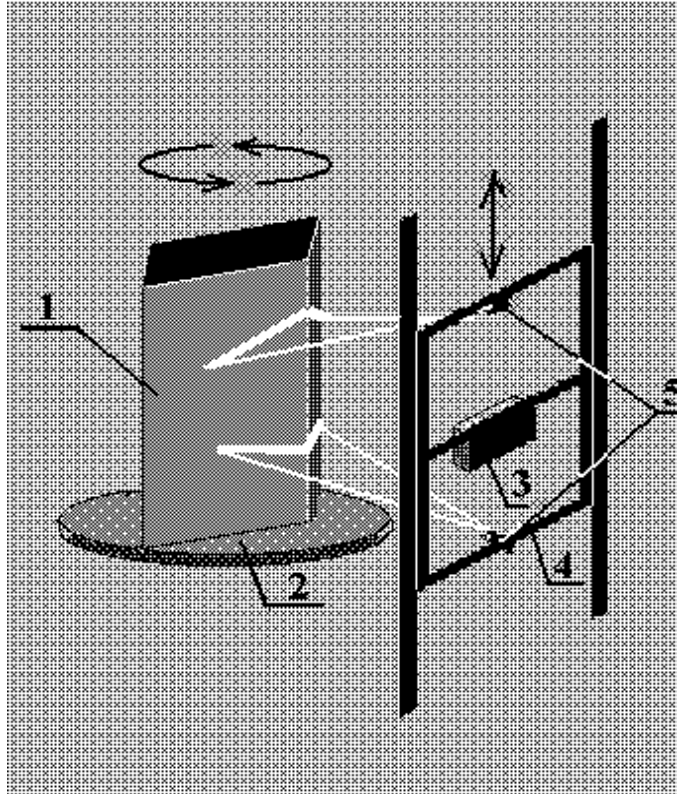


Рис. 1. Схема установки: 1 – об'єкт, для сканування; 2 – платформа, що обертається; 3 – цифрова камера; 4 – рухома платформа скануючого модуля; 5 – лазерні генератори лінії

Для формування профільних кривих на СМ симетрично встановлено два лазерних генератора світлової лінії з довжиною хвилі 630нм та 532нм відповідно, які освітлюють об'єкт сканування з різних боків (рис.1).

На СМ встановлена цифрова камера, здатна зберігати відеозображення у вигляді avi-файлу з роздільною здатністю стандартного формату 640X480.

При первинній обробці з файлу екстрагувалася послідовність зображень у форматі bmp. З кожного зображення виокремлюється ППК. З послідовності таких кривих формується полігональна поверхня моделі, яка є віртуальним відображенням поверхні фізичного об'єкту.

Екстрагувати ППК можна різними методами. При цьому задача полягає у розпізнаванні максимальної кількості корисних пікселів, що формують ППК, та видаленні шумових пікселів, які спотворюють інформацію про поверхню.

Перший метод дозволяє виокремити ППК шляхом простого видалення усіх пікселів, інтенсивність кольору яких не перевищує критичного значення.

Другий метод дає можливість виокремити інформативні пікселі шляхом підрахунку середньоквадратичного відхилення кольору відбитку з загальної кольорової гами.

Третій метод шляхом застосування статистичних підрахунків дозволяє видалити шумові пікселі, що не вкладаються в певний статистичний ряд ППК.

Результати та обговорення

Для визначення методу отримання ІПК було проаналізовано залежності кількості пікселів вище критичного значення інтенсивності освітленості (рис.2) та розподіл кількості пікселів по шкалі інтенсивності червоного світла для різних рівнів фонові освітленості растра (рис.3). З рис. 3 видно, що залежність розподілу пікселів за рівнем інтенсивності має характерний немонотонний вигляд для усіх проаналізованих рівнів освітленості. Відповідні криві мають до трьох локальних максимумів, виразність яких зростає із збільшенням фонові освітлення. Нами з'ясовано, що форма таких максимумів пов'язана з нелінійним характером світлової чутливості цифрової камери.

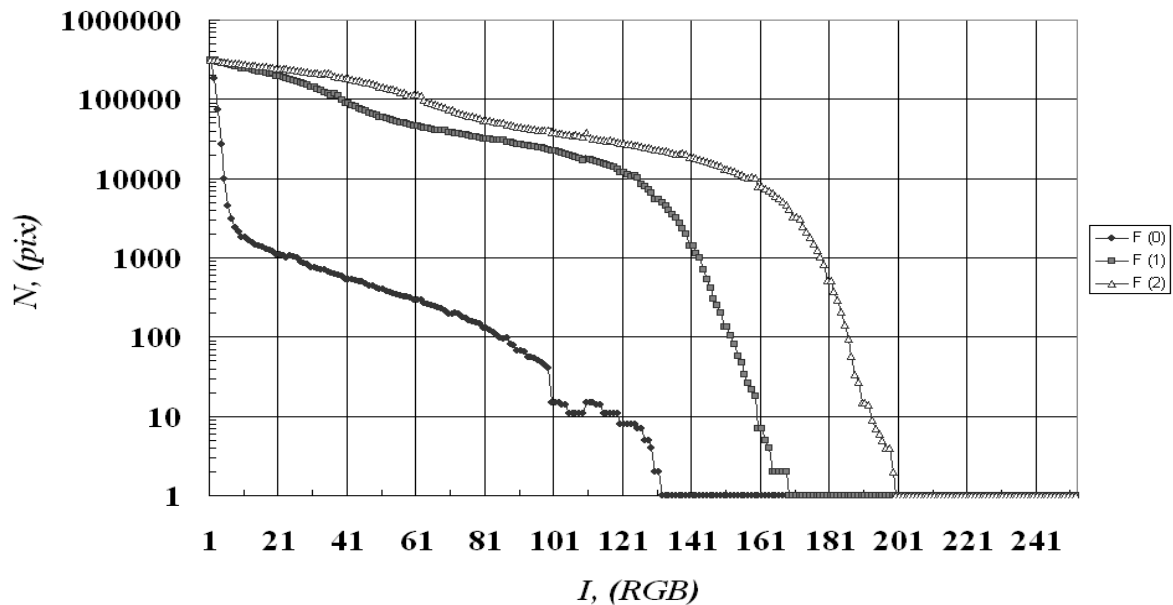


Рис. 2. Кількісний розподіл пікселів червоної складової зображення вище критичного значення інтенсивності освітленості

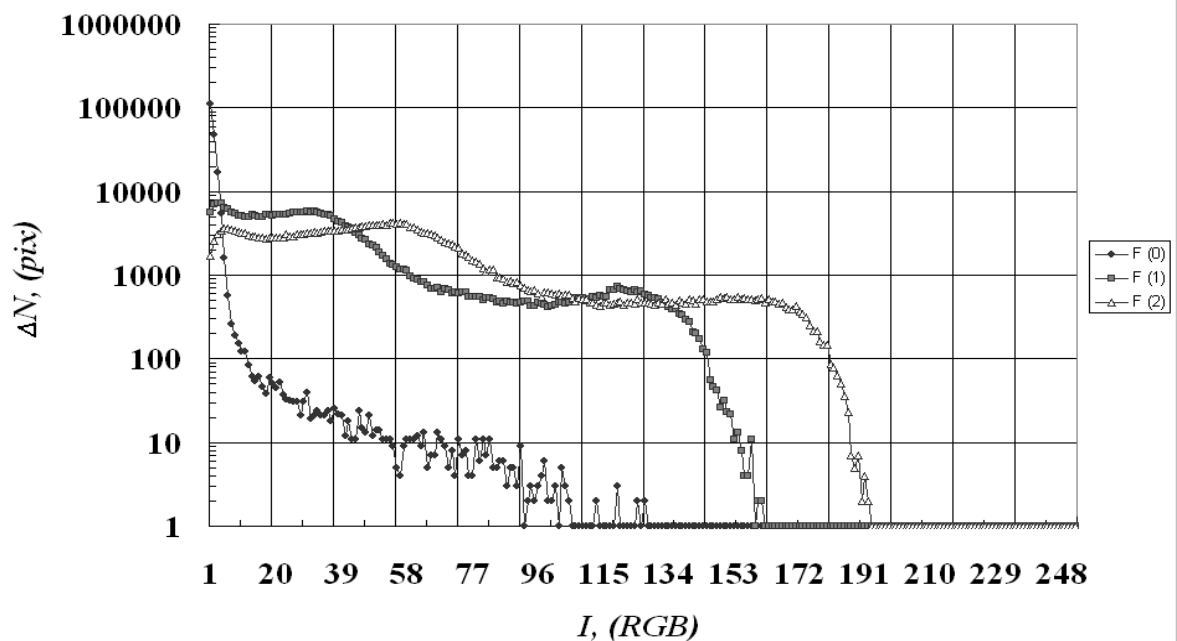


Рис. 3. Кількісний розподіл пікселів червоної складової зображення від значення інтенсивності освітленості

Крім того, спостерігається певне зміщення максимумів кривих розподілу в бік збі-

льшення при зростанні освітленості, що суттєво не впливає на характер залежності. Це дає підґрунтя стверджувати про можливість застосування однакових механізмів виокремлення „ПІК” для усіх рівнів фонового освітлення в межах дослідженого інтервалу.

При вирішенні поставленої задачі для аналізу було виокремлено тривимірні графіки поверхні просторового розподілу інтенсивності світла для різних рівнів освітленості червоної та зеленої складової в термінах RGB-формату. Деякі з них представлені на рис. 4.

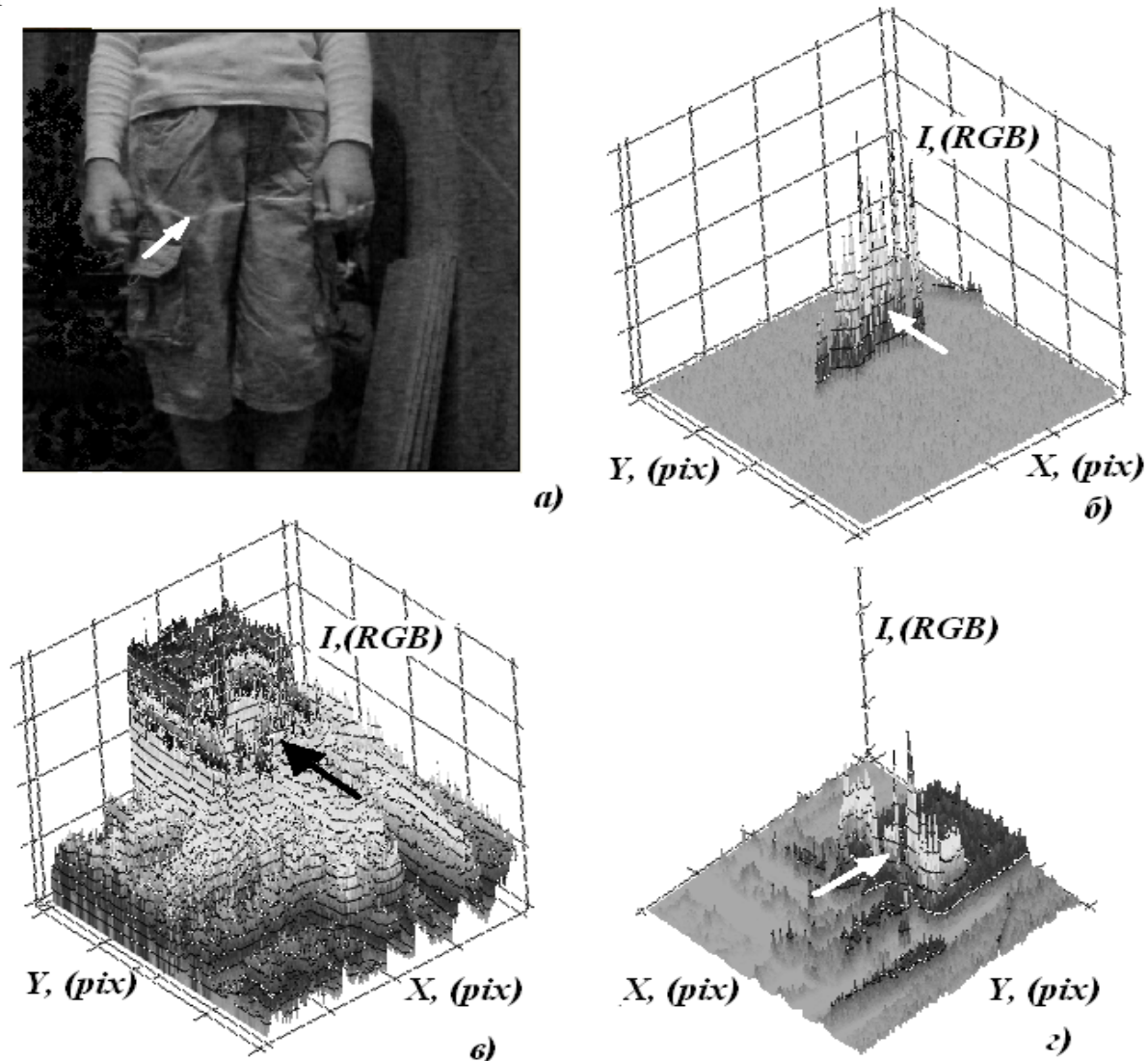


Рис. 4 Виокремлення профільної кривої поверхні з зображення: а – початкове зображення; б – інтенсивність червоної складової при низькій освітленості; в – інтенсивність червоної складової при збільшеній освітленості; г – квадрат відхилення інтенсивності червоної складової від середньої освітленості по всіх кольорах в RGB-форматі

Як видно з рис. 4б, при низькій освітленості яскравість червоної складової кольору ПІК значно вище, ніж яскравість решти пікселів зображення.

Таким чином, при низькому рівні фонові освітленості для виокремлення ПІК можливо скористатися звичайним відбором усіх пікселів, червона складова яких вище критичного значення.

В роботі була досліджена можливість виокремлення ПІК шляхом відокремлення усіх пікселів з інтенсивністю червоної складової вище критичної. При цьому виникає питання автоматизації вибору критичного рівня освітленості. Для вирішення цього питання було візуально досліджено кількісну та якісну зміни зображення ПІК при різних

значеннях критичної інтенсивності освітленості I_k (рис. 5). З рис. 5 видно, що оптимальне значення $I_k=9$ для даного зображення.

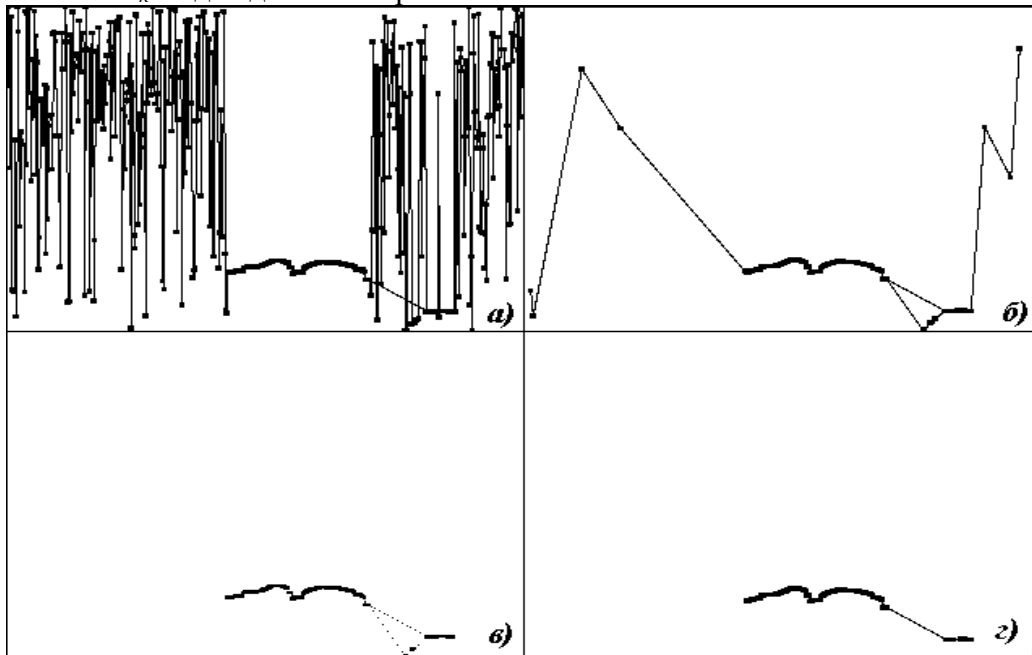


Рис. 5. Виокремлення профільної кривої поверхні з єдиного зображення при низькому рівні фонові освітленості при різних критичних значеннях інтенсивності червоної складової: а – 2; б – 7; в – 9; з – 30

Крім того, було проаналізовано залежність питомої довжини міжпиксельної відстані червоної складової від критичної інтенсивності. Крива такої залежності та її наближена похідна, що відповідає зображенню на рис 5, представлена на рис.6.

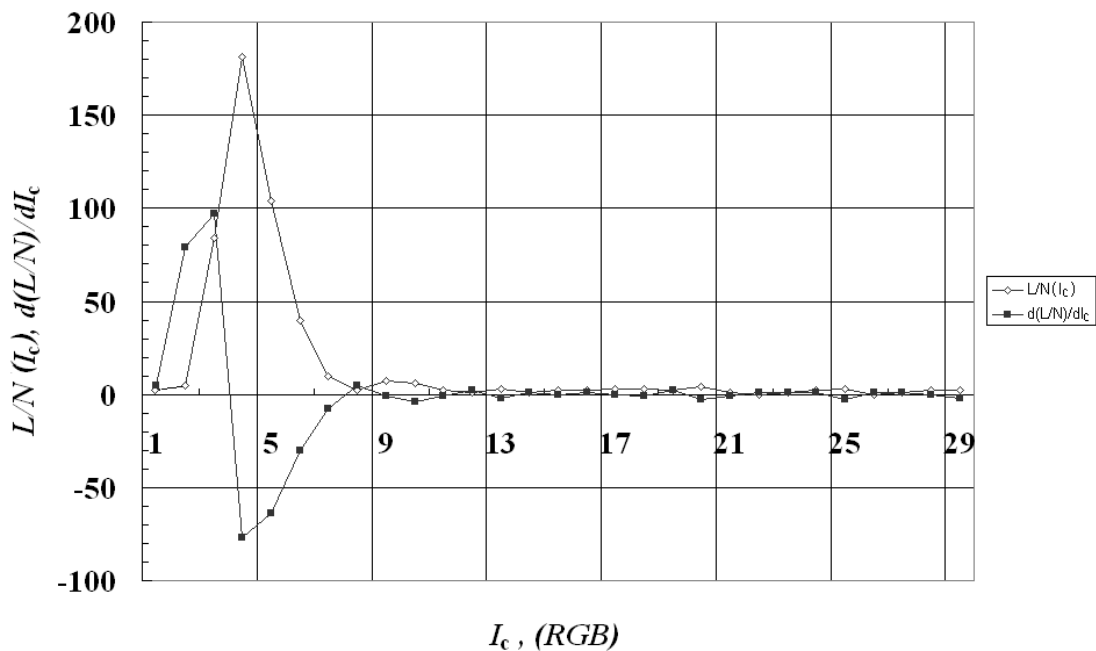


Рис. 6. Залежність питомої довжини міжпиксельної відстані червоної складової від критичної інтенсивності та її наближена похідна

З рис. 6 видно, що крива залежності сумарної відносної довжини міжпиксельної відстані червоної складової від критичної інтенсивності має характерний спад, а її похідна затухає при значеннях $I_k > 9$. Візуальне порівняння з рис. 5 показує, що оптимальне значення I_k знаходиться саме після характерного спаду кривої питомої довжини міжпиксельної відстані та, відповідно, в місті загасання її похідної. Це пов'язано з тим, що саме різке зменшення питомої міжпиксельної відстані обумовлене різким зменшенням кіль-

кості „шумових” пікселів на зображенні, які мають інтенсивність вище критичної. Спираючись на такі міркування, нескладно скласти алгоритм пошуку оптимального значення I_k за критерієм загасання амплітуди відповідної кривої.

При високому рівні фонові освітленості (рис. 4в) яскравість червоної складової світлих об'єктів може перевершувати яскравість розпізнаваної кривої. Отже, при таких умовах відбиток лазерного світла неможливо розпізнати на основі аналізу лише червоної складової зображення. В такому випадку для розпізнавання необхідно враховувати всі кольори, що утворюють зображення.

Виокремити червоні пікселі, що формують ІПК, можна за допомогою розрахунку значень квадрату середнього відхилення червоної або іншої складової, обрахованих за формулою:

$$S_{sq} = (I_R - \frac{I_R + I_G + I_B}{3})^2 \quad (1)$$

де S_{sq} – квадрат відхилення від середнього значення; I_R – червона складова; I_B – синя складова; I_G – зелена складова.

На рис. 4г представлений поверхневий графік просторового розподілу значень квадрату середнього відхилення червоної складової, обрахованих за формулою (1), що відповідає початковому зображенню (рис. 4а) та його відображенню (рис. 4в). На відповідній поверхні графіку (рис. 4г) спостерігається суттєве виокремлення червоних пікселів, що формують ІПК, не зважаючи на високий рівень фонові освітленості на початковому зображенні (рис. 4в).

В результаті експерименту було виявлено окремий клас шумових пікселів, утворених вторинним відбиттям світла ІПК від ділянок поверхонь з високим коефіцієнтом відбиття. Для усунення шумових пікселів такої природи можна застосовувати статистичний метод на основі оцінки одного з критеріїв підпорядкування нормальному закону. Одним з грубих критеріїв є Q-критерій Розенбаума, що визначає значні випадання із статистичного ряду [8].

Підрахунок Q-критерію в такому разі здійснюється за формулою:

$$Q = \left| \frac{y - y_n}{y_{\max} - y_{\min}} \right| \quad (2)$$

де y – ордината досліджуваного пікселя; y_n – ордината сусіднього до досліджуваного пікселя; $y_{\max}$ – найбільше у виборці значення ординати пікселя; $y_{\min}$ – найменше у виборці значення ординати. При оцінці за Q-критерієм слід враховувати розмір вибірки N , оскільки формула 2 вірна при $N=3..7$ [10]

Висновки

Дослідження методів первинної обробки дає підґрунтя вважати, що всі три описані методи придатні для використання при виокремленні ІПК з первинного зображення при різних умовах сканування.

Метод відсікання пікселів з рівнем інтенсивності кольору нижче критичного швидкодійний та ефективний при низькому рівні фонові освітлення.

Метод дисперсійного виокремлення пікселів ефективний при різних рівнях освітленості, але повільний.

Метод статистичного відбору пікселів з використанням грубого критерію оцінки придатний для кінцевої фази первинної обробки даних.

На наш погляд перший або другий метод первинної обробки даних слід вибрати у відповідності до рівня загального фону освітленості зображення. Така процедура легко алгоритмізується. Третій метод слід використовувати у парі з одним із перших двох.

Список літературних джерел

1. Сайт корпорації Laser Design Inc [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.laserdesign.com/products>.
2. Karel Pavelka, Tom Dolansk., 2003 Using of non-expensive 3d scanning instruments for cultural heritage documentation *New perspectives to save cultural heritage CIPA XIXth International Symposium, Antalya, Turkey*.
3. H. Mara, M. Kampel Automated Extraction of Profiles from 3D-Models of Archaeological Fragments *CIPA 2003 XIXth International Symposium, Antalya, Turkey*
4. Reznicek J. and Pavelka K., 2009 New low-cost 3D scanning techniques for cultural heritage Documentation 22nd CIPA Symposium. Kyoto, Japan. Traditional measurement and representation methods. partial B5, 2008.
5. S.Winkelbach, S.Molkenstruck, F.M.Wahl Low-Cost Laser Range Scanner and Fast Surface Registration Approach DAGM 2006, LNCS 4174, pp. 718–728, 2006, Springer Berlin Heidelberg 2006.
6. Friedrich M. Wahl Umdrucke zur Vorlesung Digitale Bildverarbeitung [Електронний ресурс] - режим доступу: <http://www.rob.cs.tu-bs.de/content/04-teaching/01-courses/00-robotik1/download/umdruck.pdf>.
7. В.А. Бичко, А.І. Цулун, особливості тривимірного сканування поверхні фізичних об'єктів// Вісник Чернігівського державного технологічного університету, серія Технічні науки №42 С.191 -2010р.
8. Сайт: „Статистика в аналітичній хімії” [Електронний ресурс] – режим доступу <http://chemstat.com.ru/node>.

УДК 621.383.51

О.А. Велігорський, канд. техн. наук**Д.В. Кулініч**, студент магістратури

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

*У статті розглянуті моделі фотоелектричних перетворювачів, для яких побудовані основні характеристики. Проведено порівняння характеристик моделі з експериментально отриманими даними для сонячної батареї УН116*116-12А/В250. Отримані результати можуть бути використані в подальшому для побудови систем слідкування за точкою максимальної потужності.*

Постановка проблеми.

На сьогоднішній день перед енергетикою стоїть багато проблем і найбільш гостра серед них – проблема її джерел. Близько 90% енергії ми отримуємо за рахунок джерел, які є невідновлювальними або екологічно брудними. Споживання енергії постійно зростає, в той час як запаси органічних джерел постійно зменшуються. За різними прогнозами, їх може вистачити від декількох десятків до сотні років. Атомна енергетика, запасів палива для якої вистачить на більший час, після подій 1986 року не розглядається як основний постачальник енергії. В зв'язку з цим постійно зростає увага до альтернативних джерел енергії, серед них однією з найбільш перспективних є енергія сонця, яка є майже невичерпною. Для перетворення енергії сонця в електричну енергію застосовують фотоелектричні перетворювачі, які з'єднуючи послідовно або паралельно об'єднують в сонячні батареї (СБ) [1].

Фотоелектричні перетворювачі (ФЕП) – пристрої на основі напівпровідникових фотоелементів, призначені для перетворення сонячної енергії в електричну, які використовуються в якості джерел живлення електронних систем. Вони широко застосовуються як в космічній так і в наземній енергетиці.

Основною характеристикою сонячної батареї є вольт-амперна характеристика (ВАХ), на основі якої можна побудувати залежність потужності, яка віддається в навантаження від напруги. ВАХ СБ є суттєво нелінійною (рис. 1) [1], і залежить як від потужності сонячного випромінювання W , так і від температури T р-п переходу СБ. Зазначена нелінійність призводить до того, що точка максимальної потужності (A на рис. 1) буде змінювати своє положення при зміні часу доби або погодних умов, і, відповідно, змінюватиметься оптимальне навантаження $R_{H\text{ опт}}$ при якому від СБ відбиратиметься максимальна потужність P_{MAX} . Зрозуміло, що підключення СБ напряму до навантаження з незмінним опором призведе до неефективного використання батареї, тому для їх більш ефективного використання навантаження повинно підключатись через систему слідкування за точкою максимальної потужності (ССТМП). Основною задачею даної системи є максимально швидко вивести робочу точку ФЕП в точку максимальної потужності A (ТМП), та підтримувати її в ній при зміні потужності сонячного випромінювання та температури. Застосовуючи ФЕП з ССТМП, яка працює за певним алгоритмом, можна суттєво підвищити ефективність їх використання, що є дуже важливим, враховуючи їх відносно невеликий коефіцієнт корисної дії [2,0,4].

Розробка ССТМП є досить складним процесом, для реалізації якого необхідно знати ВАХ ФЕП та діапазон зміни рівня потужності сонячного випромінювання в регіоні, де буде використовуватись система. Отримати ВАХ ФЕП можна аналітично, шляхом моделювання та фізичного експерименту. Ускладнює поставлену задачу той факт, що за-

звичай підприємства-виробники сонячних батарей в довідникових даних не наводять ВАХ, а обмежуються лише її максимальними параметрами – напругою холостого ходу U_{xx} та струмом короткого замикання I_{k3} . Саме тому під час розробки ССТМП доцільно разом з моделями використовувати експериментально отримані дані.

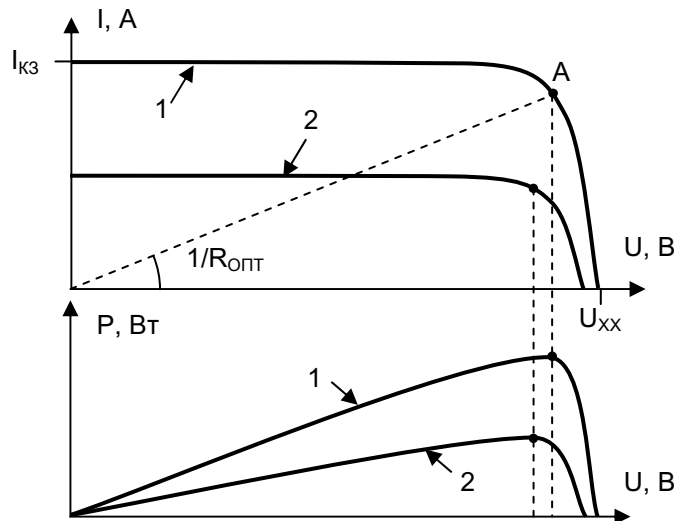


Рис. 1. Положення точки максимальної потужності на ВАХ та характеристики потужність - напруга сонячної батареї

Враховуючи важливість ВАХ для побудови ССТМП, моделюванню та аналітичним розрахункам присвячена велика кількість наукових публікацій [0,5,6]. Основна увага в них відводиться отриманню математичних моделей СБ [5,6], та використанню отриманих ВАХ для побудови ССТМП [0]. Однак, в розглянутих роботах як правило наводяться результати лише для СБ певних виробників, які дуже важко придбати в Україні, або ж вони коштують дорожче наявних на нашому ринку аналогів.

Цілі статті.

Метою роботи є отримання аналітичної та змодельованої в пакеті Matlab ВАХ сонячної батареї (YN116*116-12A/B250), які можна було б використати для розробки ССТМП, а також їх порівняння з характеристиками, отриманими експериментально.

Схема заміщення фотоелементу.

СБ складається з сукупності фотоелементів, з'єднаних між собою певним чином. Спосіб підключення (паралельно, послідовно) можна легко врахувати, тому для початку знайдемо математичний опис і проведемо моделювання для одного фотоелементу. Модель повинна точно описувати ВАХ реальної СБ та її залежність від температури та потужності сонячного випромінювання.

Оскільки фотоелемент фактично є р-п структурою, то широкого розповсюдження знайшли моделі, основані на ідеальному діоді (рис.2) [7]. Джерело струму J моделює створений у фотогальванічному елементі струм, який викликаний дією фотонів. При постійній температурі та потужності сонячного випромінювання він постійний, і на еквівалентній схемі заміщення позначається, як I_{ϕ} .

Навантаження, яке підключається до фотоелементу, на схемі позначено як R_H , а струм, який по ньому протікає – I_H . У випадку короткого замикання навантаження ($R_H=0$) $I_{\phi}=I_H=I_{k3}$, тобто, весь струм утворений фотоелементом йде до навантаження. Однак, падіння напруги при цьому буде дорівнювати нулю. При збільшенні опору R_H ,

падіння напруги на діоді VD буде збільшуватися, і при певному значенні R_H діод почне відкриватись, що призведе до зменшення струму в навантаженні I_H . При холостому ході на навантаженні ($R_H = \infty$) весь струм буде протікати через діод ($I_D = I_H$), а падіння напруги буде дорівнювати напрузі на відкритому діоді U_{XX} , для кремнієвих фотоелементів $U_{XX} \approx 0,6V$. В залежності від фотоелементу та зовнішніх факторів (температура, потужність сонячного випромінювання), існуватиме оптимальне співвідношення напруги та струму, при якому їх добуток буде максимальним (опір навантаження $R_{H\text{ опт}}$).

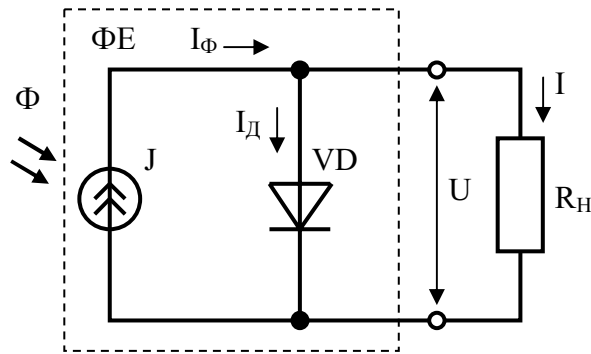


Рис. 2. Еквівалентна схема заміщення фотоелемента

Вихідний струм фотоелемента, у відповідності до рисунку 2, можна знайти за законом Кірхгофа:

$$I = I_{K3} - I_D. \quad (1)$$

де I – вихідний струм фотоелемента,

I_{K3} – струм короткого замикання фотоелемента, наводиться в довідкових даних,

I_D – струм діоду еквівалентної схеми заміщення.

Струм, який протікає через діод [1]:

$$I_D = I_0 \cdot \left(e^{\frac{qU}{kT}} - 1 \right), \quad (2)$$

де I_0 – зворотний струм насичення діоду,

q – заряд електрона,

U – вихідна напруга фотоелемента,

k – постійна Больцмана,

T – температура р-n переходу.

Заміняючи I_D із рівняння (1) на рівняння (2), отримуємо зв'язок між I та U фотоелемента:

$$I = I_{K3} - I_0 \cdot \left(e^{\frac{qU}{kT}} - 1 \right). \quad (3)$$

Зворотній струм насичення діода (I_0) є константою при постійній температурі і його можна знайти з режиму холостого ходу. З формули (3) при $I=0$ знайдемо:

$$I_0 = \frac{I_{K3}}{\left(\frac{U}{e^{\varphi_T}} - 1 \right)}. \quad (4)$$

З формули (4) можна знайти U_Φ – фото-ЕРС:

$$U_\Phi = \varphi_T \cdot \ln \left(\frac{I_{K3}}{I_0} + 1 \right), \quad (5)$$

Потік фотонів генерує струм, який еквівалентний I_{K3} і прямо пропорційний потужності сонячного випромінювання W [1]. Таким чином, якщо значення I_{K3} відоме з документації при стандартних умовах (I_{K3W_0} при $W_0=1000$ Вт/м² та сонячному спектрі АМ 1,5 – на широті 45°), то потік фотонів при іншому значенні W (Вт/м²) створюватиме струм I_{K3W} :

$$I_{K3W} = \frac{W}{W_0} \cdot I_{K3W_0}. \quad (6)$$

Побудуємо ВАХ ФЕ сонячної батареї з наступними параметрами [8]: $I_{K3}=0.275$ А, $U_{XX}=14.4$ В, $N=24$ (кількість фотоелементів у панелі), $U_{XX\text{ ФЕ}}=0,6$ В (напруга холостого ходу одного фотоелементу).

За допомогою формули (4) знайдемо зворотний струм насичення I_0 , при якому $U_{XX}=0,6$ В:

$$I_0 = \frac{0.275}{\left(\frac{0.6}{e^{0.025}} - 1 \right)} = 1.0382 \cdot 10^{-11} \text{ А}. \quad (7)$$

По формулі (6) знайдемо струм короткого замикання ФЕ при $W=500$ Вт/м²:

$$I_{K3500} = \frac{500}{1000} \cdot 0.275 = 0.1375 \text{ А}. \quad (8)$$

З формули (5) знайдемо значення фото-ЕРС для потужності сонячного випромінювання 500 Вт/м²:

$$U_\Phi = 0.025 \cdot \ln \left(\frac{0.1375}{2 \cdot 1.0382 \cdot 10^{-11}} + 1 \right) = 0.565 \text{ В}. \quad (9)$$

По наведених вище формулах побудуємо ВАХ фотоелементу при різних значеннях потужності сонячного випромінювання, рис. 3.

Як видно з рис. 3, струм, який генерується фотоелементом, буде постійним від режиму короткого замикання до напруги 0,45 В.

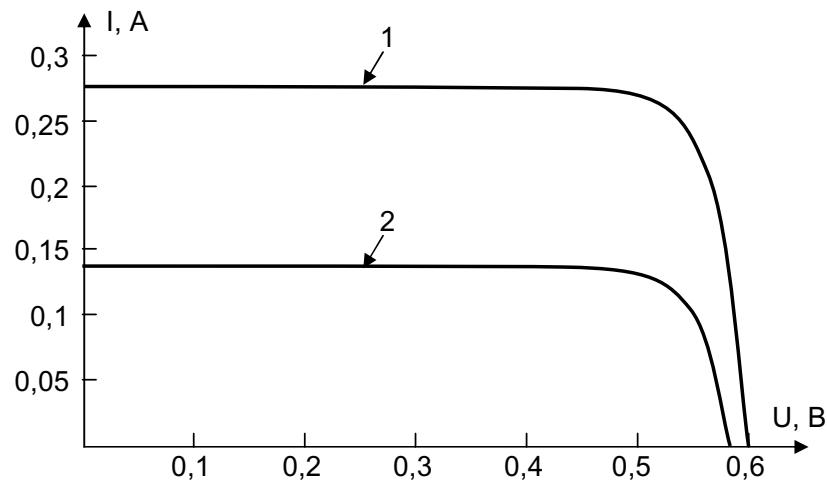


Рис. 3. Теоретична ВАХ фотоелементу при різних значеннях потужності сонячного випромінювання та $T=25^{\circ}\text{C}$, 1 – $W=1000 \text{ Вт/м}^2$, 2 – $W=500 \text{ Вт/м}^2$

Моделювання ФЕ у Matlab.

Широке розповсюдження фотоелементів в останні роки призвело до того, що розробники програмного забезпечення почали додавати їх математичні моделі до систем моделювання. Починаючи з версії 7 спрощена модель сонячної батареї з'явилась і в системі Matlab, на рис. 4 показана схема для зняття її ВАХ.

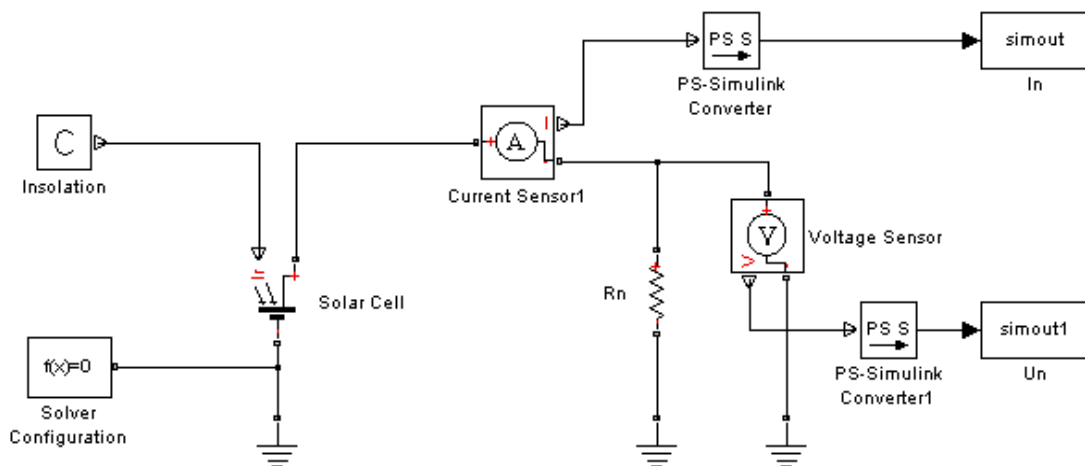


Рис. 4. Схема для зняття ВАХ з моделлю ФЕ із бібліотеки Simulink: Insolation – блок встановлення величини потужності сонячного випромінювання, Solar Cell – сонячна батарея, Rn – опір навантаження

Задамо наступні параметри ФЕ: зворотний струм насичення $I_0=1.9 \cdot 10^{-11} \text{ А}$; температура р-п переходу $T=25^{\circ}\text{C}$; струм короткого замикання $I_{K3}=0.275 \text{ А}$; потужність сонячного випромінювання $W=1000 \text{ Вт/м}^2$; кількість фотоелементів $N=1$; послідовний опір фотоелементу $R_S=0.01 \text{ Ом}$, які відповідають основним параметрам для одного фотоелементу сонячної батареї УН116*116-12А/В250 [8].

Результати моделювання ВАХ фотоелементу СБ при різних значеннях потужності сонячного випромінювання показані на рис. 5. Як видно з рис. 5, струм короткого замикання прямо пропорційний потужності сонячного випромінювання W , в той час як напруга холостого ходу логарифмічно залежить від W , асимптотично наближаючись до

0,6 В. Отже, ВАХ ФЕ побудована на основі теоретичних результатів, збігається з про-
модельованою в Matlab.

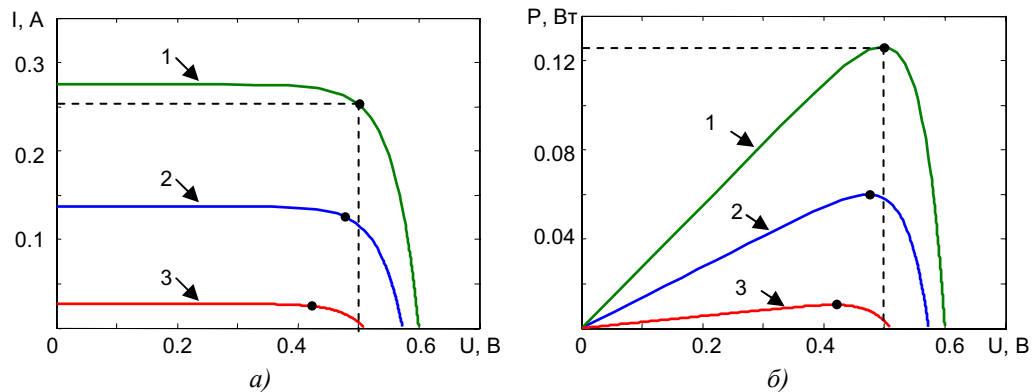


Рис. 5. ВАХ (а) та залежність $P-U$ (б) моделі ФЕ з бібліотеки Simulink при $T=25^{\circ}\text{C}$, 1 – $W=1000 \text{ Bm/m}^2$, 2 – $W=500 \text{ Bm/m}^2$, 3 – $W=100 \text{ Bm/m}^2$

Суттєвим недоліком вбудованої моделі Simulink є те, що вона не враховує вплив температури на параметри, що ускладнює створення системи стабілізації точки максимальної потужності. Використовуючи рівняння (2), в пакеті Matlab (Simulink) була створена вдосконалена температурно-залежна модель двох послідовно з'єднаних сонячних батарей, які складаються з 12 послідовно включених діодів. Кожна з СБ має наступні параметри: $P_{\text{МТМ}} = 1.5 \text{ Вт}$, $I_{\text{КЗ}} = 0.275 \text{ А}$, $U_{\text{ХХ}} = 7.2 \text{ В}$. Для врахування залежності напруги холостого ходу та струму короткого замикання від температури введені наступні коефіцієнти: $T_{\text{КЗ}} = 0.065 \pm 0.015 \text{ \%}/^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{ХХ}} = -27 \pm 3 \text{ мВ}/^{\circ}\text{C}$.

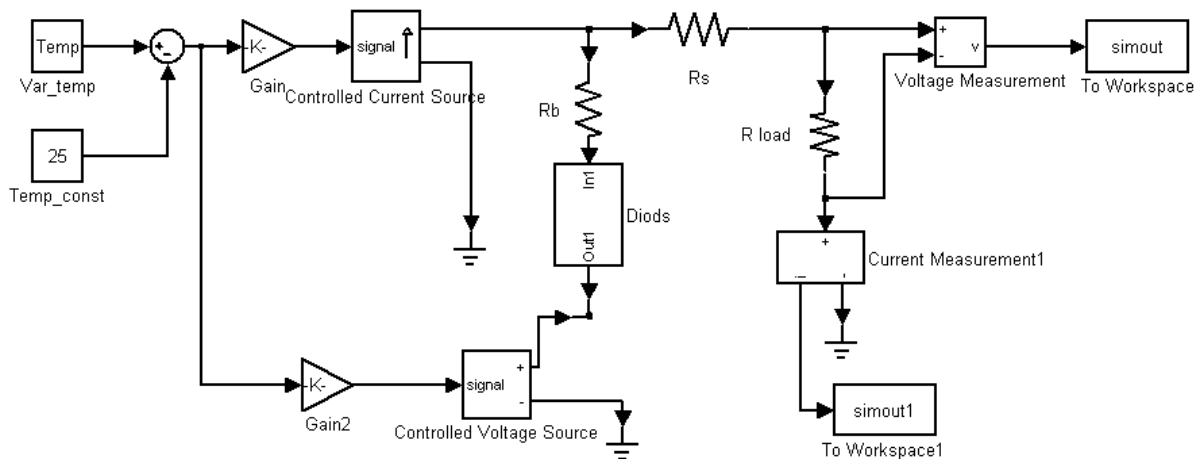


Рис. 6. Модель сонячної батареї: R_s – послідовний опір СБ, R_b – опір бази діодів, R_{load} – опір навантаження

Використовуючи модель (рис. 6), були побудовані залежності $I=f(U)$ та $P=f(U)$ (рис. 7) при зміні поверхневої густини потужності сонячного випромінювання (W , Вт/м^2) та температури (T , $^{\circ}\text{C}$).

Як видно з побудованих залежностей, збільшення температури суттєво зменшує максимальну потужність, що віддає СБ (при $T=25^{\circ}\text{C}$ $W=3,25 \text{ Вт}$, при $T=65^{\circ}\text{C}$ $W=2,65 \text{ Вт}$). Отримані результати були порівняні з експериментальними даними для двох послідовно включених СБ УН116*116-12А/В250 (рис. 8, травень 2010 року, $T=23^{\circ}\text{C}$, $W \approx 1000 \text{ Вт/м}^2$).

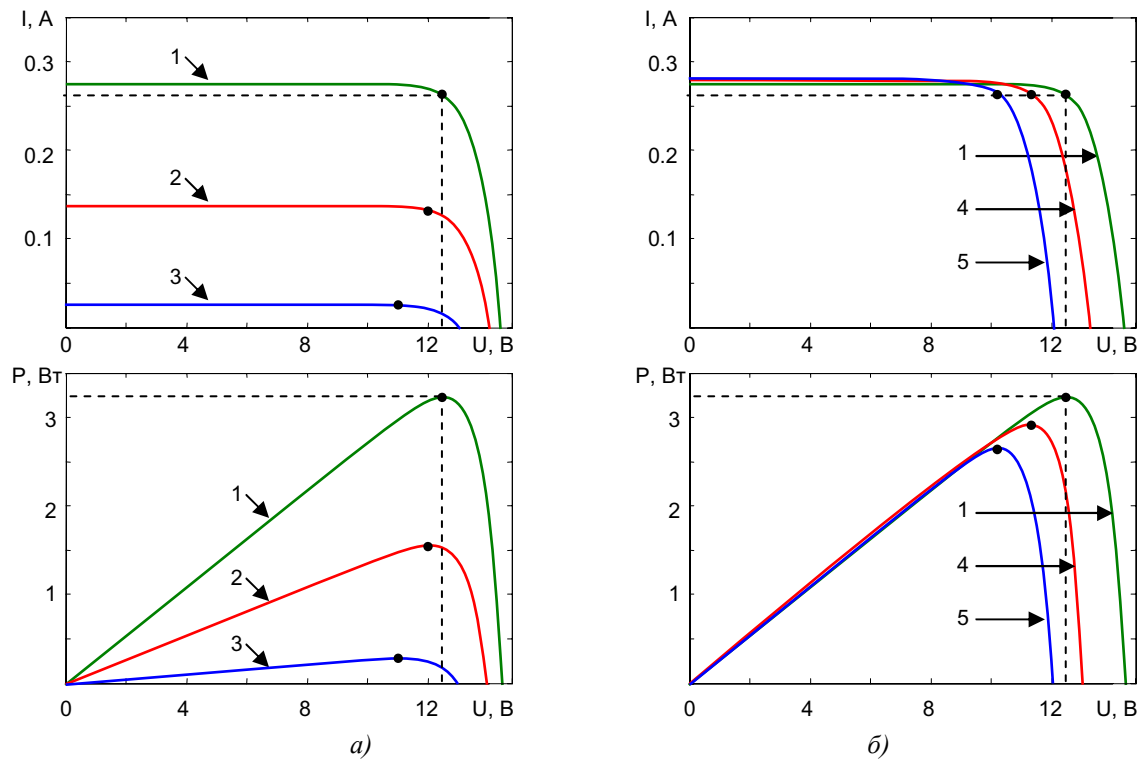


Рис. 7. ВАХ та характеристика $P-U$ вдосконаленої моделі СБ при зміні потужності сонячного випромінювання (а) та температури (б), 1 – $W=1000 \text{ Вт/м}^2$ при $T=25^\circ\text{C}$, 2 – $W=500 \text{ Вт/м}^2$ при $T=25^\circ\text{C}$, 3 – $W=100 \text{ Вт/м}^2$ при $T=25^\circ\text{C}$, 4 – $W=1000 \text{ Вт/м}^2$ при $T=45^\circ\text{C}$, 5 – $W=1000 \text{ Вт/м}^2$ при $T=65^\circ\text{C}$

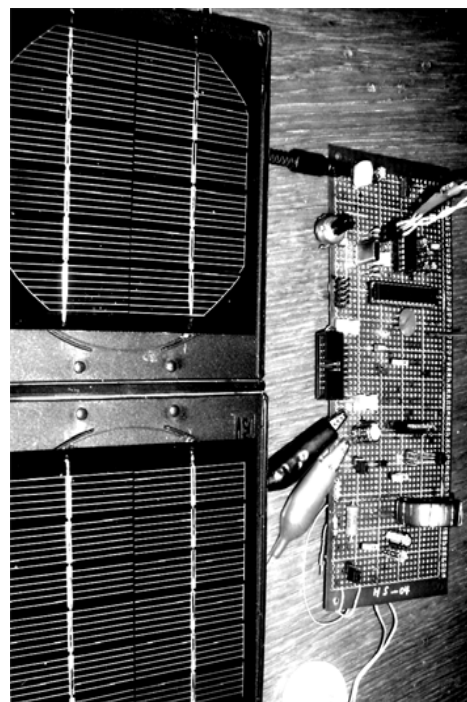
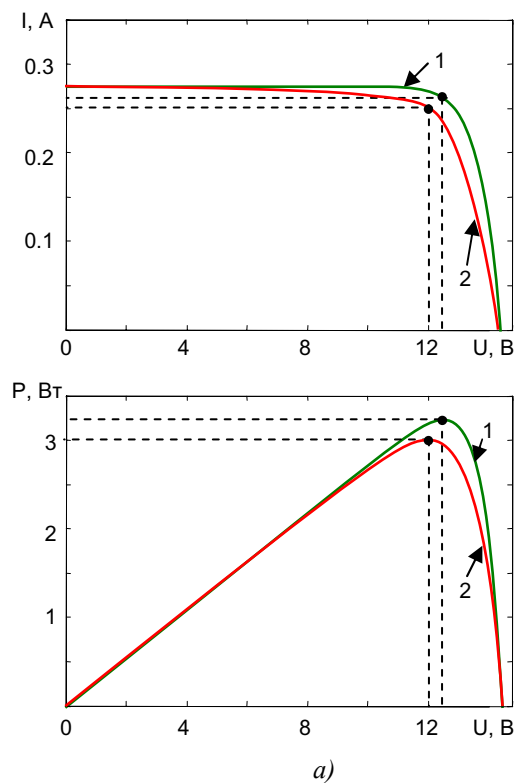


Рис. 8. Порівняння результатів моделювання (1) та експериментальних даних (2) при $W=1000 \text{ Вт/м}^2$ та $T=25^\circ\text{C}$ (а); фото двох СБ УН116*116-12А/В250 з системою стабілізації точки максимальної потужності (б)

Суттєвою складністю при побудові експериментальних ВАХ виявилось наступне:

- вимірювання потужності сонячного випромінювання та проведення експерименту при фіксованому $W \approx 1000 \text{ Вт/м}^2$ (вимірювалась фотодатчиком APDS-9002 [9]),
- зняття характеристик при певних фіксованих параметрах температури T (температура панелі вимірювалась напівпровідниковим датчиком DS18B20 [10]).

Як видно з порівняння характеристик, вцілому результати моделювання збігаються з експериментально отриманими даними. Відмінністю є те, що «коліно» експериментальної кривої більш полого, і в результаті точка максимальної потужності зміщується в бік менших напруг зі зменшенням її абсолютної величини (максимальна потужність за результатами моделювання $P_{\text{MAX}}=3,25 \text{ Вт}$, експериментальне значення – $P_{\text{MAX}}=3 \text{ Вт}$).

Висновки і пропозиції.

- проведено моделювання сонячної батареї YH116*116-12A/B250 в пакеті Matlab, отримані ВАХ при різних температурах та рівнях потужності сонячного випромінювання;
- запропоновано покращену Matlab-модель сонячної батареї, яка враховує вплив температури р-п переходу на ВАХ;
- встановлено, що точка максимальної потужності сонячної батареї YH116*116-12A/B250 зміщена в бік менших напруг та має менше абсолютне значення у порівнянні з результатами моделювання в пакеті Matlab.

Список літературних джерел.

1. Roger Messenger. Photovoltaic Systems Engineering / Roger Messenger, Jerry Ventre. – [2nd Edition]. – CRC Press, 2003. – 480 p.
2. Roberto Faranda. Energy comparison of MPPT techniques for PV Systems / Roberto Faranda, Sonia Leva // WSES transaction on power systems. – 2008. Vol. 3, №6. – P. 446-455.
3. Vikrant.A.Chaudhari. Automatic Peak Power tracker for solar PV modules using dSPACER software: Master work / Vikrant.A.Chaudhari. – Bombay, 2005. – 98 p.
4. Chihchiang Hua. Implementation of a DSP-Controlled Photovoltaic System with Peak Power Tracking / Chihchiang Hua, Jongrong Lin, and Chihming Shen // IEEE transactions on industrial electronics. – 1998. Vol. 45, №1. – p. 99-107.
5. Huan-Liang Tsai. Development of Generalized Photovoltaic Model Using MATLAB/SIMULINK / Huan-Liang Tsai, Ci-Siang Tu, and Yi-Jie Su // Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Sciences. – 2008. – 6 p.
6. Francisco M. González-Longatt. Model of Photovoltaic Module in Matlab™ / Francisco M. González-Longatt // 2 congreso iberoamericano de estudiantes de ingeniería eléctrica, electrónica y computación, 2005. – 5 p.
7. Васильєва Л.Д. Напівпровідникові прилади: Підручник / Васильєва Л.Д., Медведенко Б.І., Якименко Ю.І. – К.: ІВЦ “Видавництво «Політехніка»”, 2003. – 338 с.
8. Солнечные модули из монокристаллического кремния YH116*116-12A/B250-YH116*116-12A/B250-M. [електронний ресурс] – режим доступу до документу: <http://www.kosmodrom.com.ua/pdf/S1195.pdf>
9. Agilent APDS-9002 Miniature Surface-Mount Ambient Light Photo Sensor Data Sheet. [електронний ресурс] – режим доступу до документу: <http://www.avagotech.com/docs/5989-3051EN>
10. DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer. [електронний ресурс] – режим доступу до документу: <http://pdfserv.maxim-ic.com/en/ds/DS18B20.pdf>

УДК 004.312

В.Ю. Птіцин, студент**О.В. Щерба**, ст. викладач

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДІВ ТЕСТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ПАМ'ЯТІ

Розглянуті проблеми виявлення несправностей елементів пам'яті. Проведений аналіз деяких відомих методів тестування елементів пам'яті та алгоритмів їх виконання. Експериментально встановлено залежність часу виконання тесту від об'єму та типу пам'яті.

Вступ

У найближчому майбутньому питома вага пам'яті на кристалі буде становити більше 90% від його загального обсягу [1]. Це дозволить збільшити швидкодію, а також забезпечить гнучкість при використанні програмного забезпечення. Отже, зростає й актуальність ефективного тестування елементів пам'яті на наявність несправностей. Процедура тестування, як правило, здійснюється за допомогою BIST-блоку (Built-In Self Test), розташованого на кристалі [1]. Даний блок виконує подачу тестових послідовностей та аналіз реакції виходів пам'яті на їхній вплив.

Постановка проблеми

Під час виготовлення та експлуатації елементів пам'яті в деяких комірках можуть виникати несправності. Для їхнього виявлення виконується процес тестування, який полягає в подачі тестових послідовностей на входи мікросхеми пам'яті по певному алгоритму. Існує декілька основних типів несправностей: несправності при перемиканні дешифраторів адреси (AFs), константні несправності комірок пам'яті (SAFs), несправності взаємного впливу комірок пам'яті (CFs), а також перехідні несправності (TFs) [2]. Визначення оптимального співвідношення тривалості тесту та покриття ним несправностей є основним завданням при виборі алгоритму тестування (тесту).

Виклад основного матеріалу дослідження

Для генерації набору тестових послідовностей використовується діагностична модель пам'яті. В якості моделі застосовується оперативний запам'ятовуючий пристрій (ОЗП), що містить n однобітових комірок, які можуть приймати значення або нуля, або одиниці [3].

Для тестування елементів пам'яті існують різні тести, які відрізняються кількістю циклів звертання до пам'яті. Тести можна розбити на наступні типи: типу n циклів, n^2 циклів, $n^{\frac{3}{2}}$ циклів та $\log_2 n$ циклів [4]. Тип тесту визначає, якому значенню пропорційна його тривалість.

Найпростішими є тести першого типу. Ці тести мають найменшу тривалість, однак не гарантують виявлення всіх видів несправностей. До даного типу належить тест «Послідовний запис-зчитування». У даному тесті відбувається запис по всіх адресах пам'яті, після чого виконується читання по всіх адресах. Тест повторюється з інверсними даними. Тривалість тесту становить усього $4n$ циклів, де n – кількість комірок пам'яті. З його допомогою можна визначити константні несправності комірок пам'яті (SAFs) і перехідні несправності (TFs). Однак використання даного тесту не гарантує перевірку дешифраторів адреси.

Особливу групу тестів типу n циклів становлять маршові тести. Традиційно маршовий тест складається з послідовності фаз, кожна з яких містить операції читання та запису, причому всі фази завжди починаються з операції читання [2]. Порівняльна характеристика тестів цієї групи наведена в таблиці 1.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика маршових тестів

Тест	Тривалість тесту, циклів (n – кількість комірок пам'яті)	Несправності			
		SAF	TF	CF	AF
MATS	$4n$	+	-	-	+/-
MATS+	$5n$	+	-	-	+
MATS++	$6n$	+	+	-	+
MARCH X	$6n$	+	+	+/-	+
MARCH Y	$8n$	+	+	+/-	+
MARCH C-	$10n$	+	+	+/-	+
MARCH C	$11n$	+	+	+/-	+
MARCH A	$15n$	+	+	+/-	+
MARCH B	$17n$	+	+	+/-	+

Оптимальне співвідношення тривалості виконання тесту й покриття несправностей має тест March C-. Виконання тесту, для пам'яті з кількістю комірок n , починається із запису фону, наприклад, нулів по всіх адресах, далі зчитується 0 і записується 1 з послідовним збільшенням адрес від 0 до $n-1$, після чого зчитується 1 і записується 0 з послідовним збільшенням адрес від 0 до $n-1$. Дані дії повторюються зі зменшенням адрес від $n-1$ до 0. Зчитується фон по всіх адресах. За допомогою тесту March C- виявляються несправності при перемиканні дешифраторів адреси (AFs), константні несправності комірок пам'яті (SAFs), несправності взаємного впливу комірок пам'яті (CFs), а також деякі перехідні несправності (TFs). Тривалість тесту становить $10n$ циклів, де n – кількість комірок пам'яті.

Тести типу n^2 циклів мають кращу ефективність, ніж тести типу n циклів, однак мають й більшу тривалість. За допомогою тестів типу n^2 циклів можна визначити наявність несправностей при перемиканні дешифраторів адреси (AFs), константні несправності комірок пам'яті (SAFs), несправності взаємного впливу комірок пам'яті (CFs), а також всі перехідні несправності (TFs). Найбільш відомими тестами даного типу є тест Walking 1/0 і тест «Галоп» (Galpat). Перший тест виконується в такий спосіб. Спочатку в усі комірки пам'яті записується фон, наприклад нулі, тоді в першу (базову) комірку записується одиниця. Після чого відбувається зчитування фону з усіх інших комірок (виявляються CFs й SAFs), і одиниці з першої (виявляються TFs). У першу комірку заноситься фон. Дана послідовність дій повторюється для всіх комірок, а потім усе повторюється з інверсними даними. Тривалість тесту становить $2(2n + n^2)$ циклів, де n – кількість комірок пам'яті [4].

Алгоритм роботи тесту «Галоп» схожий на алгоритм роботи тесту Walking 1/0. Різниця полягає в тому, що зчитування фону відбувається не зі всіх комірок пам'яті один по одному, а попарно з базовою коміркою. Даний тест більш ефективно перевіряє пра-

цездатність дешифраторів адреси, ніж попередній. Тривалість тесту становить $2(2n + 2n^2)$ циклів, де n – кількість комірок пам'яті [4].

Для мікросхем великої ємності виконання тестів типу n^2 циклів буде займати тривалий час. Зменшити цей час можна шляхом застосування тестів типу $n^{\frac{3}{2}}$ циклів. Тести даного типу є модифікаціями тестів типу n^2 циклів шляхом зменшення кількості зчитувальних комірок. У даних тестах зчитуються тільки комірки тих рядків, стовпців і діагоналей, у яких розташована базова комірка.

У результаті модифікації тесту «Галоп» виходять наступні тести: «Галоп по стовпцю», «Галоп по рядку» та «Галоп по діагоналі». Алгоритм їхнього виконання аналогічний алгоритму тесту «Галоп» з тією лише різницею, що попарно з базовою коміркою зчитуються тільки комірки стовпця, рядка або діагоналі, в якій знаходиться базова комірка.

Тест «Метелик» (Butterfly) є комбінацією тестів «Галоп по стовпцю» й «Галоп по рядку». Тест виконується в такий спосіб. Спочатку в усі комірки пам'яті записується фон, наприклад нулі, тоді в першу (базову) комірку записується одиниця. Відбувається попарне зчитування базової комірки та комірок, розташованих в одному рядку з базовою. Далі відбувається попарне зчитування базової комірки й комірок, розташованих в одному стовпці з базовою. У першу комірку заноситься фон. Дана послідовність дій повторюється для всіх комірок, а потім все повторюється з інверсними даними. Тест «Метелик» виявляє ті самі несправності, що й інші галопуючі тести. Тривалість тесту становить $12n^{\frac{3}{2}}$ циклів, де n – кількість комірок пам'яті [4].

У таблиці 2 наведена порівняльна характеристика описаних тестів.

Таблиця 2

Порівняльна характеристика описаних тестів

Тест	Тип тесту	Тривалість тесту, циклів (n – кількість комірок пам'яті)	Несправності			
			SAF	TF	CF	AF
Послідовний запис-зчитування	n	$4n$	+	+	-	-
March C-	n	$10n$	+	+	+/-	+
Галоп	n^2	$2(2n + 2n^2)$	+	+	+	+
Walking 1/0	n^2	$2(2n + n^2)$	+	+	+	+/-
Метелик	$n^{\frac{3}{2}}$	$12n^{\frac{3}{2}}$	+	+	+	+

Співвідношення тривалості описаних тестів показано на рисунку 1.

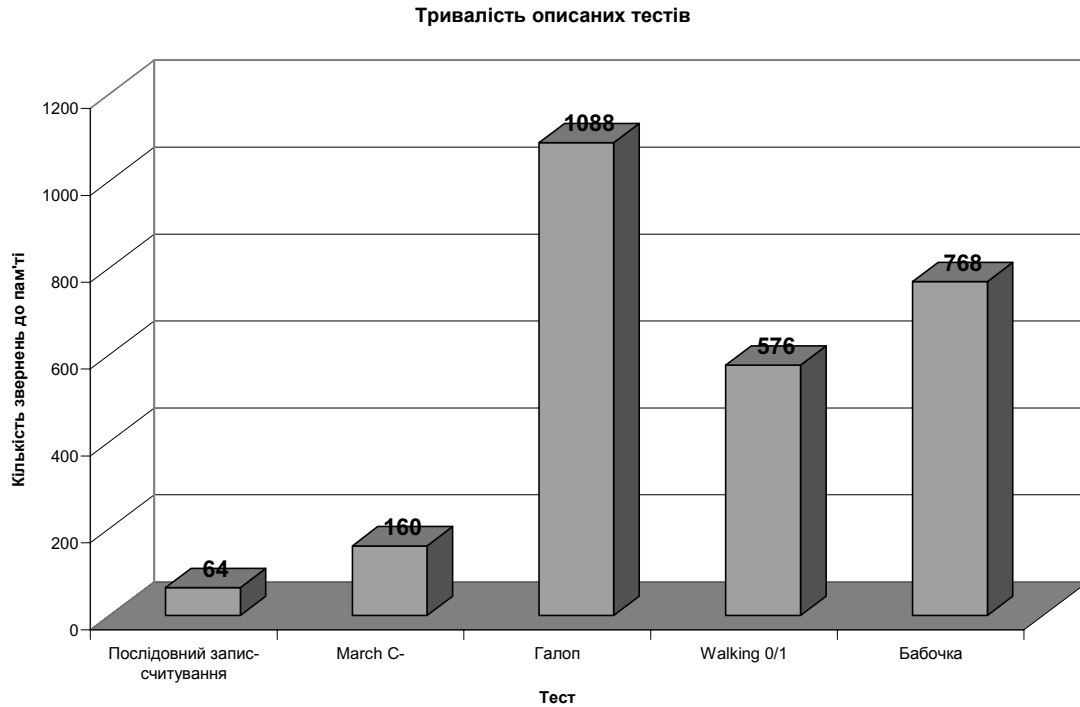


Рис. 1. Співвідношення тривалості описаних тестів

Експериментальна частина

Для сигнального процесора TMS320C6713, з тактовою частотою 225МГц, що знаходиться на стенді DSK6713, були реалізовані тести: «Галоп», Walking 1/0, «Послідовний запис-зчитування» та March C-. У результаті виконання тестів для різних типів та об'ємів пам'яті були отримані наступні результати.

За допомогою тестів тестувалась внутрішня статична оперативна пам'ять (SRAM) процесора TMS320C6713. Час виконання тестів для різного об'єму пам'яті представлено в таблиці 3.

Таблиця 3

Час виконання тестів для SRAM

Тест	Час виконання тестів для різних об'ємів пам'яті, с.			
	16Kb	32Kb	48Kb	64Kb
Послідовний запис-зчитування	менше 1	менше 1	менше 1	менше 1
March C-	менше 1	менше 1	менше 1	менше 1
Галоп	8	32	72	136
Walking 1/0	4	22	52	98

За допомогою тестів «Послідовний запис-зчитування» та March C- була протестована мікросхема синхронної динамічної пам'яті (SDRAM) – MT48LC2M32B2, що знаходиться на стенді DSK6713. Об'єм пам'яті мікросхеми – 16 Мегабайт. Час виконання тестів для різного об'єму пам'яті представлено в таблиці 4.

Таблиця 4

Час виконання тестів для SDRAM

Тест	Час виконання тестів для різних об'ємів пам'яті, с.		
	4Mb	8Mb	16Mb
Послідовний запис-зчитування	менше 1	1	3
March C-	1	3	7

Тести «Галоп» й Walking 1/0 не виконувались для мікросхеми SDRAM, оскільки вони мають велику тривалість.

Висновки

Тести «Галоп» й Walking 1/0 мають найкраще покриття несправностей, однак вони мають і найбільшу тривалість. Дані тести не підходять для тестування великих об'ємів динамічної пам'яті. Їхнє застосування оптимально для швидкодіючої SRAM, невеликого об'єму.

Для тестування великих обсягів пам'яті необхідно використати тести типу *n* циклів. За допомогою тесту March C- можна забезпечити майже повне покриття несправностей, при відносно малій тривалості тесту.

Жоден з тестів не може точно визначити тип несправності. Можна визначити адресу, по якій виявлена несправність (для константних несправностей, несправностей взаємного впливу, а також перехідних несправностей), або встановити наявність несправності (при несправності дешифраторів адреси). Однак при проведенні тестів послідовно можна відносно точно судити про тип виявлених несправностей.

Список літературних джерел

1. Проектирование и тестирование цифровых систем на кристаллах/ В.И. Хаханов, Е.И. Литвинов, О.А. Гузь. – Харьков ХНУРЭ. – 2009. – 484с.
2. Формирование адресных последовательностей с максимальным средним хэмминговым расстоянием для многократного тестирования ОЗУ/ Ярмолик С.В. С.В. Ярмолик, В.Н. Ярмолик //Информатика. – 2006. – № 4. – С. 88–96.
3. Обнаружение кодочувствительных неисправностей запоминающих устройств с многократным использованием маршевых тестов/ Ярмолик С.В. С.В. Ярмолик, В.Н. Ярмолик //Информатика. – 2006. – № 1. – С. 104–129.
4. Проектування і діагностика комп'ютерних систем і мереж: Навч. Посібник/ М.Ф. Бондаренко, Г.Ф. Кривуля, В.Г. Рябцев, С.О. Фрадков, В.І. Хаханов. – К: НМЦ ВО, 2000. – 306с. – Рос. Мовою.

УДК 004.94

О.Ю. Жолобко, студент

О.В. Щерба, ст. викладач

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ОБ'ЄКТНА МОДЕЛЬ ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ

Розглянуті проблеми моделювання цифрових систем. Проведений аналіз поширених моделей цифрових пристроїв. Запропонована об'єктна модель. Приведений приклад побудови об'єктної моделі.

Вступ

У сучасному світі широке розповсюдження цифрових пристроїв і постійна висока потреба в цифрових виробках роблять критичним питання тривалості їх виробництва. Звідси витікає підвищений інтерес до проблем технічного діагностування цифрових систем. Введення тестування економічно доцільно на всіх етапах життєвого циклу і всіх рівнях інтеграції цифрової системи. Але під час розробки засобів тестового діагностування виникає складність у визначенні еталонних реакцій для існуючих схем, у визначенні оптимального числа контрольних точок для зняття вихідної реакції цифрової системи. Це можна зробити двома шляхами: створення прототипу цифрового пристрою та проведення його діагностування апаратними засобами, або виконання моделювання. Найбільш раціональним є другий підхід, адже він дозволяє моделювати поведінку цифрової системи на стадії проектування без її фізичної реалізації, а також створювати тестові набори для виявлення фізичних дефектів шляхом моделювання несправностей.

Побудова та аналіз тестів – найбільш важливі та трудомісткі завдання технічної діагностики. Сучасна методологія аналізу побудови тестів передбачає використання програмних засобів імітаційного моделювання. При цьому модель системи представляється у вигляді сукупності моделей її складових. Формування моделей елементів є досить нелегкою і відповідальною процедурою, яка визначає достовірність результатів моделювання, а також, в значній мірі, витрати часу і пам'яті при моделюванні. Автоматизація процесу підготовки моделей дозволяє скоротити витрати часу, оптимізувати моделі і виключити помилки при їх формуванні.

Аналіз існуючих моделей

Суть моделювання полягає в побудові моделі досліджуваного пристрою – системи співвідношень, що описує поведінку цього пристрою із заданою точністю і подальшому аналізі поведінки моделі з її реакції на вхідні впливи. За допомогою моделювання вирішуються наступні основні завдання:

- перевірка правильності функціонування пристрою;
- аналіз часових характеристик;
- отримання еталонних значень вихідних сигналів;
- отримання тестових наборів і визначення їх діагностичних властивостей.

В модель пристрою виділяють три складові: моделі елементів, моделі сигналів, моделі несправностей[1].

Найпоширенішою на даний час є математична модель, яка дозволяє представити цифрову систему у вигляді системи рівнянь. Природно виділити три рівня моделей, що застосовуються при математичному моделюванні електричних процесів: електричне коло, структурно-функціональні, функціональні. Використовується також комбіноване представлення пристрою моделями різних рівнів.

Моделі першого рівня – електричне коло – дозволяють отримувати найбільш точні і глибокі відомості про протікання електричних процесів у пристрої. Пристрій

представляється у вигляді електричного кола, елементами якого є резистори, конденсатори, джерела напруг і струмів. Діоди, транзистори, тиристори, мікросхеми та інші подібні компоненти представляють еквівалентними схемами заміщення[2].

Потім для отриманої моделі електричного кола з використанням законів Кірхгофа і Ома складається система рівнянь, що описує електричні процеси в цьому колі. Шляхом розв'язання системи рівнянь визначаються струми і напруги в будь-якому елементі електричного кола при заданих вхідних впливах. Як несправності ланцюга зазвичай розглядають обриви і короткі замикання окремих його елементів, вихід параметрів елементів за межі встановлених допусків[1].

Основний недолік моделей першого рівня, з точки зору їх використання для моделювання сучасних пристроїв, обумовлений великою розмірністю одержуваних систем рівнянь і, як наслідок, високою трудомісткістю моделювання.

Функціональні моделі є моделями високого рівня. При побудові такої моделі пристрій розглядають як "чорний ящик", для якого невідома внутрішня структура, але визначені зовнішні входи і виходи, а також деякі внутрішні параметри, що характеризують стан пристрою. Функціонування пристрою описується передаточною функцією, що дозволяє обчислити вихідні сигнали для заданих вхідних впливів і внутрішніх параметрів[2].

Можливі різні форми її задання. Часто передаточна функція представляється системою алгебраїчних, диференціальних, логічних рівнянь і нерівностей або їх композицією. Значення коефіцієнтів у рівняннях визначаються значеннями внутрішніх параметрів. Використовувані типи рівнянь залежать від класу, до якого належить пристрій (цифровий, аналоговий або аналого-цифровий), і режимів його функціонування. Під несправностями у функціональній моделі звичайно розуміють відхилення коефіцієнтів рівнянь за встановлені допустимі межі.

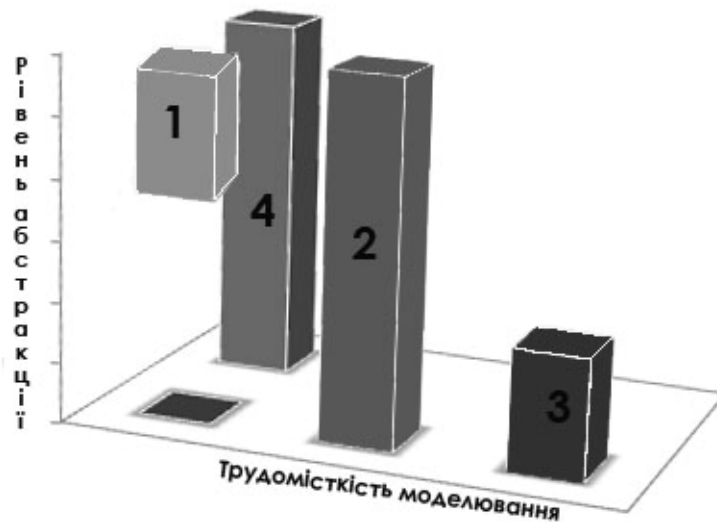
На етапах виробництва і ремонту потрібно вказувати місце несправності з точністю до замінюваного елемента, наприклад, логічного елемента. У таких випадках функціональна модель, як правило, не може використовуватися, оскільки вона не відображає структуру пристрою, що діагностується.

Проміжне положення між моделями першого і третього рівнів займають структурно-функціональні моделі. Вони зазвичай ефективні при вирішенні завдань проектування й діагностування сучасних пристроїв, побудованих на інтегральних мікросхемах[3].

При цьому в якості елемента вибирають конструктивно і функціонально закінчену частину пристрою. Для елемента визначаються входи, виходи і складається функціональна модель. Фактично ця модель являє собою деяку передаточну функцію, за допомогою якої можна визначити значення вихідних сигналів елемента для заданих значень на його входах. У сучасному електронному пристрої елементом є інтегральна схема, можливо з додатковими компонентами (резистори, конденсатори і т.п.).

Мета статті

Виходячи з аналізу існуючих моделей, можна зробити висновок, що необхідна модель, яка дозволить симулювати цифрові схеми на будь-якому рівні абстракції, але при цьому не потребувала б трудомістких розрахунків. Метою роботи є розробка такої моделі. Порівняльна діаграма застосування моделей представлена на рисунку 1.



1 – функціональна математична модель; 2 – структурно-функціональна математична модель;
3 – математична модель типу електричне коло; 4 – необхідна модель

Рис. 1. Порівняльна діаграма застосування моделей цифрових пристроїв

Виклад основного матеріалу

Пропонується перехід від математичної до об'єктної моделі, що використовуватиме в якості моделей елементів, сигналів і несправностей об'єкти класів, реалізованих за допомогою об'єктно орієнтованого програмування.

Об'єктне моделювання дозволить поєднувати в одній системі елементи будь-якого рівня – від логічних примітивів до функціональних об'єктних моделей цифрових схем. Така модель легко розширюється за рахунок програмної реалізації нових класів цифрових елементів і несправностей. Легкість внесення змін дозволяє проводити моделювання цифрової системи на будь-якій стадії розробки, а простота еволюції за рахунок наслідування та поліморфізму дозволяє міняти поведінку моделі без суттєвої зміни її реалізації [4,5].

Кожен елемент цифрової схеми – це об'єкт, який буде мати порядковий номер на схемі, тип, списки входів і виходів. Кожен вхід елемента буде зберігати інформацію про попередній елемент, а кожен вихід – про наступний. Внаслідок цього кожен елемент може визначити логічний стан попереднього і наступного, його тип, порядковий номер на схемі, вихід, з яким він з'єднаний.

Лінії, що з'єднують входи і виходи елементів будуть такими ж об'єктами, як і елементи цифрової схеми, за винятком того, що лінія має тільки один вхід і один вихід і не виконує логічних функцій. Аналогічно лініям жодних логічних функцій не будуть виконувати точки з'єднання ліній зв'язку. Точки будуть мати різну кількість входів і виходів, залежно від кількості ліній, які в них з'єднуються, і під час подачі логічного сигналу на один з входів просто будуть передавати його на всі виходи. В об'єктній моделі будуть реалізовані всі типи логічних елементів, внаслідок цього можна буде будувати цифрові схеми будь-якої складності.

Часткова діаграма класів запропонованої моделі зображена на рисунку 2.

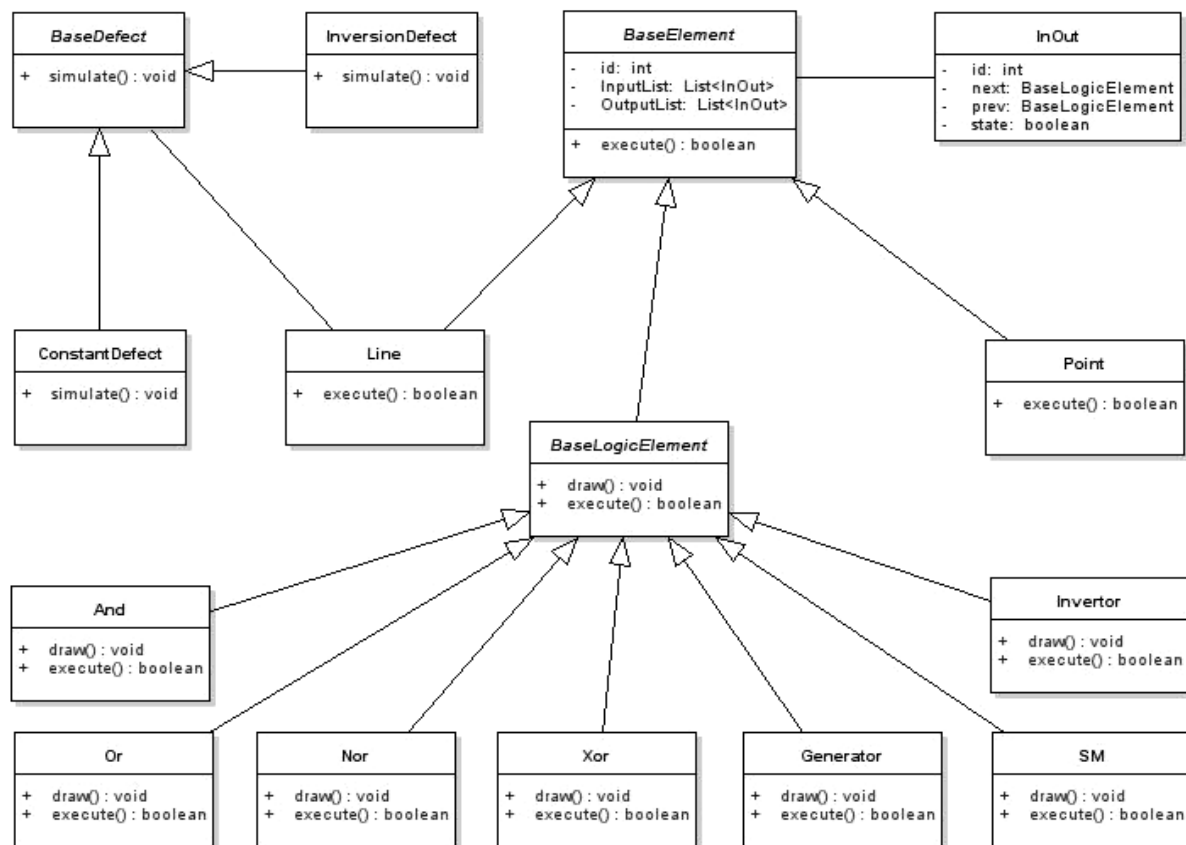


Рис. 2. Часткова діаграма класів об'єктної моделі

На даній діаграмі BaseElement – базовий абстрактний клас для всіх елементів цифрової схеми. У ньому задаються основні логічні характеристики елементів схеми, такі як виходи елемента – outputList, входи елемента – inputList, а також абстрактний метод execute, в якому будуть описані всі дії для моделювання роботи логічного елемента.

Абстрактний клас BaseLogicElement є базовим для всіх логічних елементів схем. Цей клас має абстрактний метод draw, який буде займатися відображенням на дисплеї, переміщенням та установкою параметрів елементів.

Класи And, Or, Nor, Xor, Invertor – це класи, що моделюють роботу логічних елементів І, АБО, АБО-НЕ, Виключне АБО, НЕ. У методі execute вони виконують функцію логічного множення, додавання, додавання з запереченням, додавання по модулю два та заперечення відповідно.

Generator – клас, що моделює роботу генератора лічильникової послідовності. Виконання методу execute поверне чергову послідовність логічних сигналів.

SM – клас, що моделює роботу сумматора. У методі execute виконує функцію логічного додавання і повертає суму і біт перенесення.

Line – клас, що моделює роботу лінії міжз'єднань. У методі execute просто транспортує логічний сигнал з входу на вихід.

Point – клас, що моделює роботу точки з'єднання ліній. У методі execute поширює сигнал, що прийшов на один з входів, на всі свої виходи.

InOut – клас, що моделює роботу входу або виходу логічного елемента.

BaseDefect – базовий абстрактний клас для моделі несправностей. Клас має абстрактний метод simulate, який і буде моделювати несправність на лінії, з якою він пов'язаний.

ConstantDefect – клас, що моделює константну несправність. У методі simulate буде встановлювати на лінії постійний рівень логічного нуля або одиниці.

InversionDefect – клас, що моделює інверсну несправність. У методі simulate буде інвертувати всі сигнали, які транспортуються по лінії міжз'єднань. Аналогічно в об'єктній моделі будуть представлені класи для всіх необхідних елементів цифрової схеми. Всі вони не представлені на діаграмі по причині їх дуже великої кількості.

Важливим моментом запропонованої моделі є асоціативний зв'язок між класом лінії з'єднання і абстрактним класом моделі несправності, що дозволить моделювати будь-яку фізичну несправність на лінії за рахунок використання поліморфізму.

Приклад використання запропонованого рішення

Наприклад, для моделювання синхронного RS-триггера, схема якого представлена на рисунку 3, необхідна об'єктна модель, діаграма якої зображена на рисунку 4.

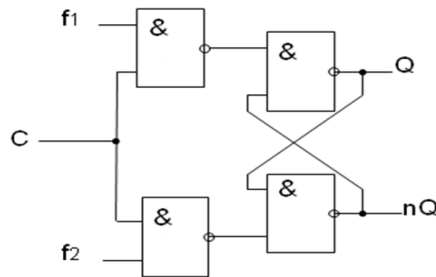


Рис. 3. Схема синхронного RS-триггера

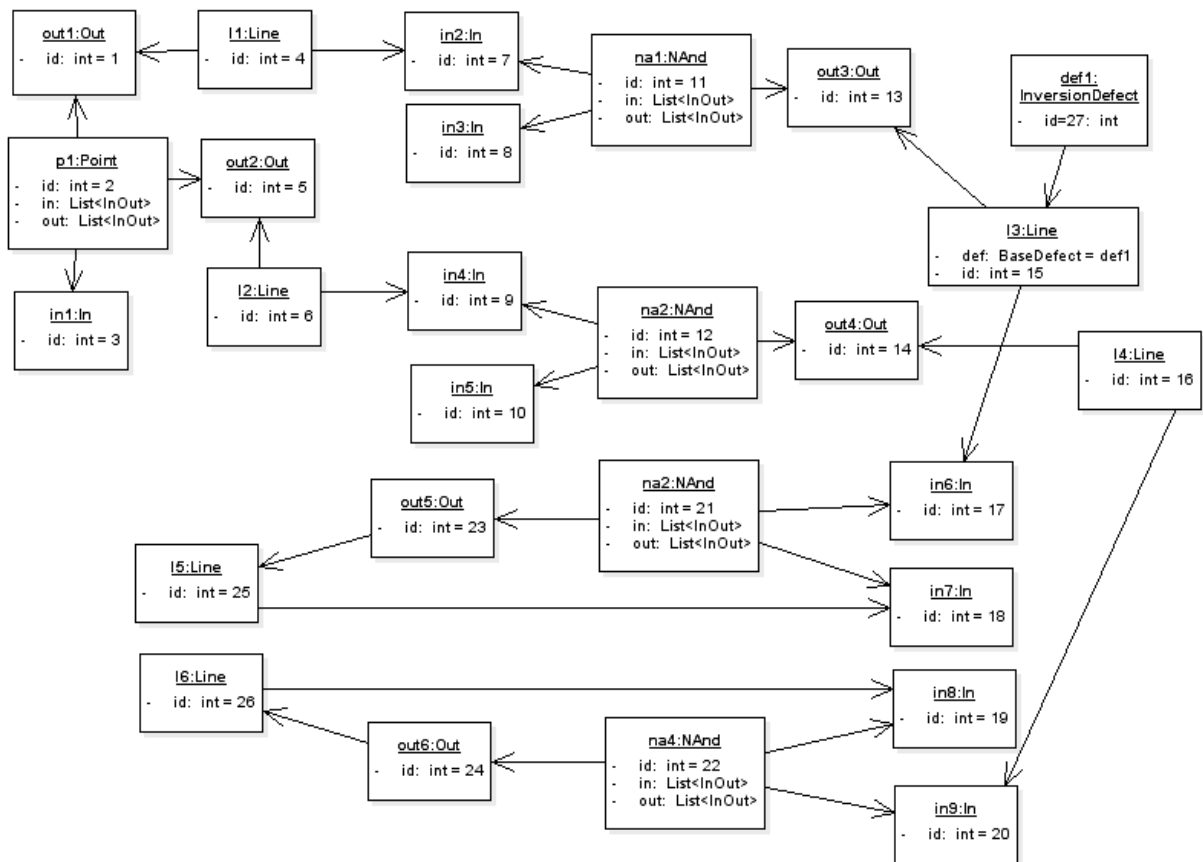


Рис. 4. Діаграма об'єктів моделі

Важливим моментом цієї діаграми є те, що об'єкт інверсної несправності def1 пов'язаний з об'єктом лінії l3. Тобто будь-яка несправність моделюється безпосередньо на лінії зв'язку.

Для цього метод execute класу Line повинен мати вигляд:

```
public void execute()
{
    if def==null
        in.get(1).setState(out.get(1).getState());
    else
        def.simulate(in.get(1), out.get(1));
}
```

А метод simulate класу InversionDefect:

```
public void simulate(InOut in, Inout out)
{
    in.setState(!(out.getState()));
}
```

Висновки

Запропонована модель дозволить значно прискорити і здешевити розробку цифрових пристроїв. Адже модель може бути використана як для моделювання справної роботи з метою знаходження еталонних значень вихідних сигналів пристрою, так і для моделювання несправної роботи з метою побудови тестових наборів, які можуть бути використані для подальшої діагностики уже реального цифрового пристрою.

Дана модель матиме практичну цінність у випадку реалізації засобів об'єктного моделювання.

Список літературних джерел

1. Малышенко Ю.В., Стыцора Л.Ф. Построение моделей интегральных схем: Лабораторный практикум. – Владивосток: ДТИ, 1993. 60 с.
2. Карибский В.В., Пархоменко П.П., Согомонян Е.С., Халчев В.Ф. Основы технической диагностики. Кн. 1. – М.: Энергия, 1976. 178 с.
3. Малышенко Ю.В., Чипулис В.П., Шаршунов С.Г. Автоматизация диагностирования электронных устройств. – М.: Энергоатомиздат, 1986. 139 с.
4. Халютин С.П. Моделирование электроэнергетических комплексов самолетов с использованием объектного подхода. – Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2007. № 115. С. 105-111.
5. Халютин С.П. Особенности применения объектного подхода к моделированию электроэнергетического комплекса летательного аппарата. Самолётное электрооборудование. Сборник материалов научно-технической конференции под ред. Б.В. Иванова. -М.: ОАО «Аэроэлектромаш», 2004. С. 24-31.

УДК 004.7; 004.942

Є.В. Риндич, аспірант

Інститут проблем математичних машин та систем, м. Київ, Україна

АРХІТЕКТУРА КОРПОРАТИВНОЇ КОНФЕРЕНЦ-СИСТЕМИ НА ОСНОВІ IP-ПРОТОКОЛУ

Досліджено існуючі конференц-системи. Визначено загальні риси корпоративних конференц-систем та їх функціональність. Запропонована загальна архітектура та схема взаємодії її складових, метод, що дозволяють використовувати IP-мережі загального користування для передачі комерційної або приватної інформації.

Вступ

Сучасні тенденції розвитку корпоративних інформаційних систем характеризується переходом до інтегрованої передачі даних і мовлення. Це забезпечується за допомогою конференц-систем, які дозволяють в режимі реального часу обмінюватися інформацією, проводити голосування, відео або голосові переговори в режимі, коли співрозмовники можуть говорити й слухати одночасно, а кількість абонентів більше або дорівнює трьом. Для більшості конференц-систем характерно вільне розповсюдження інформації, коли вона є відкритою [1].

Особливо це стосується веб-конференцій, які будуються на основі IP-протоколу. Саме ці інформаційні системи дозволяють в процесі свого функціонування проводити он-лайн-презентації, спільно працювати з документами і додатками, синхронно переглядати сайти, відео файли і зображення в режимі, коли учасники територіально віддалені та знаходяться на своєму робочому місці за комп'ютером.

Як правило, веб-конференції для передачі даних використовують глобальну IP-мережу – Інтернет [2]. Однак, в таких системах не виконуються умови конфіденційності режиму спілкування та передачі даних, які характерні для корпоративних систем. Тому актуальною є задача по розробці конференц-системи, орієнтованої на корпоративне використання.

Метою статті є визначення принципів побудови сучасних корпоративних конференц-систем, які відображаються у відповідній архітектурі даної системи.

Корпоративні конференц-системи та їх визначення

Корпоративні конференц-системи (ККС) відносяться до класу корпоративних інформаційних систем (КІС), основними властивостями яких є:

1. Попередження несанкціонованого доступу.
2. Наявність засобів супроводження та адаптації.
3. Авторизація інформації.
4. Реєстрація операцій з інформацією.
5. Консолідація інформації на рівні підприємств, філіалів, дочірніх компаній.

Існуючі конференц-системи, як правило, не задовольняють цим вимогам в повній мірі.

Так, конференц-система Bosch DCN NG, хоча і є найбільш розповсюдженою, не може бути віднесена до класу ККС. Дана система призначена, перш за все, для створення локального конференц-залу та забезпечує:

1. автоматичне управління ходом конференції у обраному режимі роботи;
2. можливість відключати активні мікрофони;
3. реєстрація учасників за допомогою карток ідентифікації;
4. голосування;

5. синхронний переклад доповідача;
6. автоматичне наведення відеокамер на доповідача.

Напрямок розвитку даної системи є автоматизація проведення локальної конференції, а саме включення до цієї системи функцій управління побутовими пристроями та освітленням[3]. Використання цієї системи в якості розподіленої або територіально рознесеної системи неможливе. До того ж, вона використовує аналогові канали передачі даних.

Інша конференц-система – Brahler Digimix – використовує цифрову кабельну та безпроводну технологію передачі даних, а для проведення голосування додатково використовується інша система – Brahler Digivote III. Голосування проводиться з спеціальних пультів, які з'єднуються з сервером за допомогою безпроводних каналів зв'язку. Об'єднання системи Brahler Digimix та Brahler Digivote III дозволяє створити ККС. Проте, виробник не пропонує жодних варіантів створення розподіленої ККС, в якій буде циркулювати комерційна інформація. Дана система розгортається в межах одного підприємства [4].

Конференц-система DNCA (Data Naught Conference Appliance) підтримує створення відкритих голосових конференцій в мережі Інтернет.

Загальна порівняльна характеристика розглянутих вище конференц-систем наведена в таблиці 1.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика конференц-систем

Назва системи	режим багатопотокової конференції	режим «один до одного»	модерація та адміністрування	використання глобальних мереж	Ідентифікація	автентифікація	передача даних	голосування	архівация	управління користувачами
Bosch DCN NG	+	-	+	-	+	-	-	+	+	+
Digimix Brahler	+	-	+	-	+	-	+	+	+	+
DNCA	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+

Слід зазначити, що, незважаючи на деякі відмінності, їм притаманні такі загальні риси: модульність, наявність центрального елементу, ідентифікація користувачів під час проведення голосування.

Принципи побудови ККС

Виходячи з властивостей ККС, можна виділити такі принципи їх побудови:

1. функціональна повнота;
2. розподіленість;
3. робота в режимі реального часу;
4. конфіденційність.

Розглянемо ці принципи більш детально.

Функціональна повнота відносно ККС повинна відображати реалізацію властивостей, пов'язаних з виконанням специфічних функцій. Ці функції обумовленні основною метою створення цього класу систем – оперативним обміном мультимедіа інформацією

та прийняттям рішення в режимі реального часу. З огляду на це, обов'язковими для таких систем виділяють наступні специфічні функції:

1. створення конференцій;
2. прослуховування конференцій;
3. розмова в режимі конференції;
4. модерація конференцій;
5. розмова в режимі «один до одного»;
6. передача та обробка даних;
7. передача повідомлень;
8. управління користувачами системи;
9. архівація та запис даних, які створюються та розповсюджуються в ККС;
10. контроль працездатності;
11. обробка інформації та її відображення;
12. голосування;
13. адміністрування;
14. забезпечення конфіденційності.

Принцип розподіленості обумовлений специфікою використання ККС, які найчастіше застосовуються в банківській сфері, телемедицині, для організації нарад та семінарів. В жодній з цих сфер діяльності неможливо створити ККС без підключення віддалених користувачів, причому з найменшими витратами та за короткий час. Цього можна досягти лише використовуючи розподілені комп'ютерні системи та мережі, що функціонують на основі IP-протоколу, в тому числі глобальну IP-мережу – Інтернет.

Виходячи з третього принципу, при розробці ККС необхідно забезпечити її роботу в реальному масштабі часу. Для цього слід визначити типові ролі користувачів та режими їх функціонування. ККС повинна підтримувати участь в конференції або голосуванні таких ролей користувачів: адміністратора, модератора, учасника конференції, секретаря, перекладача. Режими функціонування ККС включають:

1. підготовку конференції або голосування;
2. початкову реєстрацію учасників;
3. оперативну реєстрацію учасників;
4. проведення конференції (обговорення);
5. голосування;
6. оформлення підсумків;
7. збереження інформації.

До режиму підготовки входить формування початкового пакету документів, які необхідні для проведення конференції або голосування, та їх розповсюдження учасникам. Підготовку проводить секретар, а розповсюджує адміністратор чи модератор.

Режим початкової реєстрації учасників включає реєстрацію користувачів та слухачів в системі за допомогою ідентифікатора. При роботі з віддаленими користувачами необхідно проводити автентифікацію користувачів.

Під час сеансу зв'язку можливе підключення користувачів, що активує режим оперативної реєстрації учасника. При цьому вносяться зміни до реєстру учасників конференції або голосування.

Під час проведення конференції, або окремо, може бути ініційовано голосування. Управління конференцією або голосуванням проводиться модератором. Якщо режим голосування запущено без конференції, то всі учасники повинні пройти процес ідентифікації та автентифікації відповідно статусу голосування. При голосуванні використовуються декілька режимів за доступністю інформації про волевиявлення:

- поіменне голосування;
- тайна голосування;

- відкрите голосування.

За кількістю варіантів голосування буває одноваріантним та багатоваріантним. В свою чергу, багатоваріантне голосування може бути альтернативним, коли учасник голосує лише за одну відповідь, або рейтингове, коли кожній відповіді виставляється певна оцінка. Загальна таблиця сценаріїв голосувань наведена в таблиці 2.

Таблиця 2

<i>Варіанти голосування</i>			
	Поіменне	Відкрите	Таємне
Кількісне	+	+	+
Альтернативне	x	X	+
Рейтингове	x	X	+

Після проведення голосування обов'язково виконується режим оформлення підсумків. Цей режим також виконується після завершення конференції, але може мати спрощену форму, оскільки рішення, прийняті в процесі спілкування, не завжди можливо та потрібно оформляти у формальному вигляді.

Режим збереження інформації виконується при закінченні будь-якого сеансу зв'язку та зберігає протокол проведення конференцій або голосування в базу даних. В режимах спілкування можливе виконання синхронного перекладу в реальному часі. При цьому потік голосових даних від співрозмовника направляється до перекладача, а переведений потік на іншій мові передається іншому співрозмовнику. В разі використання режиму конференції потік перенаправляється декільком користувачам.

Конфіденційність в ККС передбачає використання спеціальних засобів автентифікації, ідентифікації та обмеження доступу до інформації.

Для початкової автентифікації користувачів в конференц-системах може бути запропонований метод автентифікації на основі конфіденційних даних, які знаходяться в таблиці з ключами [5]. В цьому випадку автентифікація користувача проходить за допомогою симетричного алгоритму криптографічного перетворення та полягає в наступному:

1. користувач відправляє повідомлення з номером рядка в таблиці ключів та зашифрованими налаштуваннями сеансу зв'язку;
2. сервер, використовуючи ключ із вказаного рядка, проводить зворотні криптографічні перетворення. Якщо в разі зворотних перетворень правильно розпізнано формат налаштувань, то сервер відправляє клієнту підтвердження у вигляді повідомлення. Повідомлення складається з нового номера в таблиці ключів та зашифрованих налаштувань сеансу зв'язку за допомогою ключа з цього рядка;
3. якщо клієнт отримав від сервера повідомлення після зворотних криптографічних перетворень розпізнає, то він починає сеанс передачі голосових даних, зашифрованих за допомогою цього ключа.

Порівняно з протоколами IP-телефонії запропонований метод автентифікації використовує в 2,25 рази менше мережевих пакетів. Ключі не передаються мережею, а розповсюджуються за допомогою захищених каналів зв'язку, наприклад, спеціальними кур'єрськими службами.

Під час проведення сеансу зв'язку для повторної автентифікації необхідно використовувати додаткові заходи автентифікації. Для систем відео або голосового конференц-зв'язку найбільш прийнятними є засоби біометричної автентифікації. До переваг таких засобів належить відсутність відволікання учасника на автентифікацію, причому автентифікація за голосом або відео зображенням може відбуватися паралельно сеансу зв'язку, не порушуючи процес конференції. При необхідності процес біометричної автентифікації проводиться декілька разів для досягнення необхідної точності, оскільки

контрольний та еталонний шаблон повністю ніколи не збігаються. Для забезпечення конфіденційності мультимедіа даних, які циркулюють в конференц-системі, слід використовувати багатофакторну автентифікацію [6]. Таким чином, при цьому використовується двофакторна автентифікація користувача, яка є необхідною для підтримання належного рівня інформаційної безпеки в системах IP-телефонії. Автентифікація користувача під час сеансу зв'язку не є обов'язковою, оскільки таблиці ключів є секретними, а обмеження доступу до терміналу під час сеансу зв'язку може бути створено за рахунок виконання правил безпеки використання терміналів на робочих місцях.

Для ідентифікації слід використовувати двофакторну ідентифікацію – за фізичним секретом та біометричними властивостями учасника, наприклад, відбитку пальця. Ідентифікація пристрою проходить за схемою «списків довіри». Даний підхід використовується в брандмауерах. Існує три види списків: «білі» – списки з адресами, яким система довіряє; «сірі» – списки, в які вносяться адреси пристроїв, з яких вперше було встановлення з'єднання та які знаходяться в зоні «часткової довіри», та «чорні» – списки, в яких зберігаються адреси комп'ютерів, з яких було проведено атаки на систему конференц-зв'язку.

Конфіденційність підтримується за рахунок симетричних криптографічних перетворень. На відміну від стандартної схеми симетричної криптосистеми в методі запропоновано використовувати криптографічні перетворення зі своїм ключем для кожної сторони. Схема процесів криптографічного перетворення наведена на рис.1, де $K_{см}[i][1]$ – ключ сервера з i -того рядка; $K_{см}[i][2]$ – ключ клієнта з i -того рядка.

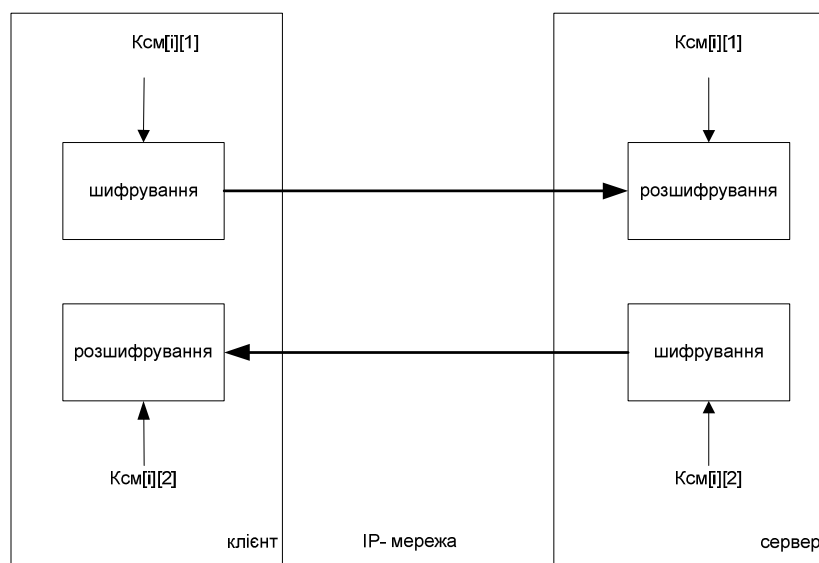


Рис.1. Схема процесів перетворення інформації під час передачі

Шифрування та розшифрування проходить за одним алгоритмом, але з різними ключами. Слід зазначити, що ключі $K_{см}[i][1]$ та $K_{см}[i][2]$ для різних клієнтів відрізняються, оскільки вони знаходяться в різних таблицях.

Ця схема використовується і для передачі результатів голосування. При проведенні таємного голосування після проведення зворотних криптографічних перетворень результати голосування накопичуються в буфері, а інформація, отримана при автентифікації, ігнорується та не зберігається. Буфер виконує роль урни з анонімними бюлетенями.

Узагальнена архітектура ККС

Виходячи з принципів побудови ККС, можуть бути визначені необхідні складові елементи системи, які визначають її архітектуру (рис.2):

1. АРМ користувача.
2. АРМ адміністратора.
3. АРМ модератора.
4. АРМ секретаріату.
5. АРМ перекладача.
6. Сервер ККС.

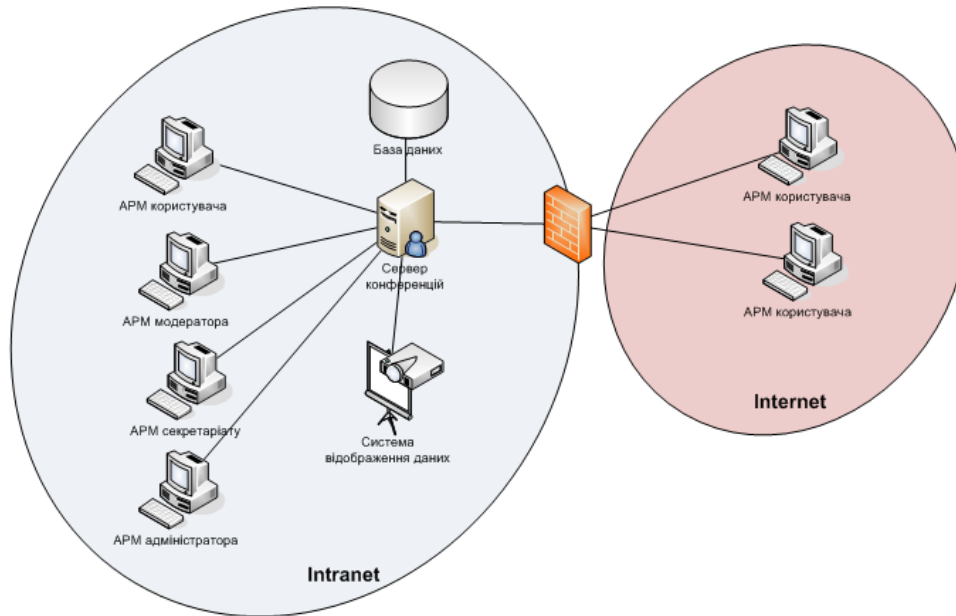


Рис.2. Компоненти ККС

На рис.3 наведено архітектуру АРМ користувача та сервера ККС. Архітектура АРМ адміністратора та модератора відрізняються від АРМ користувача можливостями модулів голосування, відображення результатів. Архітектура АРМ секретаріату та АРМ адміністратора наведена на рис.4.

Для підтримання конфіденційності даних необхідно використовувати криптографічні перетворення, попередньо розповсюдивши ключі [5]. Використання додаткових процесів перетворення інформації обумовлено використанням публічних IP-мереж, в яких шлях проходження конфіденційної інформації не відомий. Зловмисник може провести конфігурацію мережі з метою проходження всього трафіку через модифікований вузол та отримати конфіденційну інформацію [7].

Дослідження архітектури корпоративних конференц-систем

Використання в системі додаткових процесів обробки мультимедіа інформації впливає на часову затримку між відправленням та отриманням голосових даних. Для систем IP-телефонії відомим апаратом QoS(Quality of Service) визначена максимальна часова затримка в 300 мсек між відправленням та отриманням абонентом голосових даних. Для того, щоб визначити вплив додаткових процесів обробки інформації на якість зв'язку, запропонована імітаційна модель корпоративної конференц-системи на базі протоколу IP. Вона дає можливість спростити процес побудови систем цього класу. Модель побудована на базі розширених мереж Петрі [8].

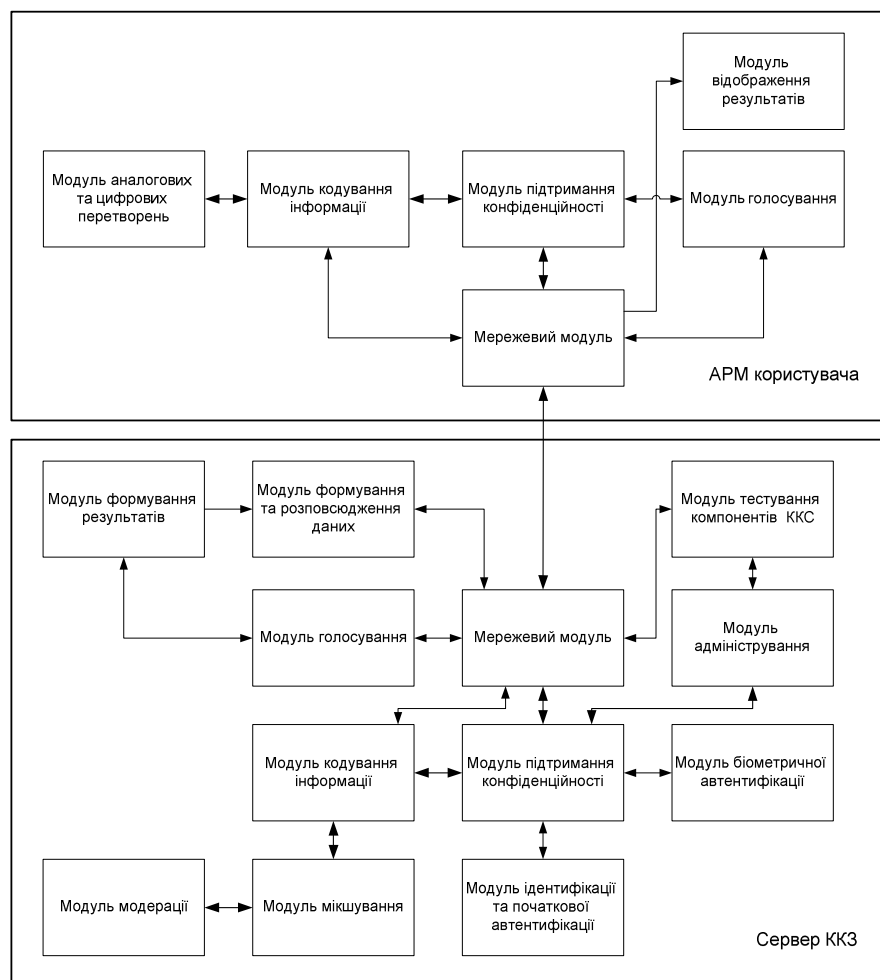


Рис.3. Архітектура сервера та користувача ККС

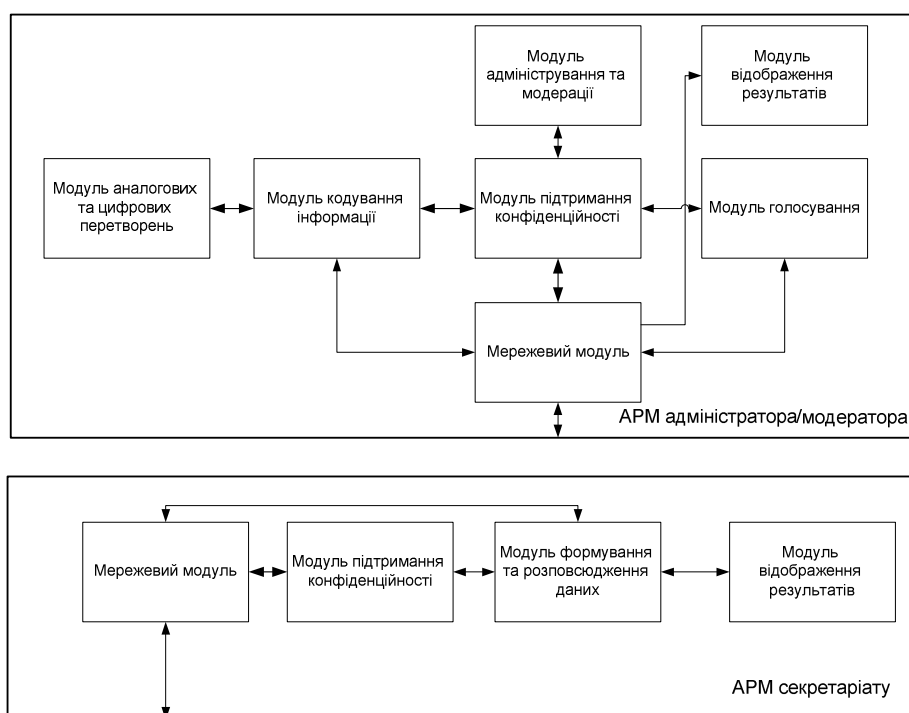


Рис.4. Архітектура АРМ секретаріату та АРМ адміністратора/модератора ККС

З використанням запропонованих моделей проведено дослідження та визначено середній час затримки в залежності від кількості підключених абонентів в ККС при передачі голосових повідомлень у відкритому (рис.5) та закритому (рис.6) режимах конференц-зв'язку.

Принципи побудови корпоративних конференц-систем були використані при модернізації відкритої конференц-системи DNCA. Отримані за допомогою моделювання результати порівняно з даними, які були отримані експериментально з використанням спеціального програмного забезпечення генерації дзвінків SIPRobots. Особливістю існуючої системи DNCA є те, що у відкритому режимі вона заздалегідь запрограмована на недосяжність максимальної кількості користувачів, тобто, для гарантування якості в системі встановлено максимум одночасних підключень. Тому на рис.5, графік 2, можливо було отримати значення затримки лише для 10000 користувачів. Аналогічно для закритого режиму роботи (рис.6) було встановлено обмеження в 200 користувачів.

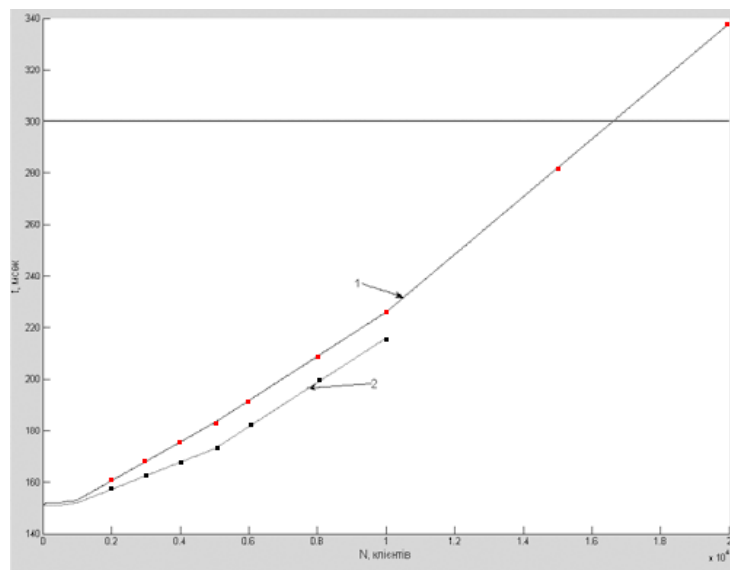


Рис.5. Графік залежності часової затримки від кількості клієнтів для публічного режиму роботи: 1 – дані імітаційного моделювання, 2 – експериментальні дані

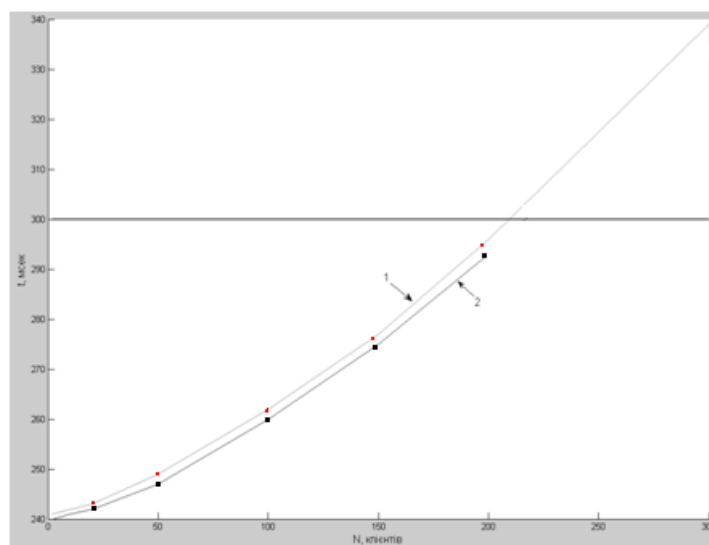


Рис.6. Графік залежності часової затримки від кількості клієнтів для конфіденційного режиму роботи: 1 – дані імітаційного моделювання, 2 – експериментальні дані

Висновки

В роботі проведено аналіз існуючих конференц-систем, який показав необхідність розширення функціональності та розроблення узагальненої архітектури ККС. Виділені основні компоненти системи та наведена архітектура компонентів. Для підтримання конфіденційності комерційної інформації запропоновано метод, в якому використовується, на відміну від існуючих систем, не тільки ідентифікація, а й багатофакторна автентифікація. Використання біометричної автентифікації під час сеансу зв'язку дозволяє не відволікати користувача від участі в конференції та, в той самий час, підтвердити його особу. Також для підтримання конфіденційності необхідним є використання криптографічних перетворень під час передачі даних. Порівняно з існуючими підходами автентифікації та встановлення зв'язку, які використовують для створення конференц-зв'язку в IP-мережах, запропонований метод використовує менше інформаційних повідомлень. Дослідження імітаційної моделі системи захищеного голосового конференц-зв'язку на базі протоколу IP дозволило дослідити ефективність запропонованого методу у критичних режимах роботи ККС, визначити максимально допустиме число користувачів без втрати якості.

Список літературних джерел

1. Конференц-система – Википедия. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Конференц-система/>
2. А.Зарубин, Е.Коптилина Системы конференц-связи для совместной работы // Connect! Мир связи, – 2008. – №11. – С. 25-27.
3. Bosch DCN NG - Оборудование для аудиоконференций. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.confssystem.ru/aconf/catalog/1161765982
4. Digimic-Concept [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.braehler.su/en/konferenztechnik/digimic/index5a0a.html>
5. Казимир В.В., Риндич Є.В., Кенийз Я.Я. Модуль комутації крипто-ключів для захищеної системи IP-телефонії // Науковий журнал «Вісник Національного авіаційного університету». – 2010. – №1. С.153-159.
6. Сіра Г.А., Риндич Є.В., Казимир В.В. Технології автентифікації в web-системах та ip-телефонії // Науковий журнал «Вісник Хмельницького національного університету». – 2009. – №3. С. 147-154.
7. Риндич Є.В. IP-телефонія та найпоширеніші небезпеки в ній // Збірник наукових праць п'ятої міжвузівської науково-практичної конференції «Комплексна економічна безпека підприємництва: сучасні тенденції формування та перспективи розвитку, економіко-правові аспекти». – Чернігів. –2008. –С. 130-133.
8. Риндич Є.В., Казимир В.В. Імітаційна модель системи захищеного конференц-зв'язку на базі протоколу IP // Науковий журнал «Вісник Чернігівського державного технологічного університету» серія «Технічні науки». – 2010. – №42. С. 182-191

МЕХАНОХІМІЯ

УДК 678.057.5

П.І.Чередніченко, д-р техн. наук**О.В.Бакалов****В.Г.Бакалов**, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПЛОСКОЩІЛИННОЇ ГОЛОВКИ

Розроблена методика розрахунку плоскощільної головки, яка враховує геометричні розміри її внутрішніх каналів і залежність в'язкості полімеру від температури. Наведені рівняння, які дозволяють визначити витрати полімеру в формуючих каналах головки.

Постановка проблеми

На сьогодні широко застосовується процес ламінування паперу розплавами поліетиленів. Для цього використовуються плоскощільні головки. Вітчизняні плоскощільні головки не відповідають вимогам споживача. Це викликано тим, що існуючі конструкції плоскощільних головок застаріли, а існуючі методи розрахунку таких головок не дозволяють розрахувати їх оптимальні геометричні розміри.

Аналіз публікацій

Відомі роботи, які присвячені проектуванню екструзійних плоскощільних головок, серед них – робота Рябініна Д. Д. [1], в якій досліджувалася течія розплаву поліетилену в круглих та плоскощільних каналах. Слід зауважити, що дослідження, які проводились автором, не враховують особливості геометрії плоскощільної головки, а також залежність реологічних властивостей розплаву полімеру від температури.

В роботі Сокольського О. Л [2] проводиться моделювання течії термостабільних розплавів полімерорганічних композицій в плоскощільній головці за допомогою методу скінченних елементів. До недоліків цього методу слід віднести неможливість з достатньою точністю стикувати скінченні елементи як циліндр та щілина, а формуючі канали такої форми є пріоритетними в плоскощільних головках.

Крім того, проаналізовані методики розрахунку не враховують степеневий закон течії розплаву поліетилену та залежність в'язкості розплаву від температури. Також в існуючих методиках відсутнє врахування ефектів, які відбуваються в зоні між плоскощільною головкою та охолоджуючим валиком.

Тому розробка науково обґрунтованого методу розрахунку плоскощільної головки є актуальним науковим завданням і представляє практичний інтерес.

Мета роботи

Розробити методику розрахунку плоскощільної головки, яка враховує залежність в'язкості полімеру від температури та ефект звуження ширини та зменшення товщини плівки між головкою та охолоджувальним валком.

Основний матеріал

Розплавлений полімер є неньютонівською рідиною, і основне рівняння, що описує поведінку цього полімеру при різних швидкостях зсуву, має вигляд [3, 4]

$$\tau = \mu_0 \dot{\gamma}^n = \mu_0 \left(\frac{dv}{dx} \right)^n \quad (1)$$

де τ – напруження зсуву; μ_0 – "умовна" в'язкість; $\dot{\gamma}$ – швидкість зсуву; v – швидкість течії полімеру; x – поточна координата; n – індекс течії.

Рух полімеру в каналах плоскощільної головки значно залежить від в'язкості полімеру. Відомо [3,4,5-7], що при вивченні в'язкості полімерів в логарифмічних координатах будують графічну залежність напруження від швидкості зсуву при різних значеннях температури. Проаналізувавши ці графіки для різних марок поліетилену, ми зробили висновок, що вони мають при різних температурах лінійну залежність. Тому описуємо ці залежності математичним виразом, яке в логарифмічних координатах буде мати лінійну залежність виду

$$\ln \mu_0 = \ln \tau - n \ln \dot{\gamma} \quad (2)$$

Таким чином, для знаходження індексу течії n (тангенс кута нахилу прямих) потрібно мати дві точки на прямій графіка при одній і тій же температурі.

Температурну залежність умовної в'язкості μ_0 від температури представимо у вигляді закону Арреніуса [3,4]

$$\mu_0 = A \cdot e^{E/RT}, \quad (3)$$

де A – коефіцієнт, що залежить від виду полімеру; E – енергія активації течії; R – газова стала ($R=1.98$ кал/моль); T – температура (в градусах К).

Для розрахунку індексу течії n , коефіцієнту A і енергії активації E для різних температур була розроблена програма. В результаті розрахунків для різних типів полімерів отримані результати залежності індексу течії n від температури (рис. 1).

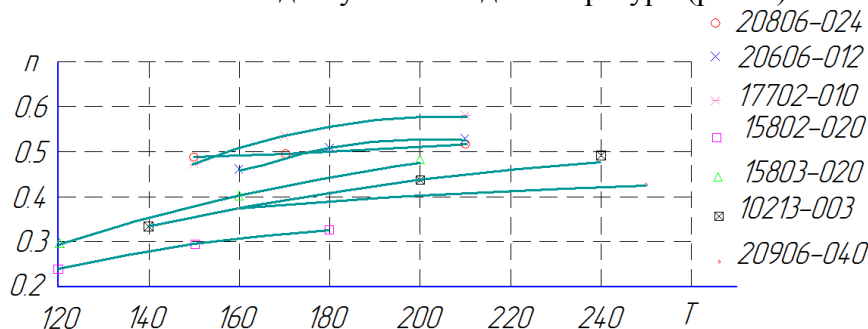


Рис. 1. Залежності індексу течії від температури для різних марок поліетилену

Як видно з графіків, індекс течії розплаву полімерів в значній мірі залежить від температури та має нелінійний характер. З нашої точки зору графіки можливо апроксимувати квадратичним рівнянням типу:

$$n = c \cdot T^2 + d \cdot T + z, \quad (4)$$

де c, d, z – безрозмірні коефіцієнти.

Безрозмірні коефіцієнти c, d, z знаходимо по рівняннях для трьох різних температур. Рівняння (1-4) описують залежність напруження зсуву від швидкості зсуву та температури розплаву поліетилену для різних марок поліетилену. Співставлення експериментальних і розрахованих даних не перевищує 8%.

Об'ємна витрата через поперечний переріз труби визначається з рівняння [3]:

$$Q_m = 2\pi \int_0^R v(r) dr = \frac{\pi n R^{\frac{3n+1}{n}}}{(3n+1)} \left(\frac{dp}{2\mu_0 dx} \right)^{1/n}. \quad (5)$$

де p – тиск; R – радіус труби.

Величина об'ємної витрати через одиницю ширини щілини визначається виразом [3]:

$$Q_{ц} = \frac{nh^{\frac{2n+1}{n}}}{(2n+1)} \left(\frac{1}{\mu_0} \frac{dp}{dx} \right)^{1/n}. \quad (6)$$

де $2h$ – висота щілини.

Для конічного каналу об'ємні витрати визначається виразом [3]

$$Q_{\kappa} = \frac{\pi\mu_0}{2^{2n+3}(n+3)} \left[\frac{6\Delta P \operatorname{tg} \alpha}{n \left[\frac{1}{d_2^{3n}} - \frac{1}{d_1^{3n}} \right]} \right]^n, \quad (7)$$

де ΔP – перепад тиску на конічному каналі; d_1 – більший діаметр конічної труби; d_2 – менший діаметр конічної труби; 2α – кут конусності.

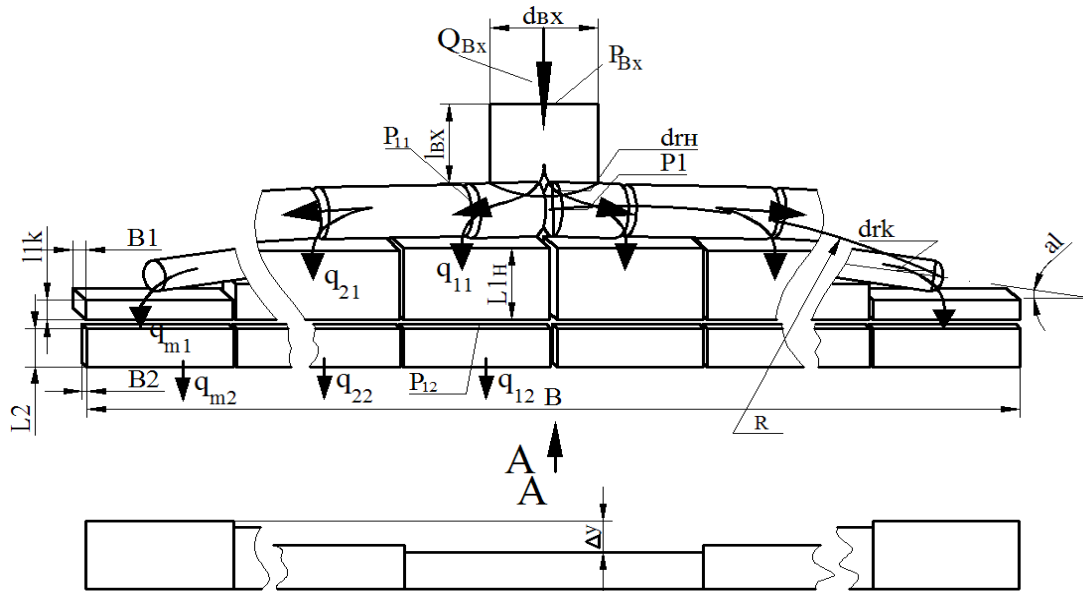
Ці рівняння дозволять визначити при відомих витратах перепад тиску, або при відомому перепаді тиску – витрати в трубі, щілині або конічному каналі.

Нами пропонується методика розрахунку внутрішніх каналів плоскощілинної головки, яка основана на розбивці головки на ділянки. Так, колектор розбивається на конусні труби різних діаметрів, а щілина, що утворена плитами, на плоскі прямокутні щілини (рис. 2). Для кожної ділянки можна записати рівняння об'ємної витрати полімеру через поперечний переріз ділянки, коли відоме значення перепаду тиску, або навпаки визначити перепад тиску, коли відоме значення об'ємної витрати. Слід відзначити, що для створення рівномірності витікання полімеру з головки кінцева губка (щілина B_2) має в середині прогин на величину Δy . З елементарних об'єктів можна одержати практично будь-який профіль каналів плоскощілинної головки.

Система рівнянь, які будуть описувати рух полімеру по елементарних ділянках, з яких складається плоскощілинна головка в цілому, є невизначеною. Для більшості елементарних ділянок є невідомими ні витрати, ні перепади тиску на них. Для вирішення цієї складної задачі нами розроблений алгоритм, наведений нижче для знаходження витрат полімеру на виході з головки.

Під час розрахунку плоскощілинної головки її геометричні параметри і технологічні параметри процесу формування (тиск перед головкою $P_{\text{вх}}$, тиск на виході із головки $P_{\text{вих}}$, розподіл температур полімеру всередині головки по її довжині $T=f_3(l_i)$) беруться як відомі. В основу розрахунку покладений баланс тисків і баланс витрат при отриманих тисках по всіх ділянках і по всій головці. Сутність цього балансу полягає в тому, що задаються тиском P_1 (в межах від 0 до P_{Bx}) після першої ділянки циліндричної труби. Після чого розраховують витрати полімеру Q_{Bx} на вході циліндричної труби довжиною l_{Bx} по рівнянню (5). Отримані витрати полімеру Q_{Bx} розподіляються порівну на два нахилених конічних канали, тому що головка вважається симетричною. Знаючи витрати $Q_{Bx}/2$ та вхідний тиск P_1 , розрахуємо тиск в кінці цього конічного каналу P_{11} по рівнянню (7). Для визначення витрат полімеру q_{11} на першій ділянці широкої щілини задаємося тиском P_{12} в межах між від 0 до P_1 . Використовуючи рівняння (6), розрахуємо q_{11} . Таким же чином розрахуємо витрати на вузькій щілині q_{12} по рівнянню (6) з врахуванням того, що тиск на вході цієї щілини є P_{12} , а на виході з головки надлишковий тиск $P_{\text{вих}}$ дорівнює нулю. Враховуючи, що витрати на широкій щілині та витрати на вузькій щілині будуть різними методом дихотомії будемо змінювати тиск P_{12} таким чином, щоб виконувалось рівняння $q_{11}=q_{12}$ з заданою точністю (похибка не повинна перевищувати значення $\Delta q=1.0 \cdot 10^{-11}$). Слід зауважити, що ця точність дає похибку на виході менше 0.0001% по витратам полімеру.

Після визначення витрат на перших ділянках щілин q_{11} визначаємо витрати на другій конічній трубі як різницю $Q_{Bx}/2 - q_{11}$. Після чого можна розрахувати тиск в кінці другої ділянки конічної труби P_{21} і процес розрахунку повторити для другої ділянки щілин і так далі до останньої ділянки. Після розрахунків ми будемо мати витрати на всіх ділянках на виході з головки.



$d_{вх}$ – діаметр вхідного патрубку; $Q_{вх}$ – вхідна об’ємна витрата; $P_{вх}$ – вхідний тиск; $L_{вх}$ – довжина вхідного патрубка; P_1 – тиск на вході у колектор; $d_{гн}$ – діаметр колектора на вході; $d_{рк}$ – діаметр колектора на виході; P_{11} – тиск в кінці першої ділянки колектора; α – кут нахилу колектора до горизонту; B_1 – ширина широкої щілини; B_2 – ширина вузької щілини; $L_{1н}$ – початкова висота широкої призми; $L_{1к}$ – кінцева висота широкої призми; L_2 – висота вузької призми; B – довжина головки; P_{12} – тиск між широкою та вузькою прямокутними паралелепіпедами; R – радіус кривизни колектора; Δy – прогин губки.

Рис. 2. Розрахункова схема плоскощілинної головки

Одною з основних технологічних операцій при отриманні плоских плівок з полімерних матеріалів є процес їх витягування. До виходу з головки плав полімеру тече в плоских каналах формуючої головки. Для зниження пульсацій канал головки має достатню довжину. При розбуханні профіль швидкості плівки трансформується з параболічного в прямокутний [7].

Колова швидкість валка, який тягне, більше осьової швидкості полімеру в перерізі, який розбухає, що дозволяє уникнути прогину плівки в зоні формування і забезпечує щільне прилягання її до поверхні валка. Розбухання закінчується за декілька міліметрів від губок головки, і тому довжина зони витяжки практично дорівнює довжині від губок головки до точки дотику плівки з валком.

На рисунку 3 наведена схема процесу витяжки плоскої плівки в зоні формування.

Для реалізації плоскої витяжки до країв плівки необхідно прикласти зовнішнє напруження величиною у два рази більше, ніж напруження розтягування [7]. Таким чином, згідно третього закону Ньютона сила, яка стягує плівку в поперечному напрямку, дорівнює половині сили, яка розтягує плівку вздовж осі OX . Плівка при розтягуванні попадає на валик, де на неї діють такі сили: поздовжня розтягуюча сила F ; поперечна сила $F_{см}$, яка стягує плівку до осі OX ; сила тертя плівки по валику $F_{тр}$ (будемо вважати, що вся ця сила прикладена в одній точці дотику).

Оскільки вісь OX є симетрією плівки в поперечному напрямку, то на осі поперечної сили не буде. Виходячи з цього, розіб’ємо плівку на смуги і прикладемо до них наступні сили, які показані на рисунку 4.

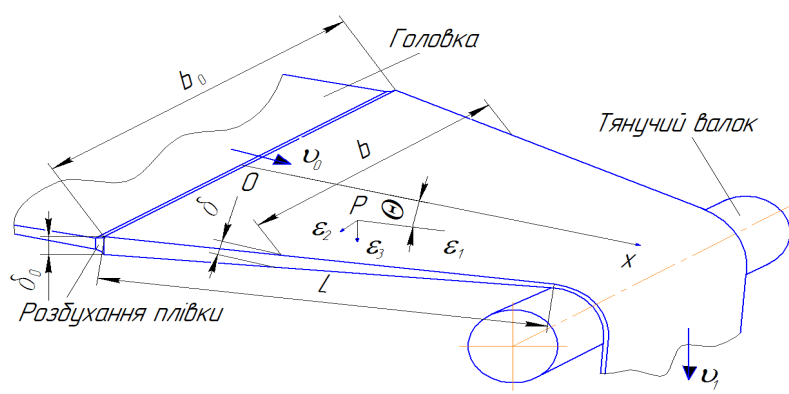


Рис. 3. Схема процесу витяжки плоскої плівки в зоні формування

Ділянка буде в рівновазі, коли сили, які діють на неї вздовж осі Y , будуть дорівнювати нулю:

$$F_{mp} + F \cdot \sin \theta - F_{cm} = 0. \quad (8)$$

Силу тертя можна виразити через рівняння

$$F_{mp} = f \cdot F, \quad (9)$$

де f – коефіцієнт тертя розплаву полімеру по ламінуючому матеріалу.

Поперечна сила F_{ct} змінюється, як вказувалось вище, від нуля на осі OX до максимального свого значення $F/2$ згідно рівнянню (8) і буде визначатися рівнянням

$$F_{cm} = \frac{F}{2} \frac{2z}{b} = F \frac{z}{b}. \quad (10)$$

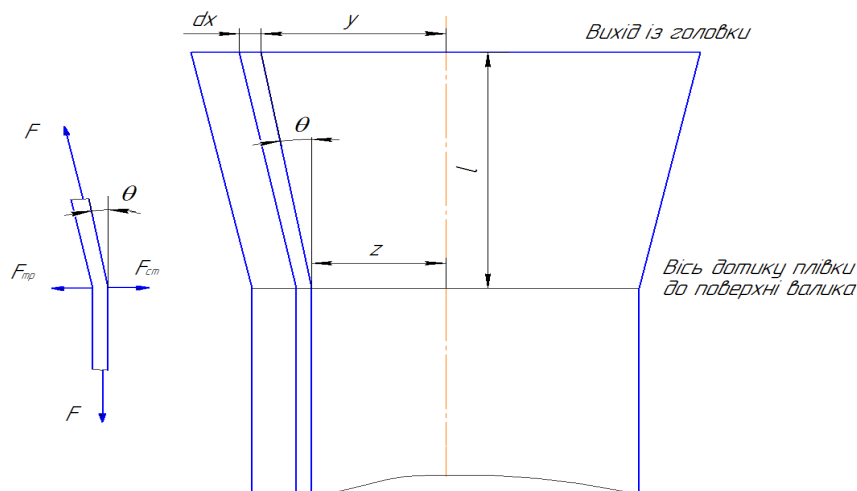


Рис. 4. Схема дії сил на ділянці звужування плівки між головною та валком

Синус кута θ розраховують наближеною формулою

$$\sin \theta = \frac{y-z}{\sqrt{l^2 + (y-z)^2}} \quad (11)$$

Враховуючи, що на краю плівки координата z дорівнює b , перетворимо наведені рівняння до виду

$$b = b_0 - l \frac{1-f}{\sqrt{1-(1-f)^2}}. \quad (12)$$

Товщина витягнутої плівки δ_1 буде розраховуватися з рівняння балансу витрат плівки в перерізах на вході і на валку по рівнянню

$$\delta_1 = \delta_0 \frac{b_0 v_0}{b v_1}. \quad (13)$$

З кінцевої формули товщини можливо бачити, що ширина плівки на барабані залежить від трьох значень: ширина головки, відстань до валка та коефіцієнту тертя розплаву полімеру по ламінуючому матеріалу. Це дає нам можливість більш глибоко розуміти процес виготовлення як ламінованого матеріалу, так і взагалі полімерних плівок.

Нами запропоновано алгоритм оптимізації геометричних розмірів внутрішніх каналів плоскощілинної головки, при яких можна отримати ламінований матеріал з тонкою полімерною плівкою.

При цьому в якості цільової функції оптимізації нами пропонується рівняння

$$F = a \cdot (1 - k_{pis})^2 + b \cdot (S - S_{nom})^2, \quad (14)$$

де a, b – коефіцієнти; $k_{pis} = q_{min}/q_{max}$ – коефіцієнт рівномірності витрат полімеру вздовж щілини ($0 < k_{pis} < 1$); q_{min}, q_{max} – мінімальна та максимальна витрата полімеру вздовж щілини на одній з ділянок головки; S – товщина плівки, яка розраховується; S_{nom} – товщина плівки, яку потрібно отримати ($S \approx 2-40$ мкм).

Треба звернути увагу, що на товщину плівки та її рівномірність суттєво впливають багато факторів як конструктивних (геометричні розміри внутрішніх каналів та їх взаємне розташування) так і технологічних (початковий тиск, температура розплаву полімеру, відстань між головкою та валком). Тому розроблена методика розрахунку, яка враховує всі ці параметри, може застосовуватись під час проектування плоскощілинних головок.

Висновки

Отримані регресійні залежності індексу течії розплаву від температури для різних типів поліетилену. Розроблена методика розрахунку геометричних розмірів головки, яка враховує технологічні параметри виробництва. Теоретично отримано залежність зміни ширини плівки в зоні між головкою та охолоджуючим валком.

Список літературних джерел

1. Рябинин Д.Д. Исследование течения расплавов полимеров в формующих каналах плоскощелевых экструзионных головок: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.04.09/ Днепро-к химико-технолог. ин-т. – Днеп-к: 1974. – 27 с.
2. Сокольський О. Л. Розроблення плоскощілинних головок для екструзійного формування листових та плівкових виробів із полімерних композицій: Автореф. дис. канд. техн. наук. 05.05.13 /Нац. техн. ун-т України “КПІ”. -К.: 2005. - 173 с.
3. Торнер Р.В. Переработка полимеров. - М.: Химия, 1976. - 404 с.
4. Ким В. С. Теория и практика экструзии полимеров. -М.: Колос, 2005. - 568 с.
5. Nobrega J.M., Cameiro O.S., Pinho F.T., Oliveira P.J. Flow Balancing of Profile Extrusion Dies. In: ANTEC, SPE Annual Technical Conference. Paper presented May 6-10, 2001, Dallas, USA.
6. Микаэли В. Экструзионные головки для пластмасс и резины. Конструкции и технические расчеты. -Спб.: Профессия, 2007. - 472 с.
7. Шаповал В.М. Механика элонгационного течения полимеров. – М.: Физматлит, 2007. – 176 с.

УДК 620.179:534.6

Т.М. Косицька, канд. хім. наук

Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ СИГНАЛІВ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ ПРИ МЕХАНІЧНОМУ РУЙНУВАННІ КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ

Наведено результати моделювання сигналів акустичної емісії при механічному руйнуванні композиційного матеріалу. Розглянуто закономірності зміни їх параметрів в залежності від швидкості навантаження, дисперсності матеріалу за характеристиками міцності і крихкості. Показано, що зменшення дисперсності властивостей матеріалу впливає на акустичну емісію аналогічно зростанню швидкості навантаження. При цьому із зростанням крихкості необхідно враховувати зростання швидкості процесу руйнування.

Постановка проблеми

У науковій літературі велика увага приділяється питанням руйнування та діагностики композиційних матеріалів [1-6]. Висока зацікавленість такими дослідженнями обумовлена інтенсивною розробкою композиційних матеріалів (КМ) та їх дедалі більшим використанням у різних видах техніки. Безумовно, створення нових видів матеріалів вимагає розробки і методів їх контролю, а також оцінки стану виробів з прогнозуванням їх ресурсу. Одним з методів, який використовується для дослідження процесів руйнування КМ, є метод акустичної емісії (АЕ). Не дивлячись на високу чутливість, використання методу АЕ обмежене, що обумовлено складнощами проведення теоретичних досліджень. Це пов'язано, перш за все, з розробкою адекватних моделей сигналів АЕ та моделюванням їх параметрів під час дії різних факторів. Подібні дослідження представляють не тільки науковий, але і практичний інтерес.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

При дослідженні процесів руйнування КМ широке розповсюдження отримала модель, у якій матеріал подається у вигляді пучка волокон (FBM - fibre bundle-model) [2, 5-8]. У такій моделі розглядається руйнування матеріалу, що складається з N_0 волокон або елементів, припускаючи, що кожне волокно (зв'язка) пружно деформується до повного руйнування, а сам процес руйнування має вигляд послідовного руйнування волокон з перерозподілом напружень на волокна, що залишились. При цьому вплив матриці, поверхні розділу матриця-зв'язка, а також взаємодії між окремими волокнами на процеси руйнування композиційного матеріалу не розглядаються. Таке припущення ґрунтується на наступному. Якщо матриця є еластичною або має міцність, нижчу за міцність волокон, то її руйнування не призводить до руйнування КМ, через те що зовнішнє навантаження витримують самі волокна. Якщо матриця має міцність, вищу за міцність волокон, то при пружному деформуванні руйнування починається з руйнування волокон. В такому випадку руйнування зв'язки (волокон) є основним процесом, що призводить до руйнування матеріалу. Використання такого підходу і виразу для швидкості зміни кількості волокон [7, 8] дозволило отримати ряд як аналітичних, так і чисельних закономірностей зміни волокон, що залишаються, під час розвитку процесу руйнування КМ, а також отримати вирази для швидкості вивільнення енергії АЕ. Проте, виразу для опису самого сигналу АЕ не отримано, що обумовлено розривом аналізованих функцій у момент часу повного руйнування матеріалу.

Дослідження, проведені в роботі [9], дозволили отримати аналітичний вираз для сигналу АЕ під час розвитку процесу руйнування елементів КМ. В основу побудови моделі сигналу АЕ було закладено: модель подання композиційного матеріалу у вигляді пучка волокон, термоактиваційний механізм та кінетичні закономірності розвитку їх руй-

нування. Виходячи з розробленої моделі, визначено закономірності зміни сигналів АЕ та їх параметрів, що розглянуто в роботі [10]. При цьому показано, що для термоактиваційного механізму руйнування характерним є акселераційний характер наростання переднього фронту сигналу АЕ і різке падіння заднього фронту. Однак, експериментальні дослідження, проведені в роботі [11], показали, що реальні сигнали АЕ, які реєструються під час руйнування КМ, мають зворотний характер – різке наростання переднього фронту і релаксаційний характер зміни його заднього фронту. При цьому було показано, що задній фронт сигналів АЕ змінюється за експоненціальним законом. Аналіз отриманих результатів дозволив зробити припущення, що на початковому етапі руйнування відбувається за термоактиваційним механізмом. Проте, надалі переважаючим є суто механічне руйнування КМ.

Формулювання мети статті

У роботі буде розглянуто закономірності зміни параметрів сигналів АЕ, що формуються при механічному руйнуванні елементів КМ. Буде продемонстровано вплив швидкості навантаження і фізико-механічних характеристик матеріалу на трансформацію форми та параметрів сигналу АЕ, що формується.

Результати досліджень

У моделі сигналу АЕ, що формується при руйнуванні зразка КМ, який складається з N_0 елементів, на основі термоактиваційного механізму руйнування, згідно [9], використовувався кінетичний підхід, згідно з яким стан кожного елемента можна характеризувати часом до руйнування або часом очікування руйнування τ_p , що описується формулою С.М. Журкова [12]. При цьому швидкість руйнування визначалася як $v_p \approx \tau_p^{-1}$. У той же час, згідно кінетичної теорії міцності [12, 13] процес переважаючого механічного руйнування розвивається зі швидкістю, величина якої змінюється за експоненціальним законом. При відсутності початкової тріщини вона буде описуватися виразом

$$v(t) = v_0 e^{r\sigma(t)}, \quad (1)$$

де v_0 , r – сталі, що визначаються фізико-механічними характеристиками матеріалу; $\sigma(t)$ – середнє напруження в зразку матеріалу.

Згідно (1) процес руйнування має лавиноподібний характер, тобто збільшення кількості зруйнованих елементів призводить до зростання напруження на елементах, що залишилися. Це, у свою чергу, призводить до збільшення швидкості розвитку процесу руйнування.

З огляду на положення, прийняті в [9], і (1) під час розвитку процесу руйнування КМ, що складається з N_0 , під дією навантаження, яке змінюється за лінійним законом $\sigma(t) = \alpha t$, де α – швидкість навантаження, вирази для числа не зруйнованих елементів та формованого сигналу АЕ будуть мати вигляд

$$N = N_0 e^{-\frac{v_0}{r\alpha}(e^{r\alpha t} - 1)}, \quad (2)$$

$$U(t) = u_0 t \alpha v_0 e^{r\alpha t} e^{-\frac{v_0}{r\alpha}(e^{r\alpha t} - 1)}, \quad (3)$$

де $u_0 = N_0 \psi \delta_s$ – максимально можливе зміщення при миттєвому руйнуванні зразка із заданими фізико-механічними характеристиками; ψ – коефіцієнт пропорційності між напруженням і амплітудою одиничного імпульсу збурення, що формується при руйну-

ванні одиничного елемента (ϵ константою); δ_s – величина, яка пропорційна тривалості збурення при руйнуванні одиничного елемента.

З виразів (2) і (3) видно, що на залежності зміни числа не зруйнованих елементів і сигналу АЕ, що формується, під час навантаження КМ впливатимуть швидкість навантаження α та фізико-механічні характеристики матеріалу, які визначаються параметрами v_0 та r . При цьому параметр r характеризує дисперсність розподілу властивостей КМ за міцністю, а параметр v_0 – крихкість. Тому проведемо моделювання закономірностей зміни числа не зруйнованих елементів і сигналів АЕ у три етапи.

На першому етапі змодельуємо процес руйнування елементів КМ, тобто числа не зруйнованих елементів згідно (2) та сигналів АЕ, що формуються, згідно (3), в залежності від α при заданих постійних значеннях v_0 і r . При моделюванні значення параметрів v_0 і r приймемо рівними: $v_0 = 100000$; $r = 10000$, а значення параметра α будемо змінювати від 10 до 40. Зростання α означає зростання швидкості навантаження.

Розрахунки залежностей зміни кількості незруйнованих елементів в часі та сигналів АЕ у вигляді графіків $\tilde{N}(t) = N(t)/N_0$ і $\tilde{U}(t) = U(t)/u_0$, які представлено у нормованих одиницях, показано на рис.1. При проведенні розрахунків параметри, що входять до виразів (2) та (3), приведені до безрозмірних величин, а час представлено в нормованих одиницях.

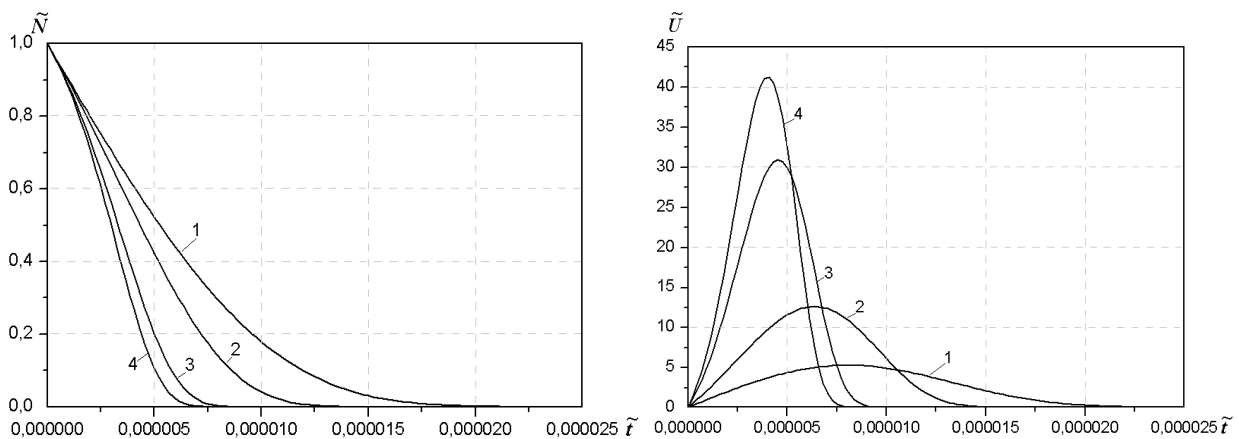


Рис.1. Зміна кількості елементів, що залишилися, в часі (а), згідно (2), та сигнали АЕ (б), згідно (3), що формуються під час розвитку процесу руйнування КМ. Значення параметру α : 1 – $\alpha=10$; 2 – $\alpha=20$; 3 – $\alpha=30$; 4 – $\alpha=50$. Значення параметрів v_0 і r : $v_0=100000$; $r=10000$

З рис. 1, а видно, що криві зміни елементів, що залишилися (не зруйнованих), за часом носять безперервний характер падіння. Зростання напруження, прикладеного до матеріалу (зростання α), призводить до збільшення крутизни падіння кривих зміни кількості елементів, що залишилися, та їх зсуву за віссю часу в бік менших значень. Така зміна залежностей обумовлена тим, що із зростанням α відбувається зростання швидкості процесу руйнування і, як наслідок, зменшення часу його протікання. Вищезазначеним змінам умов протікання процесу руйнування відповідає і зміна параметрів формованих сигналів АЕ. Як видно з рис. 1, б, із зростанням α відбувається зростання амплітуди сигналів АЕ та зменшення їх тривалості. У той же час слід зазначити, що форма сигналів АЕ, що формуються, відрізняється від форми сигналів для моделі термоактиваційного руйнування [9]. З рис. 1, б видно, що сигнали АЕ характеризуються різким наростанням переднього фронту і релаксаційним характером падіння заднього фронту.

При цьому амплітуда сигналів АЕ за заднім фронтом, як показує обробка отриманих даних, змінюється за законом, близьким до експоненціального. Отримані дані добре узгоджуються з результатами експериментальних досліджень [10].

При подальшому зростанні швидкості навантаження ($\alpha > 40$) КМ, як показують результати моделювання, закономірності зміни числа не зруйнованих елементів за часом і формованих сигналів АЕ зберігаються. Спостерігається зростання крутизни падіння числа не зруйнованих елементів, збільшення амплітуди сигналів АЕ та зменшення їх тривалості.

На другому етапі проведемо моделювання числа не зруйнованих елементів, згідно (2), та формованих сигналів АЕ, згідно (3), в залежності від дисперсності властивостей матеріалу за міцністю, які характеризуються параметром r , при заданих значеннях параметрів v_0 та α . При моделюванні значення параметрів v_0 та α прийнемо рівними: $v_0 = 100000$; $\alpha = 10$, а значення параметра r будемо змінювати від 10000 до 22000 з кроком зростання 4000. Зростання r означає зменшення дисперсності властивостей КМ за міцністю, тобто збільшення однорідності матеріалу за властивостями.

Розрахунки залежностей зміни кількості не зруйнованих елементів в часі та сигналів АЕ у вигляді графіків $\tilde{N}(t) = N(t)/N_0$ і $\tilde{U}(t) = U(t)/u_0$, представлених у нормованих одиницях для прийнятих умов моделювання, показано на рис.2. Як і в попередньому випадку, при проведенні розрахунків параметри, що входять у вирази (2) та (3), приведені до безрозмірних величин, а час представлено в нормованих одиницях.

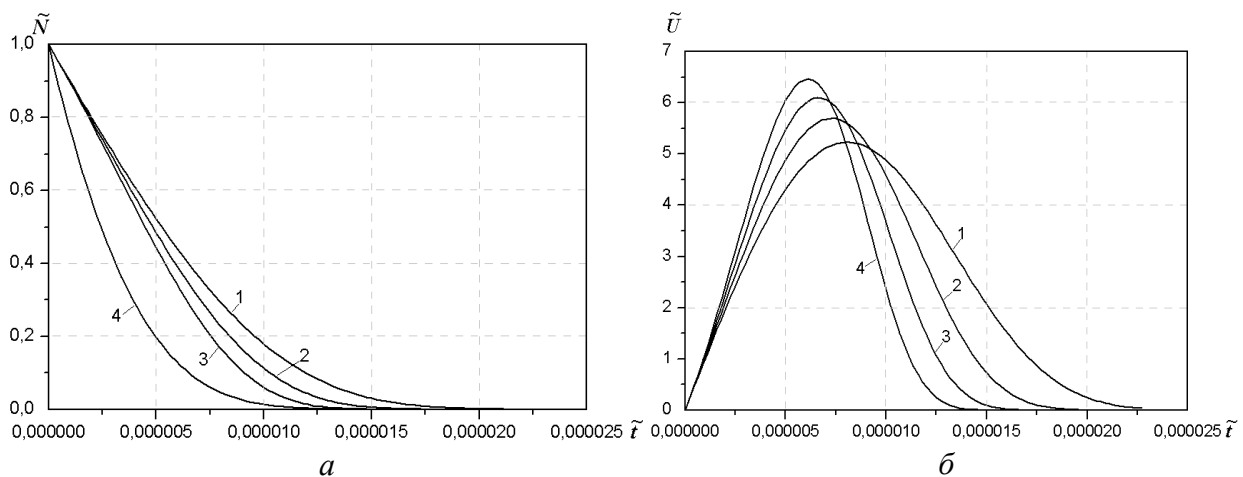


Рис.2. Зміна кількості не зруйнованих елементів за часом (а), згідно (2), та сигналів АЕ (б), згідно (3), під час розвитку процесу руйнування КМ. Значення параметру r : 1 – $r=10000$; 2 – $r=14000$; 3 – $r=18000$; 4 – $r=22000$. Значення параметрів v_0 и α : $v_0=100000$; $\alpha=10$

Результати проведеного моделювання показують (рис. 2, а), що криві зміни кількості не зруйнованих елементів за часом так само носять безперервний спадаючий характер. Зменшення дисперсності матеріалу (зростання параметра r) призводить до збільшення крутизни падіння кривих зміни елементів, що залишилися, та їх зсуву за віссю часу в бік менших значень. Це обумовлено тим, що при меншій дисперсності матеріалу за властивостями має відбуватися зростання кількості елементів, які руйнуються за одиницю часу, тобто повинна збільшуватися швидкість розвитку процесу руйнування. Наслідком цього, як і раніше, є зменшення часу протікання процесу руйнування. У той же час, вплив параметра r на збільшення крутизни падіння кривих числа не зруйнованих елементів значно менший, ніж вплив швидкості навантаження КМ (рис. 1, а). Це добре спостерігається у формованих сигналах АЕ (рис. 1, б) при збереженні загальної тенденції зміни їх параметрів. Із зростанням r відбувається зростання амплітуди сигналів АЕ

та їх стиснення в часі. Проте, ступінь зростання амплітуди та зменшення тривалості значно менші, ніж при зростанні α . Слід відзначити, що результати проведеного моделювання не показують зміну форми сигналів АЕ. Як і раніше, спостерігається різке наростання переднього фронту і акселераційне падіння заднього фронту сигналів АЕ.

При подальшому зменшенні дисперсності КМ за властивостями ($r > 22000$) закономірності зміни числа не зруйнованих елементів за часом і сигналів АЕ залишаються. Спостерігається зростання крутизни падіння кількості не зруйнованих елементів, збільшення амплітуди сигналів АЕ та зменшення їх тривалості.

На третьому етапі будемо моделювати кількість не зруйнованих елементів, згідно (2), та формованих сигналів АЕ, згідно (3), в залежності від параметра, який характеризує крихкість матеріалу v_0 , при заданих значеннях параметрів r та α . При моделюванні параметри r та α будуть мати значення: $r = 10000$; $\alpha = 10$, а значення v_0 будемо змінювати від 100000 до 250000 із кроком в 50000. Ріст v_0 означає збільшення крихкості КМ.

Розрахунки залежностей зміни за часом для кількості не зруйнованих елементів та формованих сигналів АЕ у вигляді графіків $\tilde{N}(t) = N(t)/N_0$ і $\tilde{U}(t) = U(t)/u_0$, що представлені у нормованих одиницях для прийнятих умов моделювання, показано на рис.3. Як і раніше, при проведенні розрахунків параметри, що входять до виразів (2) та (3), приведено до безрозмірних величин, а час представлено в нормованих одиницях.

З рис. 3, а видно, що при зростанні v_0 криві зміни не зруйнованих елементів за часом зберігають свій характер. Спостерігається збільшення крутизни падіння кривих та їх зсув за віссю часу у бік менших значень. Однак, вплив параметра v_0 , як і у випадку зростання параметра r , на крутизну падіння отриманих залежностей значно менший, ніж вплив зростання α (рис. 1, а).

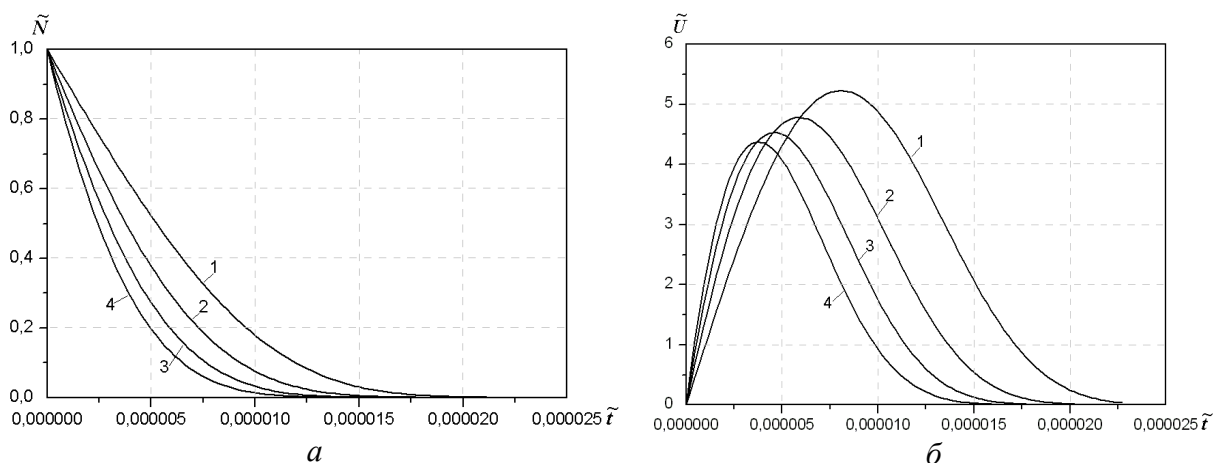


Рис.3. Зміна кількості елементів, що залишилися, за часом (а), згідно (2), та формовані сигнали АЕ (б), згідно (3), під час розвитку процесу руйнування КМ. Значення параметру v_0 : 1 – $v_0 = 100000$; 2 – $v_0 = 150000$; 3 – $v_0 = 200000$; 4 – $v_0 = 250000$. Значення параметрів r і α : $r = 10000$; $\alpha = 10$

У формах сигналів АЕ змін не спостерігається: фіксується різке наростання переднього фронту і релаксаційні падіння амплітуди за заднім фронтом. При збільшенні v_0 спостерігається стиснення сигналів АЕ в часі, тобто зменшення їх тривалості (рис. 3, б). Проте, закономірності зміни амплітуди сигналів АЕ носять зворотний характер по відношенню до впливу α і r . Із зростанням v_0 амплітуда сигналів АЕ падає. Така зміна амплітуди сигналу не є коректною, тому що із зростанням крихкості матеріалу повинна

зростати і швидкість руйнування. Це означає, що при моделюванні не коректно припускати, що зі зростанням параметра v_0 параметр α не змінюється. Значення α може бути постійним тільки в початковий момент часу розвитку процесу руйнування, а в подальшому швидкість протікання процесу руйнування повинна зростати. На рис. 4 показаний результат моделювання сигналів АЕ для даних умов протікання процесу руйнування. Сигнал АЕ 1 на рис. 4 формується при постійній швидкості руйнування, а сигнал АЕ 2 на рис. 4 формується при зміні швидкості процесу руйнування КМ.

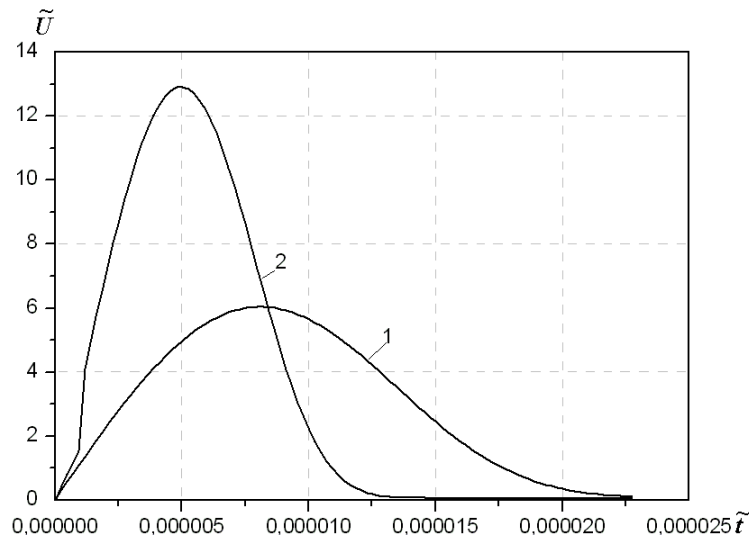


Рис. 4. Сигнали АЕ, згідно (3), які формуються при розвитку процесу руйнування КМ за часом. Значення параметрів v_0 и α : 1 – $v_0 = 100000$, $\alpha = 10$; 2 – $v_0 = 150000$, $\alpha = 20$. Значення параметра r : $r = 10000$

З рис. 4 видно, що при заданій початковій швидкості навантаження α для матеріалу з більшою крихкістю (більше значення v_0), з припущенням того, що після початку його руйнування в деякий момент часу відбувається зростання швидкості розвитку процесу, спостерігається зростання амплітуди сигналу АЕ та його стиснення у часі (крива 2, рис. 4). При цьому характер зміни заднього фронту сигналу АЕ зберігається. Отриманий результат відповідає тому, що процес руйнування більш крихкого матеріалу відбувається з більшою швидкістю та за менший проміжок часу.

Висновки

Результати проведеного моделювання показали, що, на відміну від термоактиваційного механізму руйнування, при механічному руйнуванні КМ формуються сигнали АЕ, подібні сигналам, які реєструються при експериментальних дослідженнях. Спостерігається різке зростання переднього фронту сигналів і акселераційна зміна їх амплітуди за заднім фронтом. При постійних фізико-механічних характеристиках матеріалу зростання швидкості його навантаження призводить до зростання амплітуди сигналів АЕ та їх стисненню у часі, що відповідає зменшенню часу протікання процесу до повного руйнування матеріалу. Аналогічна зміна параметрів сигналів АЕ спостерігається і при зменшенні дисперсності композиційного матеріалу за його властивостями міцності. У той же час, збільшення крихкості матеріалу призводить до зворотної залежності зміни амплітуд сигналів АЕ. При цьому показано, що причиною такої зміни амплітуди сигналів АЕ є неврахування зміни швидкості процесу руйнування при зростанні крихкості матеріалу. Результати моделювання показали, що при врахуванні збільшення швидкості процесу руйнування спостерігається зростання амплітуди сигналу АЕ і його стиснення в часі. У той же час, для визначення інформативності сигналів АЕ при

механічному руйнуванні композиційного матеріалу необхідно провести дослідження закономірностей зміни параметрів сигналів, що формуються, в залежності від факторів, що впливають.

Список літературних джерел

1. Curtin W.A. Theory of mechanical properties of ceramic-matrix composites/ W.A. Curtin //J.Am.Ceram.Soc.-1991.-v.75.-P.2837-2845.
2. Newman W.I. Time dependent fiber-bundles with local load sharing/ W.I. Newman, S.L. Phoenix //Phys. Rev. E.-2001.-v.63.-021507.
3. Lyakhovsky V. Distributed damage, faulting and friction/ V. Lyakhovsky, Y. Ben-Zion, A. Agnon // J. Geophys.-1997.-v.102.-No 27.-P.635-649.
4. Lyakhovsky V. A rheological model of a fractured solid/ V. Lyakhovsky, Y. Podladchikov, A. Polikov //Tectonophysics.-1993.-v.226.-P.187-198.
5. Guarino A. An experimental test of the critical behavior of fracture precursors / A. Guarino, A. Garcimartin, S. Ciliberto // Europ. Phys. J.-1998.-B6.-P.13-24.
6. Guarino A. Failure time and microcrack nucleation / A. Guarino, S. Ciliberto, A. Garcimartin // Europhys.Lett.-1999.-v.47.-P.13-24.
7. Shcherbakov R. On modeling of geophysical problems / R. Shcherbakov //A dissertation for degree of doctor of philosophy (Cornell university).-2002.-209 p.
8. Turcotte D.L. Micro and macroscopic models of rock fracture/ D.L. Turcotte, W.I. Newman, R. Shcherbakov // Geophys. J. Intern.-2003.-v.152.-No 3.-P.718-728.
9. Филоненко С.Ф. Модель формирования сигнала акустической эмиссии при разрушении композиционного материала/ С.Ф. Филоненко, В.М.Калита, Т.В. Нимченко // Технологические системы.-2009.-№2(46).-С.17-25.
10. Филоненко С.Ф. Моделирование акустической эмиссии при разрушении композиционных материалов растяжением / С.Ф. Филоненко, Т.В. Нимченко, Т.Н. Косицкая// Вісник інженерної академії України.-2010.-№1.-С.128-133
11. Филоненко С.Ф. Закономерности изменения параметров акустической эмиссии при разрушении хрупких композиционных материалов/ С.Ф. Филоненко, В.М.Калита, Т.В. Нимченко // Технологические системы.-2009.-№3(47).-С.27-33.
12. Регель В.Р. Кинетическая природа прочности твердых тел [В.Р. Регель, А.И. Слуцкер, Э.Е. Томашевский].-М.: Наука, 1974.-560 с.
13. Маламедов И.М. Физические основы надежности [И.М. Маламедов].-Л.: Энергия, 1970.-152 с.

УДК 621.924.1/6

О.І. Сиза, д-р техн. наук

О.М. Савченко, канд. техн. наук

О.О. Корольов, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

РОЗРОБКА ІНГІБІТОРІВ НА ОСНОВІ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ ПРОТИКОРОЗІЙНОГО ЗАХИСТУ СИСТЕМ ВОДО- ТА ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

Із залученням продуктів переробки рослинної сировини України розроблено новий екологічно безпечний інгібітор корозії (МГ-ЧДТУ) з високою ефективністю протикорозійного захисту конструкційних сталей систем комунального водопостачання, закритих систем опалення житлового та промислового призначення, зворотних систем охолодження підприємств.

Вступ

В останні роки ведеться інтенсивний пошук нових екологічно безпечних композицій для захисту поверхні сталі від корозійних ушкоджень[1-5]. Така проблема зумовлена необхідністю скорочення не тільки застосування небезпечних і токсичних інгібіторів (незважаючи на те, що вони відповідають багатьом експлуатаційним вимогам), але і обмеженням функціонування екологічно шкідливих виробництв. Одним з перспективних шляхів вирішення даної проблеми є використання захисних композицій на основі продуктів переробки відходів рослинної сировини. Висока собівартість та проблема доступності сировини для виробництва інгібіторів спонукає пошук нових перспективних джерел. Так, ряд хімічних продуктів, які мають інгібуючі властивості, можна безпосередньо вилучити з рослин, біомаса яких щорічно відновлюється. З іншого боку, проблема ресурсозбереження, запровадження безвідходних технологій при використанні сільськогосподарської сировини вважається останнім часом особливо актуальною для переробної промисловості. Адже в середньому вихід готової продукції становить лише 15–30% маси перероблюваної сільськогосподарської сировини, а решту складають відходи і побічні продукти. Звідси відходи переробки сільськогосподарської продукції є величезним резервом ресурсозбереження, який поки що використовується вкрай недостатньо.

У зв'язку з цим мета роботи полягала у розробленні ефективних інгібіторів корозії на основі продуктів переробки екологічно-безпечної рослинної сировини України.

Проблема, що вирішується

Однією з проблем забезпечення населення якісними послугами систем комунального водо- та теплопостачання у більшості міст України є вторинне забруднення води при проходженні її по водогінній мережі. До споживачів вода надходить через розгалужену систему водогонів, які на 96% змонтовані з сталевих та чавунних труб. Внутрішні мережі у будинках також змонтовані з труб чорних металів. При проходженні по трубопроводах вода стає «бурою», на стінках трубопроводів утворюються відкладення. Причиною є те, що вода вступає в контакт з металом трубопроводів і окислює його. На пошкоджених корозією трубопроводах постійно виникають аварійні ситуації.

Уникнути руйнівної дії корозії трубопроводів можливо шляхом заміни їх на нові з використанням труб, що не підлягають корозії – поліетиленових, з нержавіючої сталі та ін. Але для цього потрібен дуже тривалий час і значні кошти (для одного міста – сотні млн. грн.)

Наказом Міністерства з питань ЖКГ від 19.03.2008 року № 67 з 14.04.2008 р. введений у дію галузевий стандарт СОУ ЖКГ 41.00-35077234.010:2008 «Захист протикорозійний. Загальні вимоги та методи контролювання», який є обов'язковим для застосування на підприємствах водопровідно-каналізаційного господарства. Згідно стандарту

система централізованого господарсько-питного водопостачання вважається захищеною від внутрішньої корозії і готовою до експлуатації за умови, якщо швидкість корозії не перевищує 0,05 мм/рік. При високому рівні корозивності (0,05-0,2 мм/рік) експлуатація системи водопостачання дозволяється протягом тільки одного сезону, при цьому забороняється видавати технічні умови на підключення нових споживачів.

Основними протикорозійними заходами Стандарт визначає застосування інгібіторів корозії та електрохімічний захист. Перевага надається інгібіторам, які здатні попереджувати утворення нових відкладень та видаляти уже існуючі.

Об'єкти і методи дослідження

В роботі досліджували продукти переробки рослинної сировини при виробництві олії та модифіковані відходи виробництва рослинної олії.

Корозійні випробування проводили на зразках із сталі гравіметричним та електрохімічним (потенціостат П-5827) методами. Поверхню зразків послідовно шліфували на дрібнозернистому наждачному папері марок Р240 – Р1200, промивали в проточній воді і знежирювали ацетоном.

Гравіметричні дослідження проводили на зразках із Ст3 у вигляді прямокутних пластинок розміром 50,3×22,3×3,2 мм і сталі 20 з розмірами 50×10×0,9 мм. Після експозиції поверхню зразків звільняли від продуктів корозії, промивали проточною водою, висушували, знежирювали і зважували.

Швидкість корозії оцінювали за формулою:

$$K_m = (m_1 - m_2) / S \cdot t,$$

де: K_m – швидкість корозії, г/(м²·год); m_1 – маса зразка до випробування, г; m_2 – маса зразка після випробування, г; S – площа поверхні зразка, м²; t – тривалість дослідження, години.

Ефективність захисної дії інгібітора корозії оцінювали ступенем захисту Z_m :

$$Z_m = [(K_m - K'_m) / K_m] \cdot 100, \%,$$

де K_m , K'_m – швидкість корозії за втратою маси металу без інгібітора та з інгібітором, відповідно, г/(м²·год).

Дослідження проводили в зворотних водах ВАТ "Концерн Стирол" (pH – від 7,5 до 8,3, загальна твердість – від 17,8 до 26,2 мг-екв/л, солевміст – хлориди, сульфати, нітрати – від 3753 до 4599 мг/л); водах системи опалення ЧДТУ – пом'якшена вода (pH – від 7,0 до 7,1; загальна твердість – від 37 до 70 мкг-екв/л); в 3 % $NaCl$.

Температура розчинів: 293 К - 333 К.

Результати дослідження

На кафедрі хімії, протикорозійного захисту та безпеки життєдіяльності ЧДТУ розроблено новий ефективний, екологічно-безпечний інгібітор МГ-ЧДТУ [6]. Особливістю інгібітора є те, що його основа – екологічно чиста і щороку поновлювана рослинна сировина (олія), а можливість заміни рослинної олії на відходи її виробництва знижує собівартість продукції.

Інгібітор МГ-ЧДТУ (патент України № 8626) – екологічно безпечний ефективний інгібітор корозії сталі (ступінь захисту 92-99%) на основі доступної, дешевої сировини рослинного походження. Використовується при захисті металоконструкцій та обладнання від корозії в кислих, нейтральних і слабколужних середовищах та від атмосферної корозії під час експлуатації, збереження, консервації і транспортування. Він є також ефективним засобом боротьби з біологічними домішками (водоростями, плісінню, грибами), які проникають в теплообмінники і трубопроводи, забруднюють їх поверхню і сприяють розвитку корозії.

Інгібітор МГ-ЧДТУ може використовуватись як модифікатор алкідних та олійних лакофарбових матеріалів. Суттєво покращуються фізико-механічні і захисні властивос-

ті лакофарбових покриттів.

Об'єкти захисту (галузь застосування): системи комунального водопостачання, закриті системи опалення житлового та промислового призначення, зворотні системи охолодження у технологічних циклах підприємств (житлово-комунальне господарство, хімічна промисловість, машинобудування).

Результати дослідження інгібітора МГ-ЧДТУ в зворотних циркулюючих водах хіміко-біологічного підприємства ВАТ «Концерн Стирол», м. Горлівка

Це хіміко-біологічна компанія, що випускає ефективні мінеральні добрива, широку гаму сучасних лікарських препаратів, полімерні матеріали і вироби з них, лізин-протеїнові добавки. На підприємстві, у результаті високої агресивності зворотної води, існує гостра проблема корозійного руйнування теплообмінних апаратів. Для дослідження були відібрані води зворотні циркулюючі (ВЗЦ) після чотирьох різних технологічних циклів – ВЗЦ-6, ВЗЦ-8, ВЗЦ-10, ВЗЦ-12, які відрізняються ступенем агресивності, що залежить від вмісту солей.

Експериментальні дані дослідження протикорозійної ефективності інгібіторів в зворотних водах на сталі 20 гравіметричним методом представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Залежність швидкості корозії і ступеня захисту сталі 20 від концентрації інгібітора МГ-ЧДТУ у промислових зворотних водах (експозиція 192 год)

Концентрація МГ-ЧДТУ, г/л	ВЗЦ-10		ВЗЦ-12	
	K_m , г/м ² ·ч	Z, %	K_m , г/м ² ·ч	Z, %
0	$3,9 \cdot 10^{-2}$	—	$5,2 \cdot 10^{-2}$	—
0,15	$7,1 \cdot 10^{-3}$	81,8	$1,4 \cdot 10^{-2}$	72,70
0,50	$3,0 \cdot 10^{-3}$	92,0	$5,4 \cdot 10^{-3}$	89,50
1,00	$1,9 \cdot 10^{-3}$	95,2	$1,1 \cdot 10^{-3}$	97,70
1,50	$2,3 \cdot 10^{-4}$	99,4	$1,0 \cdot 10^{-5}$	99,98

Встановлено, що з ростом концентрації інгібітора від 0,15 г/л до 1,5 г/л ступінь захисту збільшується з 81,8 % до 99,4 % для ВЗЦ-10; з 72,7 % до 99,98 % для ВЗЦ-12. Тому, для подальших досліджень протикорозійного захисту сталі 20 і Ст3 в зворотних водах базова концентрація інгібітора МГ-ЧДТУ складала 1,5 г/л (табл. 2). Швидкість корозії сталі у всіх пробах зворотних вод без інгібітора значно перевищує ці показники в інгібованих розчинах.

Зміни поверхні металу без інгібітора помітні візуально наприкінці першого дня експозиції. У подальшому на зразках утворюються пухкі продукти корозії, що поступово конгломеруються і випадають у вигляді осаду бурого кольору на дно склянки. Важкорозчинні сполуки від темно-бурого до чорного кольору вкривають поверхню металу (рис. 1). Темні корозійні продукти після дегідратації (видалення вільної води) перетворюються в чорний стабільний магнетит.

Інгібітор МГ-ЧДТУ істотно гальмує корозію сталі 20 у всіх досліджених зворотних водах. Поверхня зразків після всього періоду випробування чиста і блискуча (рис. 2). Ступінь захисту складає 99,4-99,98 % (табл. 2).

Тривала дія інгібованих ВЗЦ (протягом 30 діб) показує, що ступінь гальмування не змінюється. У деяких випадках узагалі не спостерігається зміна маси зразків сталі 20, що говорить про практично повну відсутність корозії.

Вплив температури на швидкість корозії й ефективність інгібування в ВЗЦ-10 вивчена гравіметричним методом при 293 К, 313 К, 333 К (табл. 3). Відбувається значне збільшення K_m сталі 20 і Ст3 у всьому інтервалі температур у неінгібованих розчинах. При введенні МГ-ЧДТУ у ВЗЦ швидкість корозії сталі 20 і Ст3 зростає незначно, а захисна дія залишається порівняно високою і при 333 К ($Z = 93,0 - 95,6 \%$).

Таблиця 2

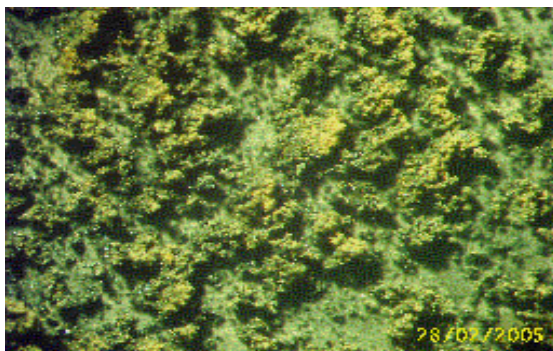
Швидкість корозії і ступінь захисту сталі у присутності інгібітора МГ-ЧДТУ у промислових зворотних водах ($C_{\text{In}} = 1,5$ г/л, експозиція 192 год)

ВЗЦ	Без інгібітора		МГ-ЧДТУ		МГ-ЧДТУ	
	K_m , г/м ² ·год		K_m , г/м ² ·год		Z, %	
	Сталь 20	Ст3	Сталь 20	Ст3	Сталь 20	Ст3
6а	$4,6 \cdot 10^{-2}$	$7,5 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$3,5 \cdot 10^{-3}$	99,80	95,3
8	$3,9 \cdot 10^{-2}$	$8,0 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$5,6 \cdot 10^{-3}$	99,90	93,0
10	$3,9 \cdot 10^{-2}$	$7,3 \cdot 10^{-2}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$3,7 \cdot 10^{-3}$	99,40	94,8
12	$5,2 \cdot 10^{-2}$	$7,5 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$3,7 \cdot 10^{-3}$	99,98	95,0

Таблиця 3

Залежність швидкості корозії і ступеня захисту сталі 20 і Ст3 від температури у ВЗЦ-10 в присутності інгібітора МГ-ЧДТУ

T, K	Сталь 20			Ст3		
	K_m , г/м ² ·ч		Z, %	K_m , г/м ² ·ч		Z, %
	Без інг.	МГ-ЧДТУ		Без інг.	МГ-ЧДТУ	
293	$4,00 \cdot 10^{-2}$	$2,30 \cdot 10^{-4}$	99,4	$7,30 \cdot 10^{-2}$	$3,7 \cdot 10^{-3}$	94,8
313	$1,33 \cdot 10^{-1}$	$7,14 \cdot 10^{-3}$	95,9	$7,83 \cdot 10^{-2}$	$4,1 \cdot 10^{-3}$	94,6
333	$1,50 \cdot 10^{-1}$	$7,10 \cdot 10^{-3}$	95,6	$9,16 \cdot 10^{-2}$	$7,5 \cdot 10^{-3}$	93,0

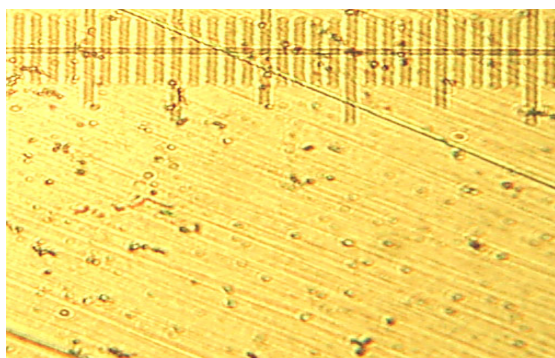


а



б

Рис. 1. Поверхня зразка сталі 20, витриманого у воді без інгібітора: а – (х 240), б – без збільшення (натуральний розмір)



а



б

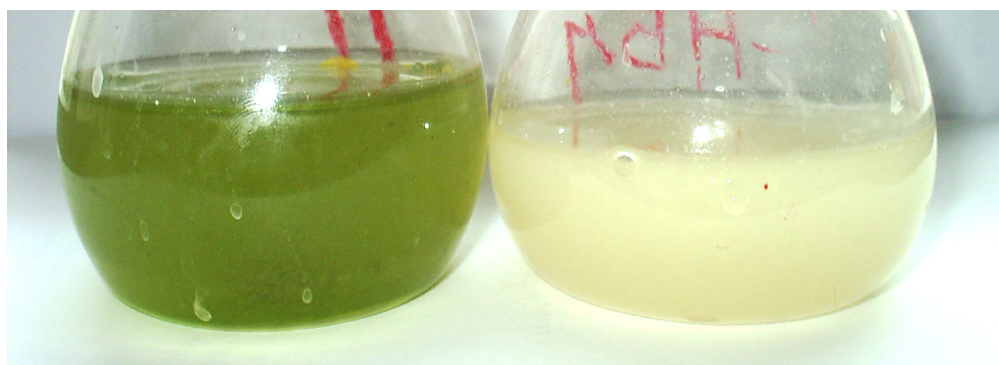
Рис. 2. Поверхня зразка сталі 20, витриманого у воді з інгібітором МГ-ЧДТУ: а – (х 240), б – без збі-

льшення (натуральний розмір)

Крім того, проведені випробування в умовах постійного перемішування методом дослідження корозійного опору сталі 20 на приладі ППК-1. Встановлено, що перемішування у неінгібованих водах посилює корозійні руйнування при 298 – 333 К у 2,5 рази. Разом з тим перемішування в інгібованих розчинах не збільшує корозійну проникність (мм/рік), а ефективність протикорозійного захисту інгібітором МГ-ЧДТУ (71 – 97 %) збільшується на 5 – 36 % порівняно із стаціонарним режимом.

Великі технічні труднощі при використанні зворотних вод створюють мікроорганізми, якими обростають стінки резервуарів. Тому, крім корозійних досліджень, проведені спостереження за ростом мікроорганізмів у пробах зворотних вод. Дослідження на протязі двох місяців, під час дії сонячного світла і при температурі 298 К, показали наявність інтенсивного росту мікроорганізмів у неінгібованій воді: поява великої кількості скупчень водоростей зеленого кольору (рис. 3).

Ідентифікація мікроорганізмів та мікроскопічних водоростей проводилась сумісно з фахівцями кафедри екології та охорони праці Чернігівського національного педагогічного університету ім. Т.Г. Шевченка з використанням світлового мікроскопа. Виявлені такі групи водоростей: з відділу Cyanophyta – рід *Synechocystis*, рід *Holopedia*, рід *Chroococcus*, рід *Myrocystis*, рід *Dactylococcopsis*; з відділу Bacillariophyta – рід *Cymbella*.



a

б

Рис. 3. Зворотні води без інгібітора (*a*) і інгібовані МГ-ЧДТУ (*б*)

Результати випробувань у статичному режимі води системи опалення та у 3% NaCl

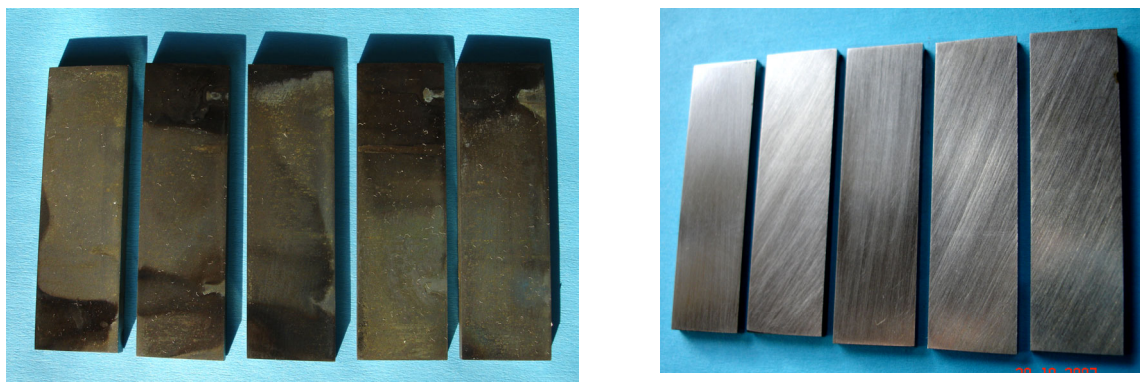


a

б

Рис. 4. Фотографії поверхні зразків Ст3 після порівняльних випробувань у воді системи опалення: *a* –

без інгібітора; б – з інгібітором (концентрація інгібітора 1,5 г/л, 800 годин при 333 К)



а

б

Рис. 5. Фотографії поверхні зразків Ст3 після порівняльних випробувань у 3 % NaCl: а – без інгібітора; б – з інгібітором (72 години при 293 К)

Застосування інгібітора МГ-ЧДТУ у складі олійних та алкідних лакофарбових матеріалів

Сучасний стан розвитку економіки України зумовлює появу низки актуальних проблем, пов'язаних з удосконаленням виробництва та підвищенням рівня екологічної безпеки продукції, зокрема лакофарбових матеріалів, у поєднанні з їх високими експлуатаційними властивостями. Відомо, що при введенні в лакофарбові матеріали інгібіторів корозії або пасиваторів захисна дія покриттів посилюється [7]. Тому покращення захисних і фізико-механічних показників покриттів шляхом введення інгібуючих добавок є актуальним завданням сьогодення.

Лакофарбові композиції готували суміщенням плівкоутворювача з інгібіторами при ретельному перемішуванні з подальшим введенням інших компонентів фарби (пігменти-наповнювачі, розчинник до робочої густоти). Диспергування пігментів і наповнювачів здійснювали протягом 1,5-2 год. з використанням бісеру і лабораторної мішалки в присутності цільових добавок.

Результати порівняльних досліджень властивостей розроблених фарб (ПФ-115-МГ, МА-15-МГ) порівняно з промисловими фарбами (ПФ-115-У та МА-15-Н), демонструють їх переваги за всіма фізико-механічними показниками: збільшується еластичність покриття, міцність на удар, адгезія та зменшується час до повного висихання фарб (табл. 4).

Таблиця 4

Фізико-механічні і захисні властивості покриттів

Найменування показника		Розроблені фарби		Промислові фарби	
		ПФ-115-МГ	МА-15-МГ	ПФ-115-У	МА-15-Н
Режим висихання	температура, °С	25	25	25	25
	час, год	20	21	24	26
Міцність при ударі, Дж.		5	4,9	4,2	4
Згин, мм		1	1	2	2
Адгезія методом відшарування, бал		1	1	2	2

Стійкість плівки до статичної дії 3 % NaCl, години	360	< 360	240	216
Стійкість плівки до статичної дії 0,1M HCl, години	168	120	96	84

Результати досліджень протикорозійної стійкості показали, що перші зміни у покритті з'явилися:

– на основі промислових фарб МА-15-Н і ПФ-115-У після витримки у 0,1 М НСІ – через 84 – 96 годин, а в 3 % NaCl – через 216 – 240 годин; поверхня металу із слідами корозії (рис. 6-б);

– на основі розроблених фарб ПФ-115-МГ та МА-15-МГ, витриманих в 0,1 М НСІ, – через 168 і 120 годин відповідно і в 3 % NaCl – через 360 годин для ПФ-115-МГ. Покриття фарби МА-15-МГ в 3 % NaCl через 360 годин залишалось без змін. Поверхня металу, покритого розробленими фарбами ПФ-115-МГ та МА-15-МГ, – без слідів корозії (рис. 6-а).



Рис. 6. Внутрішня поверхня покриття з інгібітором МГ-ЧДТУ (а) і без інгібітора (б)

Інгібітор МГ-ЧДТУ захищений патентом України: деклараційний патент на корисну модель № 8626 Інгібітор корозії, МПК 7 с23 F11/10.

На розроблену рецептуру інгібітора МГ-ЧДТУ складено технічні умови – ТУУ 24.6-05460798-001-2005.

За розробленою документацією здійснено випуск дослідних партій інгібітора МГ-ЧДТУ на науково-виробничому підприємстві АТЗТ “Згода” м.Чернігова. В акті випуску дослідних партій відзначається, що технологія виготовлення інгібітора технологічних труднощів не представляє, випробування інгібітора показали відповідність його властивостей вимогам технічних умов.

Проведено дослідно-промислові випробування протикорозійної активності інгібітора МГ-ЧДТУ на ВАТ «Концерн Стирол». м. Горлівка.

Висновки

- Із залученням продуктів переробки рослинної сировини України, на основі комплексної оцінки корозійно-електрохімічної поведінки сталі в агресивних середовищах, розроблено новий екологічно безпечний інгібітор корозії (МГ-ЧДТУ) з високою ефективністю протикорозійного захисту конструкційних сталей у нейтральному, лужному та кислому середовищах ($Z = 93,0 - 99,8 \%$), який зменшує біологічне забруднення водоростями, бактеріями і грибами водного середовища.
- Порівняння протикорозійної дії інгібітора МГ-ЧДТУ та відомих промислових інгібіторів: ХОСП (ТУ-6-02-1089-77), ЧФ (ТУ 578 КЛ 001- 01- 90), ОК (ТУ У 21854083. 009-99) показує суттєві переваги розробленого інгібітора (табл. 5).

Таблиця 5

Електрохімічні параметри інгібування сталі 20 ($C_{\text{H}} = 5$ г/л)

Середовище	Ступінь захисту Z, %			
	ЧФ	ОК	ХОСП	МГ-ЧДТУ
0,1 М НСІ, 300 К	34,0	80,0	61,0	90,0
3 % NaCl	-	55,8	-	93,6

- Екологічна безпека розроблених композицій підтверджена розрахунком прогнозних санітарно-гігієнічних і токсикологічних показників. Еколого- і соціально-економічна прогнозна ефективність утилізації відходів виробництва олії становить 69360 грн/рік

Список літературних джерел

1. Чигиринец Е., Гальченко Г., Стовпченко А. Исследование механизма защитного действия ингибитора ИПС-1, синтезированного из отходов растительного происхождения // Фіз.-хім. механіка матеріалів / Спецвипуск "Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів". – 2004. – №4, Т2. – С. 805-810.
2. Гальченко Г.Ю., Выхрестюк Н.И., Чигиринец Е.Э., Стовпченко А.П. Исследование химического состава отходов масложировой промышленности // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2005. – №5. – С. 55-57.
3. Савченко О.Н., Сизая О.И. Использование модифицированных растительных масел в противокоррозионной защите стали // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2004. - №4. – С. 14-18.
4. Сиза О. І., Савченко О. М., Сміян О. Д., Капітанчук Л. М. Наноструктурні процеси при інгібіторному захисті сталі модифікованою рослинною олією // Фізика і хімія твердого тіла. – 2006. – Т. 7 – № 1 – С. 180–186.
5. Сизая О.И., Савченко О.Н., Королев А.А. Исследование защитного действия противокоррозионных материалов на основе продуктов растительного происхождения // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2005. – № 5. – С. 34-39.
6. Деклараційний патент України на корисну модель № 8626. Інгібітор корозії / Сиза О.І., Савченко О.М., Гаценко С.В. Заявл. 24.01.2005. Опубл. 15.08.2005. Бюл. № 8, МПК 7 C23 F11/10. – С. 5.112.
7. Розенфельд И.Л., Рубинштейн Ф.И. Антикоррозионные грунтовки и ингибированные лакокрасочные покрытия. – М.: Химия, 1980. – 200 с.

УДК 628.517.2

В.М. Челябієва, канд. техн. наук

О.Л. Гуменюк, канд. хім. наук

Н.М. Денисова, асистент

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ ДЕЯКИХ СПІНЕНИХ ТА СКЛОВОЛОКНИСТИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ ПРИМІЩЕНЬ ВІД ШУМУ

Досліджені звукопоглинальні властивості деяких теплоізоляційних матеріалів з групи спінених та скловолокнистих. Зроблено висновок про доцільність їх використання як звукопоглинальних матеріалів з точки зору акустичних, пожежонебезпечних характеристик та екологічності.

Постановка проблеми

Однією з розповсюджених на сьогодні проблем під час організації звукоізоляції в невеликих офісних приміщеннях, студіях, магазинах (що, як правило, розміщені на перших поверхах житлових приміщень) і т.д. є неправильний вибір матеріалів. Зацікавлені у виробництві та продажу теплоізоляційних матеріалів підприємці часто пропонують такі матеріали і в якості шумоізоляційних. Наслідками застосування непридатних для організації звукоізоляції матеріалів може бути не зниження, а навпаки, – підвищення рівня шуму в приміщенні; підвищення рівня пожежонебезпечності приміщення та забруднення повітря в ньому шкідливими речовинами, що виділяються з таких "звукоізолюючих" матеріалів [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Зниження рівня шуму до допустимих величин на виробництві, поліпшення шумового клімату в офісах, адміністративних, навчальних, житлових і т.д. будинках є одним із заходів оздоровлення умов праці та відпочинку [2].

Під час проведення робіт щодо забезпечення нормальних умов трудової діяльності людини шумом вважають будь-який небажаний звук незалежно від його характеру та природи виникнення (промисловий шум, шум автомобільного транспорту, побутовий).

Зовнішній шум проникає в приміщення через стіни та перегородки, які під впливом змінного тиску падаючої хвилі коливаються, випромінюючи шум всередину приміщення; безпосередньо повітрям через щілини та отвори; завдяки вібрації в будівельних конструкціях [2]. Зниження надходження шуму в приміщення можна досягти, обробивши стіни та перегородки приміщення звукопоглинальними матеріалами, з обов'язковим усуненням щілин та отворів в місцях проходження комунікацій.

Під час вибору матеріалу для організації шумозахисту в приміщенні слід враховувати як характеристики шуму (частоту та вид шуму за поширенням – повітряний чи ударний), так і характеристики самого матеріалу, зокрема, такі як пожежонебезпечність та екологічність.

За частотою шуми поділяють на низько-, середньо- та високочастотні. Середньочастотні шуми ($f_{с.г.}=500$ і 1000 Гц) виникають під час роботи більшості машин, верстатів та іншого обладнання неударної дії. Ці шуми відносять до так званих промислових шумів. Високочастотні шуми ($f_{с.г.}=2000, 4000, 8000$ Гц) – шиплячі, свистячі, дзвенячі – характерні для обладнання, яке працює на великих швидкостях, створює сильні потоки повітря або газів, має ударний принцип дії. Низькочастотні шуми з $f_{с.г.}$ 63, 125 та 250 Гц виникають від руху трамвая, ударів відбійного молотка і т.ін.

За способом поширення розрізняють: повітряний шум – це шум, що проникає в приміщення безпосередньо повітрям через щілини та отвори або через перегородку, яка під впливом змінного тиску падаючої хвилі коливається, випромінюючи шум; ударний

шум (або структурний) – шум, який проникає в приміщення за рахунок вібрації, що утворюється в будівельних конструкціях.

Згідно з ГОСТ 23499-79 [3] звукопоглинальні матеріали повинні задовольняти наступним вимогам: мати стабільні фізико-технічні й акустичні показники протягом усього періоду експлуатації; бути біо- і вологостійкими; не виділяти в навколишнє середовище шкідливих речовин у кількостях, що перевищують гранично допустимі концентрації для атмосферного повітря.

За призначенням будівельні матеріали і вироби, що застосовуються в будівельних конструкціях житлових, адміністративних і виробничих приміщень для захисту від шуму, класифікують на звукопоглинальні і звукоізоляційні [3].

Звукопоглинальні матеріали і конструкції призначені для поглинання падаючого на них звуку, а звукоізоляційні – для ослаблення звукових хвиль, що передаються через конструкції будинку з одного приміщення в інше.

Для підвищення ефективності шумозахисту використовують поєднання звукопоглинальних і звукоізолюючих матеріалів, збільшення масивності огорожувальних конструкцій і їх акустичної розв'язки в місцях примикань [4].

За структурними ознаками звукопоглинальні матеріали і вироби поділяють на пористо-волокнисті (із мінеральної і скляної вати), пористо-комірчасті (з комірчастого бетону і перліту) і пористо-губчасті (пінопласти, резини) [3].

Сировиною для виробництва волокнистих матеріалів є деревинні волокна, мінеральна вата, скляна вата, синтетичні волокна. До таких матеріалів і виробів відносяться повсть, мінеральна вата, арболіт, найбільш ефективним є супертонке базальтове волокно. Найвищі значення коефіцієнта звукопоглинання волокнистих матеріалів характерні для середніх і високих частот. Звукопоглинальні матеріали на основі скло- і базальтового волокна мають найкращі характеристики поглинання звуку, особливо в зоні середніх і високих частот.

Пористо-комірчасті звукопоглиначі виготовляють, наприклад, з легких і пористих мінеральних штучних матеріалів – пемзи, вермикуліту, каоліну, шлаків і т.п. з цементом або іншим в'язким матеріалом у вигляді плит, що кріпляться до огорожувальних поверхонь.

Існує декілька груп матеріалів, які також використовуються для звукоізоляції, хоча основним їх призначенням є “тідро- або теплоізоляція”. До них належать легкі спінені й пробкові матеріали.

Легкі спінені матеріали набули великого поширення завдяки невисокій вартості і зручності застосування в якості підкладок і прошарків у складі багатошарових конструкцій. У цю групу входять рулонні або листові спінені матеріали на основі поліуретану, поліетилену, меламіну, синтетичного каучуку і т.д. (торгові назви: Ізолон, Стенофон, Пінофон, Пінофол, Піноплекс, Пінотерм, Поліфом, Піноізол, Юніпор, Пінополіуретан (ППУ)) [5 – 7]. Загальна назва спінених пластмас – пінопласти, серед яких найбільш поширеними є пінополістирол, пінополіуретан, карбамідоформальдегідний пінопласт, фенолформальдегідний пінопласт та ін. (у загальноживаному побутовому обороті пінопластом називають пінополістирол, як найбільш розповсюджений). Такі матеріали мають дуже низький показник ізоляції повітряного шуму, що проникає з одного приміщення в інше через огорожувальні конструкції (стіни, перекриття). Вони є ефективними тільки для ізоляції ударного (структурного) шуму, а також у якості вібропоглинальних прокладок. Застосування ж подібних матеріалів у всіх інших випадках (наклеювання під шпалери і на стелю, набивання усередину гіпсокартонної перегородки і т.д.) має низьку акустичну результативність. Крім того, такі матеріали можуть становити серйозну загрозу пожежній безпеці приміщення. Відомо, що тяжким наслідком пожежі в пермському нічному клубі сприяло те, що під підвісною стелею як звукоізолю-

ючий матеріал був використаний пінополістирол, який почав випаровуватися під час горіння, виділяючи токсичні речовини (під час горіння пінополістиролу утворюються високотоксичні речовини – ціановоднева кислота, оксиди Нітрогену та Карбону, фенол, бензол, стирол тощо) [1, 6, 7].

У самостійну групу також можна виділити рулонні і пластинчасті матеріали, що виготовляються на основі натуральної пробки чи скловолокна. Пробковий матеріал має більш високі характеристики ізоляції ударного шуму, ніж штучно спінені матеріали аналогічної товщини. Представники цієї групи матеріалів мають більш високий модуль динамічної пружності у порівнянні зі спіненими легкими матеріалами. Ефективне використання даного типу матеріалів забезпечується тільки за допомогою застосування їх як прокладок в багатошарових конструкціях “плаваючої підлоги” (підлога, під матеріал якої або під вирівнювальну стяжку вкладається тонкий шар звукоізолятора таким чином, щоб матеріал підлоги або стяжка не стикалися з бічними стінами).

Таким чином, зроблений аналіз публікацій та нормативних документів щодо звукопоглинальних матеріалів показав, що для матеріалів, які використовуються для тепло- та шумоізоляції не існує чіткого розмежування, тобто деякі теплоізоляційні матеріали можуть використовуватися і в якості звукопоглинальних. Правильний вибір матеріалу для організації шумозахисту в приміщенні повинен враховувати характеристики шуму, від якого ізолюється приміщення, та відповідність матеріалу вимогам ГОСТу 23499-79 (загальні технічні вимоги), ГОСТу 17177-87 (фізико-механічні показники), ГОСТу 16297-80 (акустичні показники).

Постановка завдання

Мета роботи – дослідити ефективність застосування деяких сучасних спінених та скловолокнистих матеріалів для організації шумоізоляції приміщень.

Виклад основного матеріалу дослідження

Вимірювання та гігієнічна оцінка шуму в приміщенні до та після використання досліджуваних матеріалів для обробки стін проводилась відповідно до вимог ГОСТу 12.1.050-86 [8] та ДСН 3.3.6.037-99 [9].

Для орієнтовної оцінки рівня звуку (L_A , дБА) використовували шумомір Шум-1М, а для вимірювання октавних рівнів звукового тиску (L_P , дБ) – вимірювач шуму та вібрації ВШВ-003-М1.

Для досліджень були вибрані матеріали, які широко представлені на вітчизняному ринку, а саме: пористо-губчасті матеріали – пінополістирол та екструдований пінополістирол; теплоізоляційні матеріали із скловолокна "Ursa" та "Isover". Характеристики матеріалів, які досліджувались, наведена в таблиці 1.

Таблиця 1

Характеристики матеріалів		
Матеріал	Товщина, мм	Група горючості* [10]
Пінополістирол	20	Г ₃ , Г ₄
Пінополістирол ¹	40	Г ₃ , Г ₄
Екструдований пінополістирол	20	Г ₃ , Г ₄
Теплоізоляційний матеріал із скловолокна "Ursa"	50	НГ
Теплоізоляційний матеріал із скловолокна "Isover"	50	НГ
*Г ₃ – матеріали середньої горючості; Г ₄ – матеріали підвищеної горючості; НГ – негорючі матеріали		

За результатами проведених досліджень (таблиця 2) екструдований пінополістирол та пінополістирол зменшують рівень повітряного звуку у приміщенні на 1 дБА, а тому є малоефективними шумозахисними матеріалами.

Таблиця 2

Рівні звукового тиску в приміщенні до та після обробки приміщення досліджуваними матеріалами

Найменування матеріалу	Рівень звуку, дБА	Рівні звукового тиску L_p , дБ, в середньо-геометричних октавних смугах частот з $f_{с.г.}$, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Без ізоляції	102	68	80	92	94	100	96	90	82
Пінополістирол	101	66	80	91	92	100	94	82	70
Пінополістирол ¹	101	66	80	91	92	100	94	76	68
Екструдований пінополістирол	101	65	80	91	92	98	96	92	82
"Ursa"	96	64	76	90	91	95	90	80	76
"Isover"	90	63	74	90	88	90	81	70	64

В смузі низькочастотних та середньочастотних шумів (таблиця 2, 3) екструдований пінополістирол і пінополістирол також не забезпечують суттєвого зниження рівнів звукового тиску. В смузі високочастотних шумів пінополістирол, в порівнянні з екструдованим пінополістиролом, дозволяє знизити рівень звукового тиску на 2...14 дБ (в залежності від товщини матеріалу), що відповідає зменшенню гучності в 1,3...5 рази (таблиця 3).

Таблиця 3

Зниження рівня звукового тиску та гучності звуку досліджуваними матеріалами

Матеріал	Зниження рівня звуку, дБ			Зниження гучності звуку, рази		
	Низько-частотні шуми	Середньо-частотні шуми	Високо-частотні шуми	Низько-частотні шуми	Середньо-частотні шуми	Високо-частотні шуми
Пінополістирол	2	2	2 – 12	1,3	1,3	5
"Ursa"	2 – 4	3 – 5	4 – 6	2	2	2,5
"Isover"	2 – 5	6 – 10	15 – 18	2 – 3	4	7

Таким чином, пінополістирол – матеріал, що широко застосовуються як тепло- та звукоізоляційний [5 – 7], – є неефективним для організації шумоізоляції приміщення.

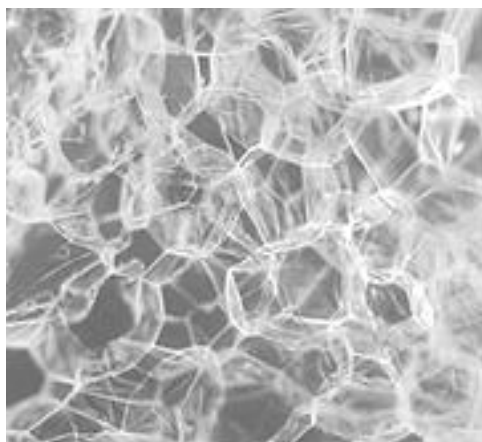


Рис. 1. Внутрішня будова пінополістиролу

Низька захисна ефективність спінених матеріалів від повітряного шуму зумовлена особливостями їх будови. Так, пінополістирол має закриту комірчасту структуру (рис. 1). Стінки комірок, що пов'язані між собою, створюють своєрідний каркас пінополістиролу, який заповнений пухирцями повітря. Звукова енергія повітряного шуму легко передається по твердих елементах каркасу.

В той же час пінополістирол є ефективним ізолятором ударного шуму. В результаті удару комірки, що утворюють структуру пінополістиролу, сплющуються, і енергія удару гаситься. Але слід зазначити, що використання пінополістиролу та екструдованого пінополі-

стиролу всередині приміщення є вкрай небезпечним, оскільки ці матеріали відносяться до групи горючості Г₃, Г₄. Під час їх згорання утворюються високотоксичні речовини [1, 6, 7], які можуть поглинатися і не пошкодженими вогнем конструкціями стін сусідніх приміщень, перетворюючи їх на непридатні для перебування людей (перевищення ГДК_{с.с.} за стиролом – у 250 разів, за етилбензолом – у 17 разів) [11].

В результаті використання в якості звукопоглинальних матеріалів теплоізоляційних матеріалів із скловолокна "Ursa" та "Isover" рівень звуку в приміщенні знижується на 8...12 дБА (табл. 2), що в свою чергу, відповідає зменшенню гучності в 2...4 рази. В стандартизованих октавних смугах частот рівень звукового тиску низькочастотних шумів із застосуванням матеріалу "Ursa" зменшується на 2...4 дБ, а із матеріалом "Isover" – 2...5 дБ; рівень звукового тиску середньочастотних шумів знижується відповідно на 3...5 дБ та 6...10 дБ; а рівень звукового тиску високочастотних шумів знижується відповідно на 4...6 дБ та 15...18 дБ.

"Ursa" та "Isover" відносяться до негорючих і згідно з [3-5], є екологічними, тому їх можна застосовувати для тепло- та звукоізоляції всередині приміщень.

Висновки з даного дослідження:

- скловолокнисті матеріали "Ursa" та "Isover" можна використовувати в якості ізоляційних матеріалів для організації звукоізоляції виробничих приміщень;
- легкі спінені матеріали – пінополістирол та екструдований пінополістирол не є ефективними ізоляторами для захисту приміщення від повітряного шуму;
- ефективність пінополістиролу для ізоляції від ударного шуму не може бути підставою для використання його всередині приміщень, зважаючи на його пожежонебезпечність.

Список літературних джерел

1. Жуков Д. Коварный пенополистирол // Пожарная безопасность, 2010. – № 9. – С. 26 – 27.
2. Основи охорони праці. / [К.Н. Ткачук, М.О. Халімовський, В.В. Зацарний, та інші]; За редакцією К.Н. Ткачука і М.О. Халімовського. – К.: Основа, 2003. – 472 с.
3. ГОСТ 23499-79 «Материалы и изделия строительные звукопоглощающие и звукоизоляционные. Классификация и общие требования».
4. <http://www.uralint.ru/>
5. <http://www.teplodoma.org/>
6. <http://potolki27.ru/>
7. <http://www.polit.ru/>
8. ГОСТ 12.1.050-86 «ССБТ. Методы измерения шума на рабочих местах».
9. ДСН 3.3.6.037-9 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».
10. ДБН В.1.1.7–2002 «Пожарная безопасность объектов строительства».
11. Ананьев А.А., Гоняева Т.Н., Ананьев А.И. Долговечность и теплозащитные качества наружных ограждающих конструкций, утепленных пенополистиролом. // Актуальные проблемы строительной теплофизики: Сб. докл. VII науч.-практ. конф. — М.: НИИСФ РААСН, 2002.

ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ТА ХАРЧОПЕРЕРОБНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 66.061.34

Ігнатенков О.Л., канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ПЕРЕРОБКА НА ЦУКРОВОМУ ЗАВОДІ ОСНОВНОГО ПОТОКУ БУРЯКУ В ДИФЕРЕНЦІАЛЬНО-СТРУМИННОМУ ДИФУЗІЙНОМУ АПАРАТІ

Обґрунтовано перспективність проведення роботи по створенню установки з диференціально-струминним екстрактором для переробки основного потоку буряка на цукровому заводі.

Вступ

Ефективність переробки некондиційної бурякової маси у диференціально-струминному екстракторі доводить перспективність проведення роботи по створенню апарату за таким типом для переробки основного потоку буряка на цукровому заводі.

Дільниця дифузії є одним з найбільш "вузьких" місць сучасного цукрового заводу. Громіздкість дифузійних апаратів, невисока надійність та якість їх роботи веде за собою порушення технологічного режиму, зупинки виробництва, втрати. Усунення цих недоліків можливо при використанні диференціально-струминних апаратів [1]. Головною їх перевагою порівняно з тими, що за поточного часу експлуатуються у промисловості, є здатність до роботи з буряковою масою підвищеної подрібненості, тобто зі зниженим часом екстрагування, що зумовлює компактність апарату. Як наслідок, має місце зменшення об'єму завантаження та зниження інерційності апарату, зниження мікробіологічного забруднення, а, надто, втрат цукру на стадії дифузії та ряд інших позитивних результатів. Доказом цього, крім теоретичних розрахунків, є робота, що проведена по розробці та удосконаленню апаратів такого типу.

Експериментальна робота

У 1976-1980 роках на основі ескізів автора Українським науково-дослідним інститутом продовольчого машинобудування (УкрНДІПродмаш) за участю співробітників Київського технологічного інституту харчової промисловості (КТІХП) розроблено, виготовлено та випробувано на Носівському цукровому заводі (Чернігівська обл.) експериментально-промислому установку для екстрагування цукру з хвостиків та бою буряка. Диференціально-струминний екстрактор цієї установки являє собою колону перерізом 0,5 x 1 м, висотою 3,5 м, у робочому об'ємі якої встановлені 8 диференціально-струминних тарілок соплового типу, потужність електродвигуна приводу тарілок – 5.5 кВт. Міжвідомчі випробування установки у 1983 році показали низьку її ефективність.

У 1983-1990 роках автором проведено лабораторні дослідження щодо з'ясування причин низької ефективності та поліпшення роботи установки. На основі результатів досліджень автором зі співробітниками Носівського цукрового заводу (Чернігівська обл.) за участю професора НТУУ КПІ, д.т.н. Федоткіна І.М. було здійснено удосконалення експериментально-промислової установки. Згідно з Актом заводських випробувань від 17 листопада 1990 року при цукристості нормального соку з хвостиків та бою буряка 11 ... 12% та доброякісності 80% було одержано вміст цукру у дифузій-

ному соці 8,5 ... 9 % при збереженні доброякісності на тому ж рівні, втрати цукру у жомі склали 0,8 ... 1 % при підвищенні продуктивності по бурякомасі до 1,2 тон за годину.

На основі одержаних даних за замовленням Засільського цукрозаводу Миколаївського бурякоцукроагропрому автором був розроблений та за авторським наглядом Чернігівським механічним заводом був виготовлений диференціально-струминний екстрактор ЕДС-5 перерізом 1 x 1 м, висотою 4 м. Установку (3 x 2 x 5 м) для екстрагування цукру з некондиційної бурякомаси було змонтовано та випробувано у 1994 році. На установці здійснювалось подрібнення бурякомаси (разом із залишками трави, гички тощо, до того ж бурякомаса подавалась на установку безпосередньо після хвостиковловлювача) до кашеподібного стану (крихта розміром 1...5 мм) та екстрагування з відкачкою дифузійного соку на заводську пульповолушку та скиданням жому до заводської жомомішалки. Потрібні енерговитрати: подрібнювач бурякомаси – 10 кВт, екстрактор ЕДС-5 – 5 кВт. Випробування установки (згідно з Актом випробувань від 30 вересня 1994 року) показали здатність її переробляти всю некондиційну бурякомасу, що надходила у кількості 1 ... 1,2 тон на годину з системи вловлювання некондиційного буряку основного бурякового потоку заводу. Бурякомаса, що надходила на переробку, мала цукристість нормального соку 12 ... 12,5 %. Цукристість одержуваного дифузійного соку складала 5 ... 5,2 %, доброякісність – 78 ... 80 %. Втрати цукру з жомом – 1,8 ... 2 %. Таким чином, установка показала працездатність, але якісні показники виявились невисокими за тих причин, що під час випробувань установка працювала у режимі недозавантаження, до того ж занадто інтенсивна робота відцентрового насоса при завантаженні бурякомаси викликала розмивання шарів твердої фази у міжтарілкових просторах та, як наслідок, – підвищений рівень поздовжнього перемішування. Подальші труднощі у роботі заводу не дали можливості закінчити роботу по доведенню ефективності установки до належного рівня. У 1995-2001 роках на тому ж Чернігівському механічному заводі було виготовлено ще три модернізованих екстрактора ЕДС-5М, які були змонтовані на Півненківському (м.Тростянець Сумської обл.), Линовицькому та Бобровицькому (Чернігівська обл.) цукрових заводах. Але у зв'язку з труднощами, що наращувались у цукровій галузі, установки не було дороблено та задіяно у виробничих процесах.

Тим не менш, проведена робота неспростовно доводить перспективність використання диференціально-струминних апаратів не тільки для екстрагування некондиційної цукрової сировини, а й основного потоку буряка на цукрових заводах.

Диференціально-струминний дифузійний апарат

На основі наведених вище досліджень здійснено розробку диференціально-струминного дифузійного апарату для переробки основного потоку буряка на цукровому заводі. Апарат спроектовано як блочну конструкцію, що складається з 6 прямокутних ємностей (секцій) перерізом 2x2 м. та висотою 5м. Кожна секція має 8 розташованих по висоті диференціально-струминних тарілок, що закріплені на вертикальних штоках, які здійснюють вертикальні коливання від приводу, що розташований нагорі секції.

Диференціально-струминні тарілки являють собою пластини з транспортуючими та протилежно їм спрямованими фільтруючими соплами. На тарілках розташовані сітки, які закривають фільтруючі сопла, що забезпечує транспортування подрібненої бурякомаси нагору проти потоку води [1].

Принцип роботи дифузійного апарату наступний. Система завантаження подає бурякомасу знизу на другу диференціально-струминну тарілку. За рахунок коливань, які генерують пульсуючі із сопел струмені, бурякомаса приводиться у завислий стан та переміщується нагору тарілки через транспортні сопла. Таким чином, бурякомаса утворює пухкий шар на тарілці, який постійно поповнюється знизу і підіймається до насту-

пної тарілки. Фільтруючі сітки здійснюють транспортування рідини в протилежному напрямку, що компенсує середній перепад тисків, створюваний транспортними соплами. У такий спосіб в апараті створюється перемінний режим екстракції: у зоні коливання тарілки спостерігається повне перемішування, а в междтарілковому просторі режим наближається до повного витиснення. Такі гідродинамічні умови та підвищена подрібненість бурякомаси забезпечує максимальну інтенсивність процесу екстракції, а низький рівень поздовжнього перемішування забезпечує високі кінцеві показники екстракції при невеликій висоті апарату.

Теоретичне обґрунтування

Для обґрунтування перспективності використання диференціально-струминного апарату для екстрагування основного потоку буряка на цукрових заводах наведемо результати розрахунків, що виконані за методикою, викладеною у [2]. Розрахунок оптимальної конструкції показує, що нормований рівень втрат цукру в жомі до 0.3% при модулі екстракції $\beta = -0.8$ (відкачці 125%), еквівалентному радіусі частинок бурякомаси $R_e = 0.75$ мм (короткорізана стружка товщиною 1,3...1,5 мм або крихта розміром 1...4 мм) та питомій продуктивності 1,3...1,5 кг/м²с може бути досягнутий у диференціально-струминному дифузійному апараті за висоти робочого об'єму 3...3,5 м, при чому питома потрібна потужність має бути 3...3,2 кВт на 1м² перерізу апарату. При цьому забезпечується вміст цукру у дифузійному соці 13...13,5 % при цукристості нормального соку буряка 16...17 %. Тобто апарат, що складається з шести секцій перерізом 2 x 2 м та висотою до 5 м, здатен забезпечити переробку до 3000 тон буряка на добу.

Одержання бурякомаси з $R_e = 0.75$ мм (короткорізаної стружки товщиною 1,3...1,5 мм) можливо на експлуатованих у даний час відцентрових бурякорізках. Використання бурякомаси з $R_e < 0.75$ мм потребує спеціальних методів подрібнення, відмінних від тих, що використовуються на заводах (наприклад, кутерне подрібнення під заливом дифузійним соком при його рециркуляції з виносом подрібнених частинок крізь сито [3], або подрібнення у пристрої по типу шестеренного [4]).

Мала висота апарату дозволяє забезпечити високий рівень надійності роботи дільниці дифузії за рахунок використання декількох паралельно працюючих секцій або окремих апаратів (як зазначено вище, для забезпечення продуктивності заводу 3000 тон буряка на добу необхідно шість секцій перерізом по 4 м²). Це свідчить про те, що додаткові виробничі площі не потрібні, а у разі заміни ротаційних або шнекових апаратів істотно скорочуються. Підвищення вмісту цукру в одержаному дифузійному соці забезпечує економію тепла на випарюванні, яка перекидає витрати на підвищення потужності приводу дифузійного апарату.

Щодо доброякісності дифузійного соку, то з одного боку, підвищена ступінь подрібнення бурякомаси може викликати зниження доброякісності. Однак, малий час екстракції (15...20 хвилин) та знижена температура (60...65 °C) запобігають втратам, що наявні у процесі традиційної дифузії. У кінцевому рахунку ряд експериментів показував доброякісність соку з установки до 86 %, тобто має місце ефект очищення. Таким чином, можливе зниження доброякісності дифузійного соку за рахунок підвищення ступеня подрібненості компенсується зниженням втрат за рахунок зменшення часу екстрагування. За рахунок невеликої одночасної завантаженості секції апарату (до 10 тон) установка дозволяє підвищити надійність роботи ділянки соковидобування. Можливість переробки в апараті хвостів та уламків буряку менше 20 мм дозволяє спростити схему класифікації бурякомаси, а також одержати додатковий цукор за рахунок використання вказаної некондиційної бурякомаси заводу та екстрагування мезги з пульполюшок.

Висновки

Обґрунтовано перспективність проведення роботи по створенню установки з диференціально-струминним екстрактором для переробки основного потоку буряка на цукровому заводі. Розрахунок оптимальної конструкції показує, що нормований рівень втрат цукру в жомі при використанні короткорізаної стружки товщиною 1,3...1,5 мм або крихти розміром 1...4 мм. може бути досягнутий у диференціально-струминному дифузійному апараті за висоти робочого об'єму 3...3,5 м питомою потрібною потужністю приводу 3...3,2 кВт на 1м² перерізу апарату. При цьому забезпечується вміст цукру у дифузійному соці 13...13,5 % при цукристості нормального соку буряка 16...17 %. Тобто апарат, що складається з шести секцій перерізом 2 х 2 м та висотою до 5 м, здатен забезпечити переробку до 3000 тон буряка на добу. Установка дозволяє підвищити надійність роботи ділянки соковидобування та спростити схему класифікації бурякомаси, а також одержати додатковий цукор за рахунок використання некондиційної бурякомаси заводу та екстрагування мезги з пульполовущок.

Список літературних джерел

1. А.с. 1443921 СССР, МКИ О1d 11/02. Дифференциально-струйный экстрактор / А.Л. Игнатенков, В.А. Лагода, Н.А. Архипович, Г.И. Мыльников (СССР).-1987, Бюл. №46.-1988.
2. Игнатенков А.Л., Федоткин И.М. Гидродинамика и массообмен в дифференциально-струйных твердофазных экстракторах // Известия ВУЗов. Пищевая технология.- 1990.-№ 2.- С. 92.
3. Пат. 1775479 России, МКИ С13с 1/06. Свеклорезка / Игнатенков А.Л., Федоткин И.М. - 1989, Бюл. № 42.-1992.
4. А.с. 1512779 СССР. МКИ В29b 9/08 Устройство для получения гранул из нитевидного материала / А.Л. Игнатенков, Е.К. Платонов, Н.С. Звонарев, И.К.Шовкун, А.П. Овдак (СССР).- 1988, Бюл. № 37, 1989.

УДК 677.021.151.28.83

Ніколайчук Л.Г., ст.викладач

Львівська комерційна академія, м. Львів, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БІЛИЗНЯНИХ БАВОВНОКОТОНІНОВИХ ТКАНИН

Встановлено, що за показниками механічних властивостей бавовнянокотонінові білизняні тканини не поступаються аналогічним еталонним бавовняним і лляним тканинам.

Постановка проблеми.

Для оцінки рівня якості та конкурентоспроможності нових видів котоніномістких бавовняних тканин білизняного призначення, окрім оцінки їх фізичних властивостей (гігроскопічності, водопоглинання, капілярності, швидкості висихання, повітро- та паропроникності та інших), не менш важливою є оцінка їх механічних властивостей, які визначають зносостійкість та термін зношування білизняних виробів з цих тканин [1, 2, 3, 4]. Міцність, тобто опір матеріалу деформації та руйнуванню, є важливою механічною властивістю матеріалів. Головне питання проблеми міцності – це розкриття механізму руйнування досліджуваних тканин, з'ясування причин невідповідності (зниження) фактичної міцності до теоретичного її значення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Існує декілька теорій, що пояснюють процес руйнування матеріалів:

1. Теорія критичного напруження А. Гриффіта (пояснює критичний характер розриву) розглядає міцнісні властивості, виходячи з припущення, що будь-яке тверде реальне тіло, на відміну від ідеального, не має досконалої структури і містить значну кількість дефектів (мікротріщин), які послаблюють його міцність. Руйнування матеріалу настає тоді, коли внаслідок дії навантаження перенапруження біля вершини хоча б однієї мікротріщини досягає значення, яке відповідає теоретичній міцності, що визначається силами міжатомних зв'язків. При цьому розміри мікротріщини починають збільшуватися зі швидкістю поширення пружних хвиль та спричиняють руйнування матеріалу. Ця гіпотеза експериментально була підтверджена академіком А.Ф. Іоффе, котрий довів, що напруження біля вершини поверхневої мікротріщини у багато разів перевищує напруження, яке визначається відношенням діючого навантаження до площі поперечного перерізу ослабленого зразка. Було встановлено, що розвиток мікротріщин є наслідком дії максимального критичного напруження.

Такий підхід не розкриває суті явищ, які відбуваються у навантажених тілах під час їх руйнування у часі. З позиції цієї теорії неможливо пояснити різницю у значеннях міцності матеріалу, яка виявляється за різних швидкостей його деформування.

2. Статична теорія міцності, запропонована академіками А.П. Александровим і С.Н. Журковим, стверджує, що розрив матеріалу відбувається не водночас по всій поверхні руйнування, а починається з найнебезпечнішої дефектної ділянки, де перенапруження досягає значення, близького до теоретичної міцності. Потім розрив відбувається на новій небезпечній ділянці мікротріщини і т.д. Матеріал руйнується внаслідок зростання тріщин. Таким чином, статична теорія міцності розглядає руйнування як процес, що триває у часі. Головне твердження полягає в тому, що ймовірність виникнення найнебезпечніших дефектів є значно меншою, ніж найменш небезпечних, а найнебезпечніший дефект, розташований на поверхні, визначає міцність матеріалу. Практика випробування підтверджує цей факт: зразки малих розмірів (мінімальний поперечний пере-

різ) характеризуються підвищеною міцністю. Так, зі зменшенням розмірів зразків текстильних матеріалів їх відносна міцність (розривне напруження) зростає.

Процес тимчасового руйнування матеріалу залежить не тільки від діючого навантаження, а й від температури випробування, структури матеріалу.

3. Фундаментальні дослідження С. Н. Журкова у галузі міцнісних властивостей привели до створення кінетичної теорії міцності. Згідно з цією теорією, руйнування матеріалів відбувається не тільки та не стільки завдяки діючій механічній силі, скільки завдяки тепловому руху (флуктуаціям) структурних елементів (атомів). Розрив матеріалу відбувається, як правило, внаслідок флуктуацій теплової енергії, термічного розладу міжатомних зв'язків. Таким чином, згідно з кінетичною теорією міцності, механічна міцність визначається не суто механічною, а й кінетичною природою, зумовленою тепловими рухами атомів.

Згідно з кінетичними уявленнями фундаментальною характеристикою цих властивостей текстильних матеріалів є довговічність. Головні твердження останньої теорії набули експериментального підтвердження під час випробовування і для тканин (МТІП Б. А. Бузов і Т. М. Резнікова) розробили спеціальну формулу довговічності. Як зазначалося у цих теоріях, до механічних властивостей матеріалів належать міцність, а також пластичність, тобто здатність матеріалу до залишкової деформації, яка залишається після зняття деформуючих сил [5].

Для білизняних тканин наступним механічним фактором зношування за важливістю є тертя. Опір стиранню – це властивість, що значною мірою визначається силами тертя (зовнішнього) матеріалу та силами тертя ниток і волокон, що формують цей матеріал. Тертя (зовнішнє) розуміють як силу, що протидіє відносному переміщенню стичних тіл у площині стикання. Природа тертя є складною і полягає в тому, що виявлення сил тертя є результатом механічної та молекулярної взаємодії стичних поверхонь. Під час зіткнення матеріалів, що мають мікронерівності, виникають фрикційні зв'язки, зумовлені взаємним зчепленням нерівностей, молекулярною взаємодією на ділянках збіжних мікроскопічних виступів або поверхневою взаємодією. Природа цих зв'язків залежить від виду матеріалу та має в'язко-пружний характер [5].

Формулювання цілей статті

Мета нашої роботи полягає в:

- наведенні порівняльної характеристики розривального навантаження та видовження, а також стійкості до стирання аналогічних за призначенням і близьких за будовою катоніновмісних бавовняних, чистобавовняних і лляних тканин;
- вивченні впливу різних способів оброблення досліджуваних тканин на зміну їх механічних властивостей;
- виявленні оптимальних за будовою і обробленням варіанти тканин білизняного призначення.

Виклад основного матеріалу дослідження

Для оцінювання механічних властивостей бавовнокотонінових тканин, а також порівняння з чистобавовняними та чистолляними були відібрані еталонні зразки:

- вар. 1, 2, 3 - б'язі: арт. 287, 289, 145 сурова, відбілена і набивна (за заправочними даними близькі до вар. 7, 8, 9 бавовнянокотонінової тканини "Бузка");
- вар. 4, 5, 6 - б'язі: арт. 4742, 258, 131 сурова, відбілена, набивна (за заправочними даними близькі до вар. 10, 11, 12 бавовнянокотонінової тканини "Терноцвіту");
- вар. 15 - тканина білизняна лляна арт. 2В29-РВ.

Результати оцінки механічних властивостей досліджуваних тканин наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Вплив волокнистого складу та способу оброблення досліджуваних тканин на зміну їх механічних властивостей

№ варіанта	Розривальне навантаження, даН		Розрахункове розривальне навантаження, Н/нитку		Фактичне видовження під час розривання, мм		Стійкість до стирання, цикли
	основа	уток	основа	уток	основа	уток	
1	16,7	21,8	2,7	3,9	8,4	8,5	2672
2	23,6	21,1	3,2	4,0	7,5	15,6	5117
3	24,3	22,1	3,4	4,3	5,7	15,3	4197
4	19,4	16,4	3,2	2,9	8,4	7,0	2244
5	28,2	23,7	4,2	4,1	5,7	11,9	5169
6	23,8	19,6	3,5	3,5	6,1	14,6	5932
7	17,5	17,5	2,9	3,6	9,1	7,0	2722
8	23,3	14,8	3,4	3,3	3,6	9,1	4018
9	21,5	18,3	3,0	4,0	2,8	10,1	4511
10	22,0	19,3	3,9	4,0	11,0	9,1	4042
11	22,3	16,7	3,5	3,7	4,6	10,7	5285
12	24,2	18,0	3,7	3,9	6,3	12,8	5584
13	33,1	29,9	6,3	6,2	7,0	8,6	5860
14	36,5	21,7	6,0	4,5	6,3	16,1	8358
15	28,5	43,9	6,2	11,0	8,8	8,5	5305

Як видно з аналізу даних табл. 1, введення до складу бавовняних тканин 30 % котоніну в основі і утку приводить до помітного зниження показників їх розривальних характеристик. Це відноситься до тканин з різними способами оброблення – сурових, відбілених і друкованих. Так, наприклад, якщо співставити показники розривального навантаження за утком чисто бавовняної і бавовнянокотонінової (з вмістом 30 % лляного котоніну в утку) відбіленої тканини (вар. 2 і вар. 8), то видно, що ці показники помітно відрізняються (вони становлять відповідно 21,1 і 14,8 даН). Це стосується також і тканини вар. 11, розривальне навантаження якої за утком, за інших рівних умов, становить відповідно 16,7 даН. Ця закономірність зберігається і для сурових тканин (розривальне навантаження тканин вар. 1, 7 і 10 за утком становить відповідно 21,8, 17,5 і 19,3 даН), а також для друкованих тканин (розривальне навантаження тканин вар. 3, 9 і 12 за утком становить відповідно 22,1; 18,3 і 18,0 даН).

Таку помітну різницю (на 10-20 %) в показниках розривального навантаження за утком чисто бавовняних і бавовнянокотонінових тканин слід пояснити тим, що завдяки різниці в розривальному навантаженні та подовженні бавовняних і котонінових волокон ці волокна у змішаній пряжі розриваються неодноразово, що і обумовлює помітно нижче розривальне навантаження змішаної бавовнянокотонінової пряжі порівняно з чисто бавовняною.

Ця закономірність в основному спостерігається також і при порівнянні показників фактичного видовження під час розривання сурових, відбілених і друкованих чисто бавовняних і бавовнянокотонінових тканин. Так, наприклад, якщо для відбілених тканин вар. 2 видовження під час розривання за утком становить 15,6 мм, то для тканини вар. 8 і 11 воно становить 9,1 і 10,7 мм.

Далі представлялось доцільним виявити, як на зміну розривальних характеристик бавовняних, бавовнокатонінових і лляних білизняних тканин впливають способи їх оздоблення, а саме хімічне відбілювання за класичним методом і друкування. При цьому слід мати на увазі, що в процесі відбілювання та друкування названих груп тканин на зміну їх механічних властивостей впливають два конкуруючі чинники, а саме: з одного боку, відбувається деяке руйнування волокон під дією хімічних реагентів, які входять до рецептурного складу названих видів оздоблення, а з іншого боку – відбувається суттєве ущільнення структури тканини за рахунок їх зсідання в процесі відбілювання та друкування. Прослідкуємо, як способи оздоблення впливають на інтенсивність зміни показників розривального навантаження та видовження співставлених типів тканин – бавовняних, бавовнокатонінових і лляних.

Враховуючи різницю в показниках щільності досліджуваних тканин до і після їх відбілювання та друкування, представляється доцільним співставити зміну їх розривального навантаження тільки за показниками розрахункового розривального навантаження (Н/нитку).

За показниками розрахункового розривального навантаження відбілені і друковані тканини, як правило, помітно переважають аналогічні за волокнистим складом сурові тканини. Ця закономірність зберігається для показників розривального навантаження за основою і утком. Так, наприклад, якщо розривальне розрахункове навантаження за основою для сурових тканин вар. 1 і 7 становить відповідно 2,7 і 2,9 Н/нитку, то для друкованих тканин вар.3 і 9 відповідно 3,4 і 3,0 Н/нитку. Що стосується показників названих варіантів тканин за утком, то для сурових тканин вар.1 і 7 вони становлять відповідно 3,9 і 3,6 Н/нитку, а для друкованих тканин вар. 3 і 9 відповідно 4,3 і 4,0 Н/нитку.

В цілому можна вважати, що досліджувані види бавовнокатонінових і бавовняних тканин характеризуються порівняно рівномірною структурою, що характерно для тканин білизняного призначення (особливо для тих, що використовуються для постільної та столової білизни).

Суттєвий вплив вид оброблення досліджуваних тканин має і на фактичні значення їх видовження під час розривання. При цьому встановлено, що видовження під час розривання для відбілених і друкованих тканин, як і слід було очікувати, виявилось значно нижчим за основою і вищим за утком, ніж для сурових тканин. Ця закономірність зберігається для бавовняних і бавовнокатонінових тканин. Так, наприклад, якщо для сурової, відбіленої та друкованої тканини (вар. 1, 2, 3) за основою видовження під час розривання складало відповідно 8,4; 7,5; і 5,7 мм, то за утком воно складає відповідно 8,5; 15,6; і 15,3 мм (вар. 1, 2, 3). Ця закономірність справдилась і для аналогічних за будовою сурових, відбілених і друкованих бавовнокатонінових тканин (вар. 7, 8, 9). Так, наприклад, якщо за основою видовження під час розривання для сурової, відбіленої і друкованої тканини складає відповідно 9,1; 3,6; і 2,8 мм, то за утком ці варіанти тканин (7, 8, 9) мають видовження під час розривання відповідно 7,0; 9,1 і 10,1 мм. Така помітна різниця в показниках фактичного видовження під час розривання досліджуваних тканин також обумовлена неодиначним впливом на зміну цих показників способів оздоблення тканин, а також обумовленими при цьому змінами в показниках будови самих тканин.

Далі з аналізу даних табл. 1 видно, що особливості волокнистого складу та способів оброблення досліджуваних тканин суттєво впливають і на зміну показників їх стійкості до стирання. Необхідність більш детального вивчення цього питання мотивується тим, що в зношуванні саме білизняних тканин домінуючу роль, окрім їх прання, відіграє стирання за площею. Отримані результати досліджень свідчать про те, що аналогічні чи близькі за будовою та видом оброблення бавовнокатонінові тканини прак-

тично не поступаються, а в більшості випадків дещо переважають еталонні бавовняні і лляні білизняні тканини [100-106]. Візьмемо для прикладу сурові тканини. Так, якщо стійкість до стирання за площею бавовнянокотонінових сурових тканин (вар. 7 і 10) становить відповідно 2722 і 4042 цикли, то для аналогічних за будовою бавовняних сурових тканин вар. 1 і 4 вона становить відповідно 2672 і 2244 цикли. Подібна закономірність зберігається і для відбілених і друкованих тканин. Так, якщо для еталонної друкованої бавовняної тканини (вар. 3) стійкість до стирання становить 4197 циклів, то для бавовнянокотонінової друкованої тканини (вар. 9) вона становить відповідно 4511 циклів. Однак, на відміну від сурових і друкованих тканин, відбілені бавовнянокотонінові тканини (вар. 8) за стійкістю до стирання дещо поступаються еталонним (вар. 2, 15) тканинам.

Висновки з даного дослідження

Співставлення абсолютних значень показників розривального навантаження та стійкості до витирання бавовнянокотонінових тканин з існуючими нормами для еталонних бавовняних тканин, зафіксованими у ГОСТ 11680-76, показало, що бавовнянокотонінові білизняні тканини за показниками розривального навантаження і особливо стійкості до стирання суттєво переважають аналогічні за будовою, обробленням і поверхневою густиною еталонні тканини.

Список літературних джерел

1. Садыкова Ф.Х. Текстильное материаловедение и основы текстильных производств: учебник / Ф.Х.Садыкова, Д.М. Садыкова, Н.И. Кудрявцева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Легпромбытиздат, 1989. – 288с.
2. Пугачевский Г.Ф. изнашивание целлюлозных тканей под воздействием различных факторов / Г.Ф.Пугачевский. – М.: Легкая индустрия, 1977. – 136 с.
3. Іванченко Л.Г. (Ніколайчук Л.Г.) Вплив багаторазового прання на деякі параметри будови білизняних тканин з катоніном / Л.Г. Іванченко (Л.Г. Ніколайчук), Г.Ф. Пугачевський // Торгівля, комерція, підприємництво: зб. наук. пр. Львів. комерц. акад. – Л.: Укоопосвіта ЛКА, 1998. – С. 228 -232.
4. Ніколайчук Л.Г. Оцінка впливу багаторазового прання на розривні характеристики білизняних тканин з вмістом катоніну / Л.Г. Ніколайчук // Легка пром – ть. – 2001. – №2. – С. 51.
5. Зіміна Н.К. Матеріалознавство та технологія непродовольчих товарів: Навч. Посібник / Н.К. Зіміна, В.М. Андрієнко, Н.В. Савчук. – К.: ІЗМН, 1998. – 264 с.

УДК 677.074 : 677.057.71

Дудла І.О., д-р техн. наук
Хребтань О.Б., ст. викладач

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ПОКАЗНИКІВ ГУСТИНИ ПАЛЬТОВИХ ВОВНЯНИХ ТКАНИН ПІСЛЯ СПЕЦІАЛЬНОГО ОБРОБЛЕННЯ

Досліджено показники густини вовняних пальтових тканин зі спеціальним обробленням. Встановлено, що спеціальне оброблення надає пальтовим вовняним тканинам більшої щільності, ніж у цих тканин зі стандартним обробленням підприємства та без оброблення. Запропоновано подальше використання спеціального оброблення пальтових тканин з метою покращення їх функціональних властивостей

Постановка проблеми

Пальтові вовняні тканини призначені для пошиття верхнього одягу, отже, повинні мати високі показники густини, щоб забезпечувати теплозахисні властивості, зносостійкість, невисоку повітропроникність і збереження зовнішнього вигляду. Показники густини входять до групи функціональних властивостей текстильних матеріалів і є одними з найважливіших для пальтових вовняних тканин.

Показники густини, характеризують структуру тканин щодо їх заповнення волокнами та нитками і одночасно зумовлюють різні властивості тканин.

Так, зі збільшенням густини зростає маса, товщина та розривне навантаження, теплозахисні властивості. Повітропроникність, навпаки, – зменшується. Зі збільшенням густини довжина перекриттів основних та уткових ниток зменшується, що призводить до збільшення міцності зв'язку пряжі та ниток в тканині [1].

При збільшенні густини в тканинах зростає величина коефіцієнта наповнення.

Густина тканин характеризується наступними показниками:

1. фактична густина – кількість ниток (штук) по основі та утку на ділянці тканини 10 см;
2. максимальна густина – це умовна густина, при якій прийнято, що всі нитки мають однаковий діаметр і щільно прилягають одна до одної;
3. відносна густина, (%) – характеризує ступінь заповнення площі тканини нитками основи та утку незалежно від їх товщини, фактичної густини та переплетень;
4. поверхнева густина (г/м^2) – характеризується масою 1 м^2 і характеризує призначення тканини;
5. відносний коефіцієнт наповнення тканини (%) – характеризує будову тканини в залежності від густини та переплетення, показує об'ємне заповнення тканини при співвідношенні об'єму ниток в тканині до всього її об'єму.

Дослідження впливу спеціального комплексного масло-, водо-, брудовідштовхуючого оброблення пальтових вовняних тканин на зміну показників густини цих тканин є актуальним та важливим питанням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В роботах науковців: Глубіша П.А., Семака Б.Д., Пугачевського Г.Ф., та інших, досліджувалося питання впливу оброблення на споживні властивості текстильних матеріалів. Однак, дуже мало досліджень було присвячено питанню впливу комплексного оброблення на зміну показників густини пальтових вовняних тканин. Це зумовлено, пе-

ред усім, відсутністю на ринку текстильно-допоміжних та обробних речовин (ТДР) вітчизняної продукції. Адже сьогодні 95% текстильно-допоміжних та обробних речовин надходить із-за кордону і має високу вартість, не завжди доступну вітчизняним підприємствам текстильної промисловості.

Формулювання цілей статі

Метою статті було дослідження зміни показників густини вовняних пальтових тканин зі спеціальним обробленням у порівнянні з тканинами без оброблення та із стандартним обробленням

Виклад основного матеріалу дослідження

Зразки пальтових вовняних тканин, виробництва ЗАТ «КСК»ЧЕКСІЛ» були обрані нами на підставі вивчення попиту споживачів та аналізу продажів асортименту пальтової групи тканин підприємством на протязі останніх п'яти років.

В своїх дослідженнях ми використовували метод порівняння показників споживних властивостей семи зразків пальтових вовняних тканин без спеціального оброблення, із стандартним обробленням підприємства та зі спеціальним обробленням.

Було встановлено, що тканин зі спеціальним комплексним обробленням набули більшої густини, наповнення у порівнянні з цими ж тканинами без спеціального оброблення, із стандартним обробленням підприємства. Це значно вплинуло на підвищення теплозахисних властивостей пальтових вовняних тканин при подальших дослідженнях.

Показники густини зразків пальтових вовняних тканин без оброблення, зі стандартним обробленням та із спеціальним обробленням досліджували за стандартними методиками: фактичну густину – за ГОСТ 3812-72; поверхневу густину – за ГОСТ 3811-72; максимальну, відносну густину та відносний коефіцієнт наповнення розраховували за формулами [1].

Результати досліджень зведені в таблиці 1 та показані на рисунках 1; 2.

З даних таблиці 1 видно, що показник поверхневої густини дослідних зразків збільшувався у зразків зі спеціальним обробленням в порівнянні зі зразками без оброблення та із стандартним обробленням. Відхилення фактичного показника поверхневої густини від стандартного за ТУ є позитивним фактом саме для пальтових тканин, адже з підвищенням густини підвищуються теплозахисні властивості цих тканин та зменшується показник повітропроникності.

Зміна цього показника пов'язана з впливом обробної речовини на поверхню зразків – відбулося деяке ущільнення, зближення структурних одиниць в тканинах.

Відносний середній коефіцієнт наповнення у зразків зі спеціальним обробленням не змінився у порівнянні зі зразками із стандартним обробленням, адже структура тканин залишається незмінною незалежно від оброблення.

Таблиця 1

Зміна показників густини дослідних тканин без оброблення та з різними видами оброблення

Варіанти дослідних тканин	Фактична густина зразків (кількість ниток на 100 мм)		Максимальна густина зразків		Відносна густина зразків, %		Поверхнева густина зразків фактична, г/м ²	Поверхнева густина зразків за ТУ, г/м ²	Відхилення показника поверхневої густини, %	Відносний коефіцієнт наповнення тканин, Н _{від.тк} , %
	По основі	По утоку	По основі	По утоку	По основі	По утоку				
1	б/о						495		+1,2	97
	сп/о	242	210	238	238	102	88	489	+2,5	113
	сп/о						505		+3,3	113
2	б/о						372		+1,4	60
	сп/о	160	104	238	142	67	73	367	+3,0	72
	сп/о						382		+4,1	72
3	б/о						460		+1,1	63
	сп/о	87	65	85	85	102	76	455	+2,4	70
	сп/о						470		+3,3	70
4	б/о						340		+1,0	82
	сп/о	191	160	252	252	76	64	337	+2,1	94
	сп/о						349		+3,6	94
5	б/о						429		+1,0	66
	сп/о	85	105	91	238	93	44	425	+1,9	73
	сп/о						437		+2,8	73
6	б/о						417		+1,2	68
	сп/о	84	114	91	238	93	44	412	+2,2	74
	сп/о						425		+3,2	74
7	б/о						420		+1,0	86
	сп/о	300	135	252	178	119	76	416	+2,4	98
	сп/о						431		+3,6	98

На рисунку 1 показана зміна поверхневої густини дослідних зразків з різним обробленням та без оброблення.

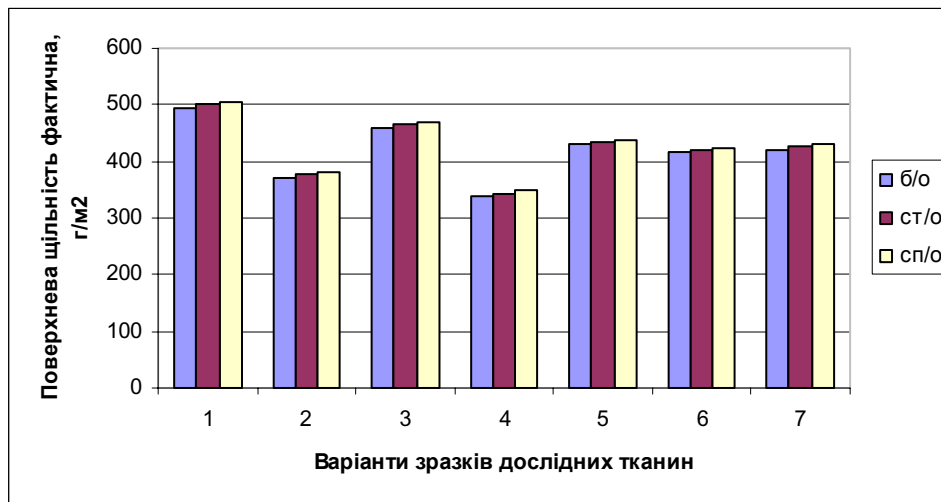


Рис. 1. Зміна поверхневої густини дослідних зразків в залежності від оброблення

Як бачимо з рисунку 1, найбільше поверхнева густина змінилася у зразків тканин 1 і 3 зі спеціальним комплексним обробленням. Це пов'язано з особливостями будови та фактури поверхні цих тканин. В зразку тканини 1, який мав складне двохшарове переплетення, відбулося ще більше ущільнення структури, завдяки дії оброблення на волокна і зміцнення їх зв'язку у переплетенні.

В зразку 3 фасонна пряжа, яка виходила на лицьовий бік тканини, під впливом обробної речовини більше з'єднала свої структурні елементи (вузлики, петлі), від чого ущільнилася вся структура тканини.

Найменше змінився показник поверхневої густини у зразка 4. Цей зразок мав просте переплетення - саржа 2/2, невисоку лінійну густина пряжі, тканина тонка, поверхня рівна, більш гладка. Обробна речовина також рівномірно розподілилася на волокнах тканини, що зумовило незначну зміну показника поверхневої густини.

Зміна показника наповнення дослідних тканин представлена на рисунку 2.

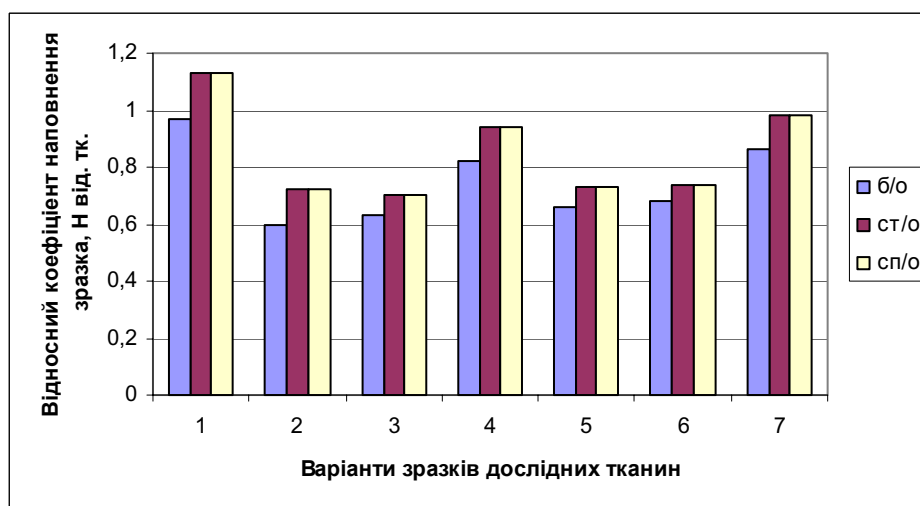


Рис. 2. Зміна відносного коефіцієнту наповнення зразків тканин з різним обробленням

Відносний коефіцієнт наповнення найбільше змінювався у зразків 1, 4, 7 після стандартного та спеціального оброблення. Така зміна пояснюється тим, що саме ці тканини мали найбільш щільні переплетення та найбільшу фактичну густину по основі і утку.

Висновки

1. Зниження матеріаломісткості пальтових тканин при збереженні їх якості, забезпечення виготовлення легкого і зносостійкого одягу – можливе при застосуванні спеціального комплексного оброблення цих тканин.
2. Показник поверхневої густини у тканин зі спеціальним обробленням збільшився у порівнянні з тканинами без оброблення та із стандартним обробленням. Це вказує на підвищення теплозахисних властивостей цих тканин та зменшення показника повітропроникності.
3. Спеціальне та стандартне оброблення збільшило відносний коефіцієнт наповнення пальтових тканин з великою фактичною щільністю, тим самим ущільнивши структуру цих тканин.
4. Використання спеціального комплексного оброблення пальтових вовняних тканин сприяло підвищенню показників густини цих тканин.

Список літературних джерел

1. С.С. Коляденко, В.Т. Месяченко, В.И. Кокошинская. Товароведение текстильных товаров. М.: «Экономика», 1981. – 140 – 142 с.
2. ГОСТ 3812 – 72 «Материалы текстильные. Ткани и штучные изделия. Методы определения плотности нитей и пучков ворса».
3. ГОСТ 3811 – 72 «Материалы текстильные. Ткани, нетканые материалы и штучные изделия. Методы определения линейных размеров, линейной и поверхностной плотностей».

УДК 685.34.022.6 : 658.7

Дудла І.О., д-р техн. наук

Хребтань О.Б., ст. викладач

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ТОВАРОЗНАВЧА ЕКСПЕРТИЗА РОЗМІРНИХ ПОКАЗНИКІВ ТА МАРКУВАННЯ ШКІРЯНОГО ВЗУТТЯ, ЩО РЕАЛІЗУЄТЬСЯ В РОЗДРІБНИХ ТОРГІВЕЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ М. ЧЕРНІГОВА

Досліджено відповідність розмірних показників та маркування шкіряного взуття, що реалізується в роздрібних торговельних підприємствах м. Чернігова, обов'язковим вимогам стандартів. Зроблені експертні висновки щодо фактів фальсифікації розмірів та маркування взуття.

Постановка проблеми

Експертиза якості та виявлення фальсифікованої продукції на споживчому ринку України є сьогодні однією з найсерйозніших та гострих проблем.

Фальсифікації найбільш часто підлягають не тільки продовольчі товари, але й багато видів непродовольчих, зокрема, взуття.

Взуття є предметом першої необхідності для людини, засобом захисту ніг від несприятливого впливу оточуючого середовища та небезпечних факторів. Отже, з усіх груп непродовольчих товарів взуття є одним з найбільш затребуваних. Вартість взуття достатньо велика, а від реалізації фальсифікованого та підробленого товару шахраї мають високі прибутки.

Фальсифікувати у взутті можуть: якісні показники, розміри, маркування, асортиментну приналежність, тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В практичній діяльності експертів, які проводять експертизу якості шкіряного взуття, часто виникають питання щодо співвідношення розмірних показників вітчизняного та зарубіжного взуття. Невірне визначення розмірних показників ускладнює ідентифікацію взуття, призводить до фальсифікації такого важливого для споживачів показника якості, як відповідність розмірів взуття фактичним розмірам стопи людини.

Лінійні розміри взуття характеризуються двома основними показниками [1]:

1. *розміром взуття* – це довжина взуття, яка вимірюється у горизонтальному напрямку від крайньої точки п'яткової частини до найбільш віддаленої точки носової частини підошви (рисунк 1).

2. *повнотою взуття* – це охоплення пучкової частини через найбільш виступаючі зовнішні та внутрішні ділянки стопи.

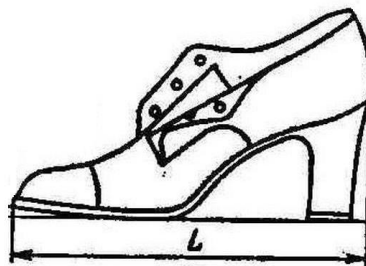


Рис.1. Вимірювання розміру взуття: L – довжина взуття, мм.

Сьогодні в міжнародній практиці [2] прийнято чотири розмірні системи шкіряного взуття (таблиця 1):

1. *метрична система*. Прийнята в країнах СНД, використовується українськими виробниками.

Розмір вимірюється від найбільш виступаючої точки п'ятки до найбільш виступаючого пальця, в міліметрах, без урахування декоративних припусків.

Повнота виражається в цифрах від 1 до 12. Інтервал між розмірами складає 4 мм.

2. *французька система*. Застосовується в країнах Європи. Для позначення розмірів користуються штихмасовою системою, де основною одиницею вимірювання є штих – 0,667 см (тобто інтервал між номерами взуття становить 0,67 см). Розмір в такій системі вимірюється як довжина устілки, тобто враховується припуск на декоративні деталі взуття, Цей припуск прийнято вважати за 10 мм.

Повнота вимірюється в цифрах від 1 до 8. Інтервал між цими розмірами складає 3 мм.

3. *англійська система*. Вимірювання розмірів проводять в дюймах: 1 дюйм = 2,54 см. Точкою відліку розмірів взуття прийнятий стандартний розмір ноги новонародженого, який дорівнює 4 дюйми.

Повнота в цій системі позначається літерами A, B, C, D, E. Крім основних позначень повноти взуття використовується ще п'ять додаткових розмірів повноти в бік зменшення: 2A, 3A, 4A, 5A, 6A та п'ять розмірів повноти в бік збільшення: 2E, 3E, 4E, 5E, 6E), а також додаткові розміри для середньої повноти 2E, 3E, 4E.

4. *американська система*. Подібна до англійської, позначення розмірів в дюймах. Різниця між англійською та американською системами полягає в тому, що в американській системі найменший розмір менше ніж в англійській на 1/2 дюйма, тобто на 2,1 мм, а розміри проставляються через 1/3 дюйма.

В американській розмірній системі взуття існує окрема підсистема для жіночого взуття. Її особливість полягає в тому, що значення розмірів ще більше зсуваються в бік зменшення і мають цифрові позначення від 1 до 13.

Таблиця 1

Відповідність розмірів взуття вітчизняного та зарубіжного виробництва

Назва країни	Чоловіче взуття							
	Розміри взуття							
Україна	24,5	25,0	25,5	26,5	27,0	27,5	28,5	29,0
Країни Європи	38	39	40	41	42	43	44	45
Англія	-	6,5	7	8	9	9,5	10,5	11,5
США	6	7	7,5	8,5	9	10	11	12
Назва країни	Жіноче взуття							
	Розміри взуття							
Україна	21,5	22,5	23,0	23,5	24,5	25,0	25,5	26,5
Країни Європи	35	36	37	38	39	40	41	42
Англія	2,5	3	4	5	5,5	6,5	7	8
США	4	4,5	5,5	6,5	7	8	9	9,5

Повнота взуття позначається в американській системі за допомогою літер: WWW, WW, W, M, S, SS, SSS – від більшої повноти – WWW до найменшої – SSS, та цифрами – від 1 до 8.

На рисунку 2 наведено співвідношення між розмірними системами взуття, різних країн.

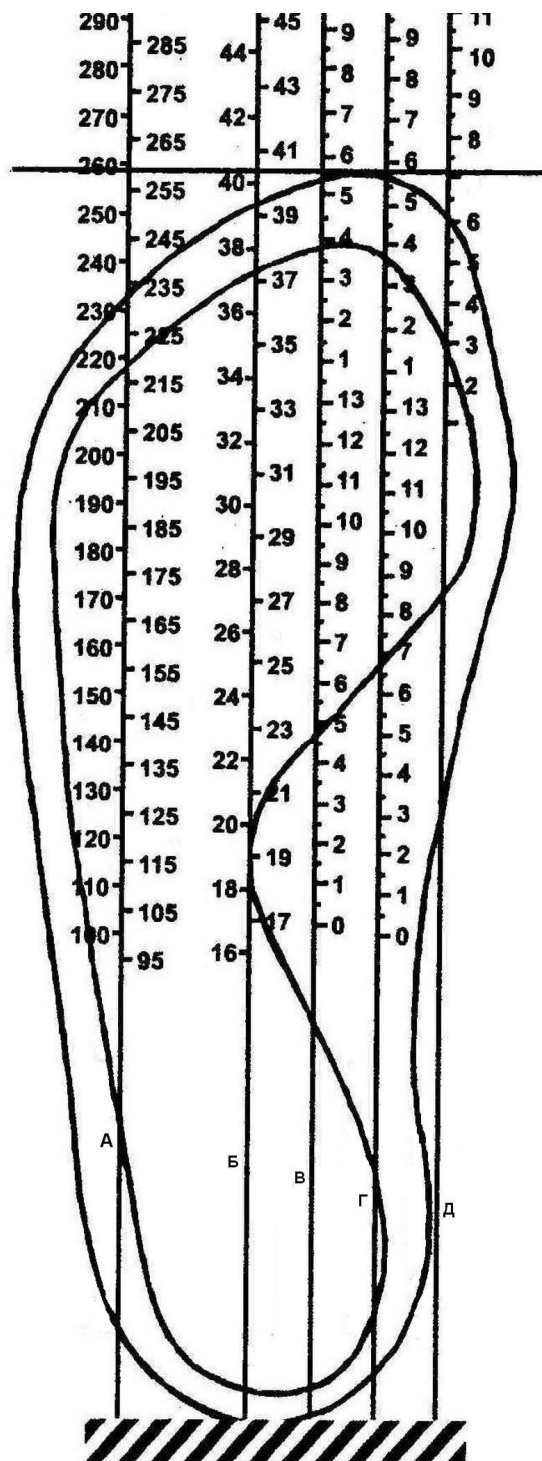


Рис. 2. Співвідношення світових розмірних систем взуття: А – шкала за ГОСТ 3927-88; Б – французька розмірна шкала (French. Paris PTS.); В – англійська розмірна шкала (English sizes); Г – американська розмірна шкала (American sizes); Д – американська розмірна шкала для жіночого взуття (U.S. Ladies sizes).

Формулювання цілей статті

Метою статті є товарознавче експертне дослідження відповідності розмірних показників та маркування шкіряного взуття, яке реалізується в роздрібних торговельних підприємствах м. Чернігова.

Виклад основного матеріалу дослідження

Стандартні методи визначення розмірних показників шкіряного взуття та правила його маркування регламентовані в нормативно-технічній документації, що є чинною в Україні: ГОСТ 9289 – 78, ГОСТ 7296 – 81, ГОСТ 11373 – 88, ДСТУ 2157 – 93, ДСТУ 3164 – 95.

За результатами аналізу дотримання відповідності співвідношення розмірних показників взуття різних країн-виробників було виявлено, що в підприємствах роздрібною торгівлі м. Чернігова дуже часто допускається фальсифікація розмірів взуття та його маркування.

Так, серед продавців взуття на ринку "Нива" тільки дві особи з восьми опитаних, тобто всього 25% вірно ідентифікували розмір чоловічого взуття виробництва Польщі відповідно до української розмірної системи. Решта продавців не змогли чітко та вірно зробити співставлення розмірів взуття за вітчизняною та зарубіжною розмірними системами.

На промтоварних ринках міста та в спеціалізованих магазинах з продажу взуття виявилася велика кількість взуття виробництва Китаю. Під час перевірки маркування цього взуття було встановлено, що є порушення позначення розмірів (і це не поодинокі випадки), коли на одному упакованні зазначається одночасно два розміри, позначення виконані нечітко, з порушенням умов нанесення інформації на споживчу тару (рисунк 3).



Рис. 3. Порушення у маркуванні споживчої тари зі взуттям виробництва Китаю

Траплялися також зразки взуття, які в маркуванні мали суттєві порушення. Так, в маркуванні туфель жіночих шкіряних, виробництва Китаю (рисунк 4), було зазначено: NO. – 40, що означає розмір виробу, але розмір повинен позначатися також англійською мовою Size, як і вся інша інформація на маркуванні Також на маркуванні цього взуття зазначалося: Grade – Qualified, тобто в перекладі "Якість (сорт) – якісне" – що є фальсифікацією категорії якості даного взуття, адже ні в одному нормативному документі з якості взуття, немає категорії – якісне.

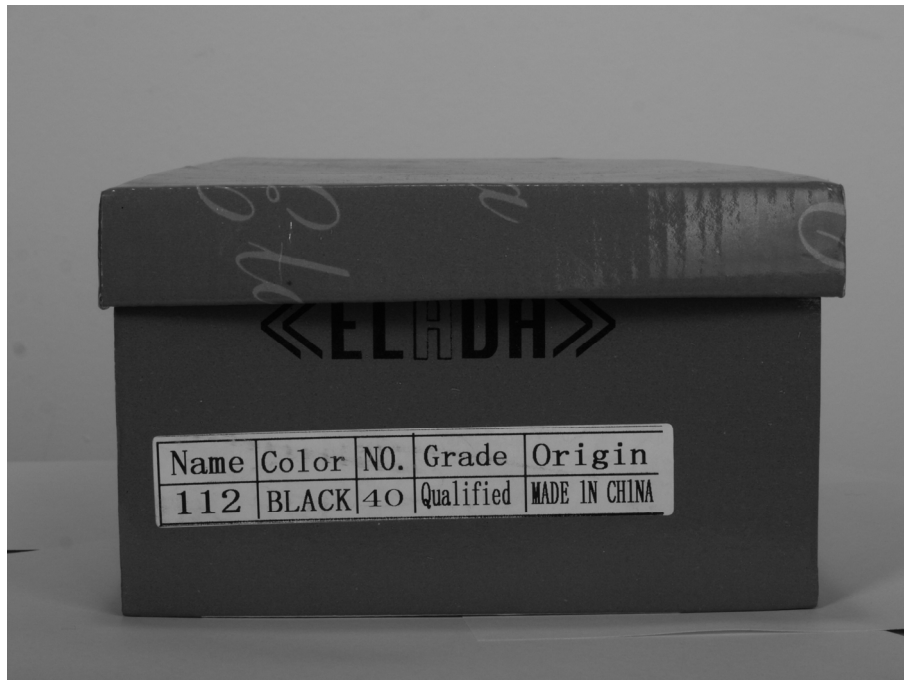


Рис. 4. Порушення у маркуванні щодо розміру та категорії якості взуття виробництва Китаю

Фальсифікація маркування і, зокрема, розмірних показників, категорії якості взуття є недопустимими порушеннями.

В спеціалізованих магазинах з продажу взуття виявилося, що інформація щодо розмірів на маркуванні була чіткою, зрозумілою та відповідала розмірній системі, яка використовується в країні-виробнику (рисунк 5).

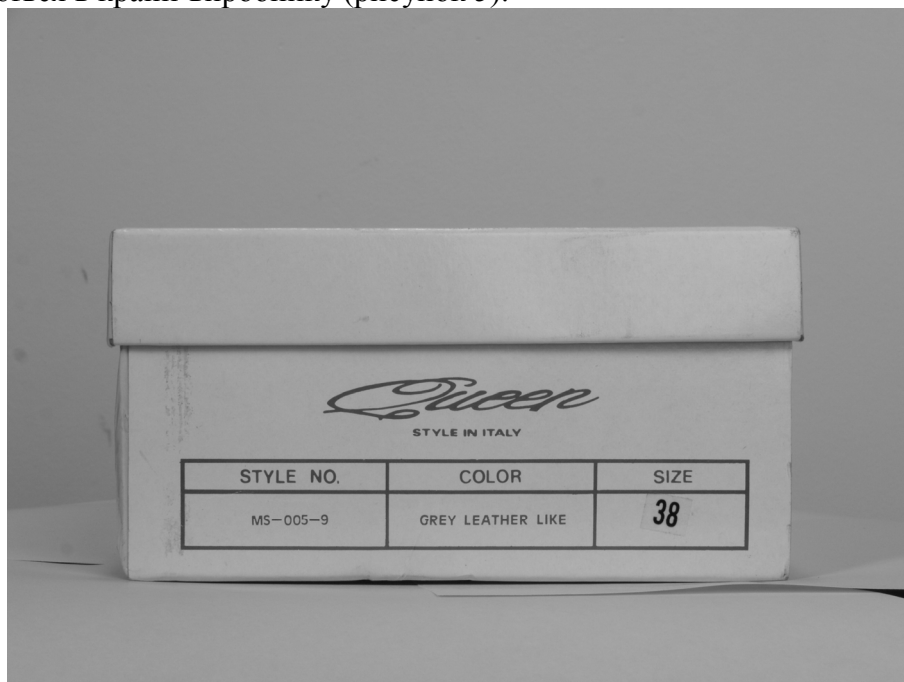


Рис. 5. Приклад вірного маркування взуття виробництва Італії

Також спостерігалася більша обізнаність працівників цих торгівельних підприємств щодо різних розмірних систем взуття, але не було однозначних відповідей щодо співвідношення цих систем між собою. Так, при встановленні повноти пари жіночого шкіряного взуття виробництва Франції (рисунк 6), продавець розшифрував позначення

LARG 7, як – 10 за вітчизняною розмірною системою. В той час, як вірне визначення було – 4, адже інтервал між розмірами повноти в цих двох системах вимірювання розраховується по різному.



Рис. 6. Вірне маркування розмірних показників пари жіночих шкіряних туфель виробництва Франції за штихмасовою системою

Висновки

Реалізація підроблених та фальсифікованих товарів призводить до втрати здоров'я, матеріальних збитків, зниження рівня культури споживання.

Вважаємо, що сьогодні одним з найпростіших та найбільш дієвих способів запобігання розповсюдженню фальсифікованих товарів є інформування споживачів через засоби масової інформації та спеціальну літературу:

1. друкувати інформацію для споживачів щодо простих методів виявлення фальсифікації взуття у спеціальних листівках та буклетах, які необхідно пропонувати в кожному торговельному підприємстві з продажу взуття.

2. щотижневе повідомлення про результати проведення перевірок якості непродовольчих товарів в підприємствах торгівлі міста у радіо та телепередачах.

3. створити телевізійні програми на обласному та місцевому телебаченні з питань перевірки якості та попередження придбання фальсифікованих товарів.

Список літературних джерел

1. ДСТУ 3164 – 95 «Взуття. Методи визначення лінійних розмірів».
2. www.uitic.org (International Union of Shoe Industry Technicians – Міжнародна асоціація спеціалістів взуттєвої промисловості).
3. ГОСТ 9289 – 78 «Обувь. Правила приемки».
4. ГОСТ 7296 – 81 «Обувь. Маркировка, упаковка, транспортирование и хранение».
5. ГОСТ 11373 – 88 «Обувь. Размеры».
6. ДСТУ 2157 – 93 «Взуття. Терміни та визначення».

АНОТАЦІЇ

УДК 621.855

О.І. Пилипенко. Дизайн в усіх його іпостасях. // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2010. – № 45. С. 7-20.

Розглянуті питання дизайну і його задач як процесів проектування, конструювання, моделювання, особливостей дизайну у машинобудуванні. Показано взаємодію між інженерним і промисловим дизайном. Розглянуті системи інтерактивної візуалізації, що здійснюють велику підтримку цьому виду творчої діяльності.

Іл. 9. Бібліогр. 7.

УДК 621.855

О.И. Пилипенко. Дизайн во всех его ипостасях. // Вестн. Черниг. Гос. Технолог ун-та, 2010. - №45. С. 7-20.

Рассмотрены вопросы дизайна и его задач как процессов проектирования, конструирования, моделирования, особенности дизайна в машиностроении. Показано взаимодействие между инженерным и промышленным дизайном. Рассмотрены системы интерактивной визуализации, оказывающие большую поддержку этому виду творческой деятельности.

Илл. 9. Библиогр. 7

UDC 621.855

O.I. Pilipenko. Design in all it versions. // Journal of Chernihiv State Technological University, 2010. № 45. P. 7-20.

Questions of design and its tasks as processes of projecting, designing, modelling, feature of design in mechanical engineering are considered. Interaction between engineering and industrial design is shown. The systems of interactive visualisation giving the big support to this kind of creative activity are considered.

Ill. 9. Ref. 7

УДК 539.3:534.1

Дубенець В.Г., Савченко О.В. Оптимальне проектування пологих оболонок з композиційних в'язкопружних матеріалів. // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2010. – № 45. С. 21-29.

Розглядаються коливання пологих оболонок з композиційних матеріалів з неідеально-пружними властивостями і задачі оптимізації таких оболонок за критеріями максимального розсіювання енергії та швидкості затухання коливань.

Іл. 7. Бібліогр. 7.

УДК 539.3:534.1

Дубенець В.Г., Савченко Е.В. Оптимальное проектирование пологих оболочек из композиционных вязкоупругих материалов. // Вестн. Черниг. Гос. Технолог ун-та, 2010. - №45. С. 21-29.

Рассматриваются колебания пологих оболочек из композиционных материалов с неидеально-упругими свойствами и задачи оптимизации таких оболочек по критерию максимального рассеяния энергии и скорости затухания колебаний.

Илл. 7. Библиогр. 7

UDC 539.3:534.1

Dubenets V.G., Savchenko O.V. Optimal design of viscoelastic composite shells. // Journal of Chernihiv State Technological University, 2010. № 45. P. 21-29.

Vibrations of composite shells with non-ideal elastic properties and optimization tasks for these shells by maximal energy dissipation and maximal vibration damping speed criteria are considered.

Ill. 7. Ref. 7

УДК 539.3:539.4

Грицюк В.Ю. Розрахунок удару тілом по балках з проміжними пружно деформівними опорами. // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2010. – № 45. С. 30-34.

Сила контактної взаємодії тіла і балки і зусилля у проміжних пружно деформівних проміжних опорах шарнірно опертої на кінцях балки визначаються чисельно з системи рівнянь методом послідовних наближень на послідовних малих кроках часу.

Змінюючи кількість проміжних опор, їх розташування і жорсткість можна, одержати конструкцію з оптимальними параметрами.

Іл.2. Бібліогр.: 2 назв.

УДК 539.3:539.4

Грицюк В.Е. Расчёт удара телом по балкам с промежуточными упруго деформируемыми // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2010. - №45. С. 30-34.

Сила контактного взаимодействия тела и балки и усилия в промежуточных упруго деформируемых промежуточных опорах шарнирно опертой на концах балки определяются численно из системы уравнений методом последовательных приближений на последовательных малых шагах времени.

Изменяя количество промежуточных опор, их расположения и жесткость можно, получить конструкцию с оптимальными параметрами.

Ілл.2. Библиогр.: 2 назв.

UDC 539.3:539.4

Hrytsjuk V.Y. The Calculation of Impact by a Body on Beams with intermediate it is Elastic Deformable Supports. // Journal of Chernihiv State Technological University, 2010. № 45. P 30-34.

Force of contact interaction of a body and beam and effort in intermediate it is elastic deformable intermediate support hinged supported on the ends of a beam are defined numerically from system of the equations by a method sequential computations on consecutive small steps of time.

Changing quantity of intermediate supports, their arrangements and rigidity it is possible to receive a design with optimum parameters.

ІІІ. 2. Ref.: 2.

УДК 629.113

Кальченко В.І., Кальченко В.В., Венжега В.І., Рудик А.В. Шляхи покращення економічних і екологічних характеристик автомобіля. // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2010. – № 45. С. 35-38.

Представлені узагальнені результати досліджень методів і систем їх реалізації, що дозволяють повніше використовувати потужність автомобіля, знижувати шкідливі викиди в атмосферу і ефективно впливати на економічні характеристики роботи машини. Приведено рекомендації по вибору і застосуванню того або іншого методу.

Бібліогр.: 6.

УДК 629.083

Кальченко В.І., Кальченко В.В., Венжега В.І., Рудик А.В. Пути улучшения экономических и экологических характеристик автомобиля. // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2010. - №45. С 35-38.

Представлены обобщенные результаты исследований методов и систем их реализации, которые позволяют более полно использовать мощность автомобиля, снижать вредные выбросы в атмосферу и эффективно влиять на экономические характеристики работы машины. Приведены рекомендации по выбору и использованию того или иного метода.

Библиогр.: 6.

UDK 629.113

Kalchenko V.I., Kalchenko V.V., Venzhega V.I., Rudik A.V. Ways of Improvement of Economic and Ecological Characteristics of the Car. // Journal of Chernihiv State Technological University, 2010. № 45. P. 35-38.

The generalised results of researches of methods and systems of their realisation that allows to use more full capacity of the car are presented, to reduce harmful emissions in atmosphere and effectively to influence economic characteristics of work of the car. Recommendations about a choice and use of this or that method are resulted.

Ref.:6.

УДК 514. 182. 7: 519.651

Хоменко І. М. Визначення пропускної спроможності клапана автомобільного двигуна // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2010. – № 45. С. 39-45.

Запропоновано розрахунковий метод визначення пропускної спроможності клапана двигуна внутрішнього згоряння, який відрізняється від традиційного тим, що не потребує розрахунку і побудови графіка залежності підйому клапана від кута повороту кулачкового вала, вимірювання площі, визначення масштабів графіка тощо.

Іл.3. Бібліогр.: 2 назв.

УДК 514. 182. 7: 519.651

Хоменко И. М. Определение пропускной способности клапана автомобильного двигателя // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2010. - №45. С. 39-45.

Предложен расчетный метод определения пропускной способности клапана двигателя внутреннего сгорания, который отличается от традиционного тем, что не требует расчета и построения графика зависимости подъема клапана от угла поворота кулачкового вала, измерения площади, определения масштабов графика и т.д.

Илл.3. Библиогр.: 2 назв.

UDC 514. 182. 7: 519.651

Khomenko I. M. Capacity of Motor Engine Valve // Journal of Chernihiv State Technological University, 2010. № 45. P. 39-45.

The calculation method of determination of carrying capacity of valve of the engine is offered internal combustion, which differs from the traditional to those that do not need to calculate and graph recovery valve angle of a cam shaft, measuring area, identify the scale of graphics and more.

Ill. 3. Ref.: 2.

УДК 621.438

Барановський Д.М., Мямлін С.В., Драгобецький В.В. Моделювання процесів модифікування гільз циліндрів дизелів спеціального самохідного рухомого складу залізниць. // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2010. – № 45. С. 46-50.

Проведено моделювання напружено-деформованого та термонапруженого стану гільз циліндрів дизелів спеціального самохідного рухомого складу залізниць для подальшого застосування при лазерному модифікуванні. Модифікування відповідно до моделювання дозволить отримувати робочу поверхню гільз циліндрів дизелів з дискретними властивостями.

Іл. 5. Бібліотр. 5.

УДК 621.438

Барановский Д.М., Мямлин С.В., Драгобецкий В.В. Моделирование процессов модифицирования гильз цилиндров дизелей специального самоходного подвижного состава железных дорог. // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2010. - №45. С. 46-50.

Проведено моделирование напряжённо-деформированного и термонапряжённого состояния гильз цилиндров дизелей специального самоходного подвижного состава железных дорог для дальнейшего применения при лазерном модифицировании. Модифицирование в соответствии с моделированием позволит получить поверхность гильз цилиндров дизелей с дискретными свойствами.

Ил. 5. Библиотр. 5.

UDC 621.438

Baranovskyi D.M., Myamlin S.V., Dragobetskyi V.V. Design of processes of modification of shells of cylinders of diesels of the special self-propelled rolling stock of railways. // Journal of Chernihiv State Technological University, 2010. № 45. P. 46-50.

The design of tense-deformed is conducted and the temperature tense state of shells of cylinders of diesels of the special self-propelled rolling stock of railways for subsequent application at laser modification. Modification according to the design will allow to get the working surface of shells of cylinders of diesels with discrete properties.

Ill. 5, Ref. 5.

УДК 621.922

Кальченко В.І., Кальченко В.В., Кологойда А.В. Визначення температури торців голок при шліфуванні зі схрещеними осями круга та робочого валика. // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2010. – № 45. С. 51-56.

Пропонується методика розрахунку, яка дозволяє визначити локальні, на конкретній ділянці поверхні, миттєві і середні температури на кінцях голок під час шліфування зі схрещеними осями інструмента і робочого валика.

Іл. 1. Бібліогр.: 9 назв.

УДК 621.922

Кальченко В.И., Кальченко В.В., Кологойда А.В. Определение температуры на торцах игловок при шлифовании со скрещивающимися осями круга и рабочего валика. // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2010. - №45. С. 51-56.

Предлагается методика расчета, позволяющая определить локальные, на конкретном участке поверхности, мгновенные и средние температуры на торцах игловок при шлифовании со скрещенными осями круга и рабочего валика.

Рис. 1. Библиогр.: 9 назв.

UDC 621.922

Kalchenko V.I., Kalchenko V.V., Kologoyda A.V. Determination of the Temperature at the Ends of Needles When Sanding With the Twisting Axes of the Circle and Working Roller. // Journal of Chernihiv State Technological University, 2010. № 45. P. 51-56.

The offered technique of account allows to define local μ , specific at, instant and average from temperature at end faces needle at grinding with crossed axes of a circle and working platen.

Il. 1. Ref.: 9.

УДК 621.923.42

Рудик А.В., Рудик В.А. Продуктивність обробки торців на торцево-шліфувальних верстатах. // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2010. – № 45. С. 57-66.

Виконані порівняльні розрахунки швидкості підведення металу до ділянок робочої торцевої поверхні абразивних кругів, що мають різний профіль при довільній кінематиці. Встановлено характер зміни товщини шару, що зрізається, по координатах торцевої поверхні з врахуванням її стану та наладки верстату 3342 АДО.

Іл.:7, Бібліогр.: 8 назв.

УДК 621.923.42

Рудик А.В., Рудик В.А. Производительность обработки торцов на торцево-шлифовальных станках. // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2010. - №45. С 57-66.

Выполнены сравнительные расчеты скорости подвода металла к участкам рабочей торцевой поверхности абразивных кругов, имеющих различный профиль при произвольной кинематике. Установлен характер изменения толщины срезаемого слоя по координатам торцевой поверхности с учетом её состояния и настройки станка 3342 АДО.

Илл.:7, Библиогр.: 8 назв.

UDC 621.923.42

Rudik A.V., Rudik V.A. Productivity of Butt Ends Treatment on End-polishing Machine-tools. // Journal of Chernihiv State Technological University, 2010. № 45. P. 57-66.

The comparative calculations of the speed of metal admission to the areas of working butt end surface of abrasive circles having a different type at an arbitrary kinematics are executed. Character of thickness change of the cut away layer is set after the co-ordinates of butt surface taking into account to its stature and adjusting of machine-tool.

Ill.: 7, Ref.: 8

УДК 621.9.06: 621.941: 621.9-112.5

Чуприна В.М., Пасов Г.В., Шолупец В.М. Дослідження динамічних характеристик шпиндельних вузлів у робочому просторі багатоцільового верстату моделі IP500ПМФ4. . // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2010. – № 45. С. 67-77.

Виконані порівняльні розрахунки динамічних характеристик шпиндельного вузла в робочому просторі багатоцільового верстату. Встановлено вплив механічних параметрів інструментальних оправок та інструменту на динамічні характеристики шпиндельних вузлів.

Іл.:11, Бібліогр.: 6 назв.

УДК 621.9.06: 621.941: 621.9-112.5

Чуприна В.М., Пасов Г.В., Шолупец В.М. Исследование динамических характеристик шпиндельных узлов в рабочем пространстве многоцелевого станка модели IP500ПМФ4. // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2010. - №45. С. 67-77.

Выполнены сравнительные расчеты динамических характеристик шпиндельных узлов в рабочем пространстве многоцелевого станка. Установлено влияние механических параметров инструментальных оправок и инструмента на динамические характеристики шпиндельных узлов.

Илл.:11, Библиогр.: 6 назв.

UDC 621.9.06: 621.941:621.9-112.5

Chupryna V.M., Pasov G.V., Sholupec V.M. Study of the Dynamic Features of the Spindle Nodes in Worker Space Multi-objective Tool to models IP500ПМФ4. // Journal of Chernihiv State Technological University, 2010. № 45. P. 67-77.

The comparative calculations of the dynamic features spindle nodes are executed in worker space multi-objective tool. The installed influence mechanical parameter instrumental mandrels and instrument on dynamic features spindle nodes.

Илл.: 11, Ref.: 6

УДК 371.315.7

Кириєнко С.Ю., Полуян А.В., Пасов Г.В., Чуприна В.М. Анімаційне моделювання гнучкої виробничої системи. // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2010. – № 45. С. 78-86.

Розглянуто анімаційне моделювання обробки поверхонь на металорізальних верстатах на прикладі 3D моделі механічного цеху. Описано основні системи та підсистеми гнучкої виробничої системи анімаційно-змодельованого механічного цеху, та перспективи інтерактивного його управління в подальшому.

Бібліогр.: 9 назв.

УДК 371.315.7

Кириенко С.Ю., Полуян А.В., Пасов Г.В., Чуприна В.М. Анимационное моделирование гибкой производственной системы. // Вестн. Черниг. Гос. Технолог ун-та, 2010. - №45. С. 78-86.

Рассмотрено анимационное моделирование обработки поверхностей на металлорежущих станках на примере 3D модели механического цеха. Описаны основные системы и подсистемы гибкой производственной системы анимационно – смоделированного механического цеха, и перспективы интерактивного его управления в дальнейшем.

Библиогр.: 9 назв.

UDC 371.315.7

Kirienko S.Y., Poluyan A.V., Pasov G.V., Chupryna V.M. Modeling of the Flexible Production System. // Journal of Chernihiv State Technological University, 2010. № 45. P. 78-86.

Modeling of the processing the surfaces is considered on tool for processing by cutting on example 3D models of the machine shop. It is described main systems and subsystems of the flexible production system of animaciya of modeling machine shop, and prospects interactive its management hereinafter.

Ref.: 9

УДК 621.924.1/6

Чередніков О.М., Борисов О.О., Канюка В.І. Модуль-алгоритм формування баз даних оцифровки поверхонь. // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2010. – № 45. С. 87-91.

Запропоновано модуль-алгоритм процесу оцифровки вимірювальної інформації, отриманий з безконтактних лазерних датчиків при дослідженні шорсткості та відхилень форми поверхонь з метою забезпечення активного контролю безпосередньо в процесі виготовлення маложорстких кілець зі спечених композиційних матеріалів.

Ил. 4; Библиогр: 5 назв.

УДК 621.924.1/6

Чередников О.Н., Борисов А.А., Каниука В.И. // Вестн. Черниг. Гос. Технолог ун-та, 2010. - №45. С. 87-91.

Модуль-алгоритм формирования баз данных оцифровки поверхностей. Предложен модуль-алгоритм процесса оцифровки измерительной информации, полученный с бесконтактных лазерных датчиков при исследовании шероховатости и отклонений формы поверхностей с целью обеспечения активного контроля непосредственно в процессе изготовления маложестких колец из спеченных композиционных материалов.

Илл. 4; Библиогр: 5 назв.

UDC 621.924.1/6

Cherednikov O.N., Borisov A.A., Kaniuka V.I. // Journal of Chernihiv State Technological University, 2010. № 45. P. 87-91.

Modulus-algorithm of creating databases of digitizing surfaces. Is presented a modulus-algorithm of

the process of digitizing the measurement of information, which was obtained from non-contact laser sensors in the research of roughness and deviations of surfaces' form to provide active control directly in the manufacturing process of few-firm rings, made of sintered composite materials.

Ill. 4; Ref: 5 items.

УДК 621.001.85 (075)

Бойко А.В., Мельник П.М. Побудова регресійної моделі точності складального розмірного ланцюга // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2010. – № 45. С. 92-98.

Розглянута методика побудови регресійної моделі точності складального розмірного ланцюга, яка відображає процес формування точності складання при взаємодії таких основних факторів як кількість реалізацій складання, кількість ланок розмірного ланцюга та значення середнього допуску замикаючої ланки.

Ил. 2; Библиогр: 5 назв.

УДК 621.001.85 (075)

Бойко А.В., Мельник П.М. Построение регрессионной модели точности сборочной размерной цепи // Вестн. Черниг. Гос. Технолог ун-та, 2010. - №45. С. 92-98.

Рассмотрена методика построения регрессионной модели точности сборочной размерной цепи, которая отображает процесс формирования точности сборки при взаимодействии таких основных факторов как количество реализаций сборки, количество звеньев размерной цепи и значения среднего допуска замыкающего звена.

Илл. 2; Библиогр: 5 назв.

UDC 621.001.85 (075)

Boycko A.V., Melnik P.M. Construction of regressive model of exactness of frame-clamping size chain // Journal of Chernihiv State Technological University, 2010. № 45. P 92-98.

The method of construction of regressive model of exactness of frame-clamping size chain, which represents the process of forming of exactness of assembling at co-operation of such basic factors as amount of realization of assembling, amount of links of size chain and value of middle admittance of locking link, is considered.

Ill. 2; Ref: 5 items.

УДК 621.822.172

Федориненко Д.Ю., Бойко С.В., Сапон С.П. Експериментальний стенд для дослідження шпиндельних гідростатичних опор // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2010. – № 45. С. 99-105.

Запропоновано експериментальний стенд для дослідження динамічних характеристик гідростатичних опор. Розглянуті особливості вимірювання вібраційного поля корпусу підшипника, динамічного тиску та температури робочої рідини в карманах опор.

Ил. 10; Библиогр: 6 назв.

УДК 621.822.172

Федориненко Д.Ю., Бойко С.В., Сапон С.П. Экспериментальный стенд для исследования шпиндельных гидростатических опор // Вестн. Черниг. Гос. Технолог ун-та, 2010. - №45. С. 99-105.

Предложен экспериментальный стенд для исследования динамических характеристик гидростатических опор. Рассмотрены особенности измерения вибрационного поля корпуса подшипника, динамического давления и температуры рабочей жидкости, в карманах опор.

Илл. 10; Библиогр: 6 назв.

UDC 621.822.172

Fedorinenko D.Y., Boycko S.V., Sapon S.P. Experimental stand for research of spindle hydrostatical supports // Journal of Chernihiv State Technological University, 2010. № 45. P. 99-105.

An experimental stand is offered for research of dynamic descriptions of hydrostatical supports. The features of measuring of the oscillation field of bearing corps, dynamic pressure and temperature of working liquid are considered, in the pockets of supports.

Ill. 10; Ref: 6 items.

УДК 621.791.03

Харченко Г.К., Шульженко О.О., Олексієнко С.В., Руденко М.М. З'єднання твердих сплавів (літературний огляд). // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2010. – № 45. С. 106-110.

Проведено літературний огляд способів твердофазного з'єднання твердих сплавів зі сталями та з алмазно-твердосплавними пластинами. Визначено основні проблеми отримання таких з'єднань.

Бібліогр.: 10 назв

УДК 621.791.03

Харченко Г.К., Шульженко О.О., Олексєенко С.В., Руденко М.М. Соединение твердых сплавов (литературный обзор). // Вестн. Черниг. Гос. Технолог ун-та, 2010. - №45. С. 106-110.

Проведен літературний огляд способів твердофазного з'єднання твердих сплавів со сталями и с алмазно-твердосплавными пластинами. Определены основные проблемы получения таких соединений.

Библиогр.: 10 назв.

UDC 621.791.03

Harchenko G.K., Shulghenko O.O., Olekseenko S.V., Rudenko M. M. Connection of firm alloys (the literary review). // Journal of Chernihiv State Technological University, 2010. № 45. P. 106-110.

The literary review of ways of connection of firm alloys with steels and dimond-hard-alloyed plates in a firm phase is spent. The basic problems of reception of such connections are defined.

Ref.: 10

УДК 621.791.3:539.378

Болотов Г.П. Застосування тліючого розряду для ремонту елементів теплообмінних апаратів // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2010. – № 45. С. 111-113.

Наведені результати розробки технології відновлення пошкоджених ділянок трубчастих елементів теплообмінних апаратів паянням в тліючому розряді. Показана можливість ремонту апарату без видалення дефектної трубки та зварювання нової, що скорочує тривалість ремонту.

Іл. 3. Бібліогр.: 4.

УДК 621.791.3:539.378

Болотов Г.П. Применение тлеющего разряда для ремонта элементов теплообменных аппаратов // Вестн. Черниг. Гос. Технолог ун-та, 2010. - №45. С. 111-113.

Приведены результаты разработки технологии восстановления поврежденных участков трубчатых элементов теплообменных аппаратов пайкой в тлеющем разряде. Показана возможность ремонта аппарата без удаления дефектной трубки и зварки новой, что сокращает длительность ремонта.

Ил. 3. Библиогр.: 4.

UDC 621.791.3:539.378

Bolotov G.P. Application of Glow Discharge for the Repair of Components of Heat Exchangers // Journal of Chernihiv State Technological University, 2010. № 45. P. 111-113.

Results of development of technologies for the rehabilitation of damaged sections of the tubular elements of heat exchangers soldered in a glow discharge are considered. The possibility of repairing the device without removing the defective pipe and welding the new, which shortens the duration of repairs.

Ill. 3. Ref.: 4.

УДК 621.631

Добровольська Л.В., Грицюк І.В., Грицюк Ю.В. Метод коригування уставок в процесі керування компенсувальними установками // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2010. – № 45. С. 114-119.

Вдосконалено метод коригування уставок регуляторів в процесі керування компенсувальними установками шляхом виключення ітераційної процедури з відомої моделі, з метою забезпечення адекватності та швидкодії регулятора в реальних умовах роботи електричної мережі.

Іл. 2. Бібліогр.: 9.

УДК 621.631

Добровольская Л.В., Грицюк И.В., Грицюк Ю.В. Метод коррекции уставок в процессе управления компенсирующими установками // Вестн. Черниг. Гос. Технолог ун-та, 2010. - №45. С. 114-119.

Усовершенствован метод коррекции уставок регуляторов в процессе управления компенсирующими установками путем исключения итерационной процедуры из известной модели, с целью обеспечения адекватности и быстродействия регулятора в реальных условиях работы электрической сети.

Ил. 2. Библиогр.: 9.

UDC 621.631

Dobrovolska L.V., Gricyk I.V., Gricyk Y.V. Method of correction of setpoints in the process of management the compensating settings // Journal of Chernihiv State Technological University, 2010. № 45. P. 114-119.

The method of correction of setpoints of regulators is improved in the process of management the compensating settings by the exception of iteration procedure from the known model, with the purpose of providing of adequacy and fast-acting of regulator in the real terms of work of electric network.

Ил. 2. Ref.: 9.

УДК 621.317.33

Добровольська Л.В., Романюк М.В. Використання усталених та перехідних процесів в розподільній мережі постійного струму для періодичного контролю омичних опорів ізоляції полюсів відносно землі // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2010. – № 45. С. 120-124.

Запропоновано метод періодичного контролю, який передбачає вимірювання напруг та струму між загальною точкою-дільником напруги та землею, за результатами значень яких обчислюється загальний опір мережі відносно землі.

Ил. 2. Бібліогр.: 4.

УДК 621.317.33

Добровольская Л.В., Романюк М.В. Использование устоявшихся и переходных процессов в распределительной сети постоянного тока для периодического контроля омических сопротивлений изоляции полюсов относительно земли // Вестн. Черниг. Гос. Технолог ун-та, 2010. - №45. С. 120-124.

Предложен метод периодического контроля, который предусматривает измерение напряжения и тока между общей точкой-делителем напряжения и землей, за результатами значений которых вычисляется общее сопротивление сети относительно земли.

Ил. 2. Библиогр.: 4.

UDC 621.317.33

Dobrovolska L.V., Romanyk M.V. Use of withstand and transitional processes in the distributive network of direct-current for periodic control of omicheskikh resistances the isolation of poles in relation to earth // Journal of Chernihiv State Technological University, 2010. № 45. P. 120-124.

The method of periodic control which foresees measuring of tension and current is offered. between general the point-divisor of tension and by earth, as a result of values of which general resistance a network is calculated in relation to earth.

Ил. 2. Ref.: 4.

УДК 621. 791. 4

Головко В.В., Костін В.А., Жуков В.В., Прибытько І.О. Вплив легування марганцем і титаном на особливості розпаду аустеніту в металі низьколегованих сталей // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2010. – № 45. С. 125-133.

Досліджено вплив легування марганцем та титаном на особливості розпаду аустеніту в металі низьколегованих швів і визначено умови одержання якісних зварних з'єднань.

Ил. 5. Бібліогр.: 2 назв.

УДК 621. 791. 4

Головко В.В., Костин В.А., Жуков В.В., Прибытько И.А. Вплив легування марганцем і титаном на особливості розпаду аустеніту в металі низьколегованих сталей // Вестн. Черниг. Гос. Технолог ун-та, 2010. - №45. С. 125-133.

Исследовано влияние легирования марганцем и титаном на особенности распада аустенита в металле низколегированных швов и определены условия получения качественного соединения.

Ил. 5. Библиогр.: 2 назв.

UDC 621.791.4

Golovko V.V., Kostin V.A., Zhukov V.V., Prybytko I.O. Influence of Manganese and Titanium Doping on the Dissolution Characteristics of Austenite in Low-alloy Metal // Journal of Chernihiv State Technological University, 2010. № 45. P. 125-133.

The features of the structure of the hardened metal welds and low-alloy steels are determined, obtaining high quality welds.

Іл. 5. Ref.: 2.

УДК 621.791.4.052:539.378.3

Прибытько І.О., Ганєєв Т.Р. Розрахунок на міцність скло-кремнієвого вузла датчика тиску з позиції крихкого руйнування // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2010. – № 45. С. 134-138.

Розрахунковим шляхом проведено оцінку рівня напружень для зварних з'єднань з дефектами тріщиноподібної форми. На основі проведених розрахунків встановлено граничні значення геометрії дефекту, які не впливають на експлуатацію вузлів датчиків.

Іл. 4 . Бібліогр.: 13 назв.

УДК 621.791.4.052:539.378.3

Прибытько И.А., Ганєев Т.Р. Расчет на прочность стекло-кремниевое узла датчика давления с позиций хрупкого разрушения // Вестн. Черниг. Гос. Технолог ун-та, 2010. - №45. С. 134-138.

Расчетным путем проведена оценка уровня напряжений для сварных соединений с дефектами трещиноподобной формы. На основе проведенных расчетов установлены предельные значения геометрии дефекта, которые не влияют на эксплуатацию узлов датчиков.

Ил. 4 . Библиогр.: 13 назв.

UDC 621.791.4.052:539.378.3

Prybytko I.O., Ganeev T.R. Calculation of the strength of glass-silicon pressure sensor node positions of brittle fracture // Journal of Chernihiv State Technological University, 2010. № 45. P 134-138.

By calculations evaluated the level of stress for weld defects such as cracks. Based on the calculations set thresholds geometry defects that affect the operation of sensor nodes.

Іл. 4. Ref.: 13

УДК 378.147-057.4:004:519.87 (045)

Павленко П.М., Задонцев Ю.В. Модель процесу отримання рівня кваліфікації фахівців з впровадження інформаційних технологій. // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2010. – № 45. С. 139-144.

Побудована модель процесу отримання рівня підготовки об'єктами навчання. Врахування динаміки засвоєння знань, формування умінь та набуття навичок об'єктом підготовки дає змогу вирішувати задачу моделювання взаємозв'язаних заходів системи підготовки на основі побудови функцій забування знань і втрати умінь та навичок.

Іл. 4 . Бібліогр.: 5 назв.

УДК 378.147-057.4:004:519.87 (045)

Павленко П.Н., Задонцев Ю.В. Модель процесса получения уровня квалификации специалистов по внедрению информационных технологий. // Вестн. Черниг. Гос. Технолог ун-та, 2010. - №45. С. 139-144.

Построена модель процесса получения уровня подготовки объектами обучения. Учет динамики усвоения знаний, формирования умений и приобретения навыков объектом подготовки позволяет решать задачу моделирования взаимосвязанных мероприятий системы подготовки на основе построения функций забывание знаний и потери умений и навыков.

Ил. 4 . Библиогр.: 5 назв.

UDC 378.147-057.4:004:519.87 (045)

Pavlenko P., Zadoncev Y. Model of the receiving level courses experts of information technology. // Journal of Chernihiv State Technological University, 2010. № 45. P. 139-144.

A model of the process for obtaining the level of training objects of study. Taking into account the dynamics of learning, skills formation and skills acquisition target of training allows us to solve the problem of simulation training system of interrelated measures by construction of forgetting functions and loss of knowledge and skills.

Іл. 4. Ref.: 5

УДК 005.311.2:004.94

Третяк В.В., Павленко П.М., Хлевний А.О. Розробка та впровадження інформаційної технології аналізу та оцінки виробничого замовлення. // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2010. – № 45. С. 145-151.

У статті розглянуто формалізований опис етапів автоматизованого аналізу та оцінки виробничого замовлення, використання яких забезпечує інформаційну підтримку процесів прийняття рішень по замовленню.

Іл. 3 . Бібліогр.: 7 назв.

УДК 005.311.2:004.94

Трейтак В.В., Павленко П.М., Хлевный А.О. Разработка и внедрение информационной технологии анализа и оценки производственного заказа. // Вестн. Черниг. Гос. Технолог ун-та, 2010. - №45. С. 145-151.

В статье рассмотрено формализованное описание этапов автоматизированного анализа и оценки производственного заказа, использование которых обеспечивает информационную поддержку процессов принятия решений по заказу.

Ил. 3 . Библиогр.: 7 назв.

UDC 005.311.2:004.94

Treytak V.V., Pavlenko P.M., Hlevniy A.O. Development and introduction of information technology of analysis and estimation of production order // Journal of Chernihiv State Technological University, 2010. № 45. P. 145-151.

The formalized description of the stages of the automated analysis and estimations of production order, the use of which provides informative support of processes of making decision by order, is considered in the article.

Ill. 3. Ref.: 7

УДК 004.9, 004.02

Вервейко О.І., Нікітенко Є.В., Стрелок Д. В. Система автоматизованого проектування бездротових систем моніторингу // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2010. – № 45. С. 152-158.

Досліджено принципи побудови та складові бездротових систем моніторингу. Запропоновано систему проектування таких систем. Описані основні принципи роботи системи, архітектура та алгоритми, що використовує система. Запропонований алгоритм автоматизованого проектування бездротової мережі системи моніторингу.

Іл. 3. Бібліогр.: 5 назв.

УДК 004.9, 004.02

Вервейко О.И., Никитенко Е.В., Стрелок Д.В. Система автоматизированного проектирования беспроводных систем мониторинга // Вестн. Черниг. Гос. Технолог ун-та, 2010. - №45. С. 152-158.

Исследованы принципы построения и составные части беспроводных систем мониторинга. Предложена система проектирования таких систем. Описаны основные принципы работы системы, архитектура и алгоритмы, которые использует система. Предложен алгоритм автоматизированного проектирования беспроводной сенсорной сети системы мониторинга.

Ил. 3. Библиогр.: 5 назв.

UDC 004.9, 004.02

Vervejko O. I., Nikitenko E. V, Strelok D. V. The Automated Planning System of Wireless Monitoring Systems // Journal of Chernihiv State Technological University, 2010. № 45. P. 152-158.

Principles of construction and constituents of the wireless systems of monitoring are investigated. The system of planning of such systems of monitoring is offered. Described basic principles of work of the system, architecture and algorithms, that the system uses. Offered algorithm of the automated planning of wireless network of the monitoring system.

Ill. – 3, Refs – 5.

УДК 004.27

Вервейко О.І. Мичта А.О. Віртуальний реконфігуруючий вимірювач основних параметрів електричних сигналів. // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2010. – № 45. С. 159-164.

Віртуальний реконфігуруючий вимірювач основних параметрів електричних сигналів дозволяє вимірювати напругу, частоту, період і форму сигналу. Тип вимірюваного параметра визначається обраною користувачем конфігурацією. Архітектура вимірювача характеризується можливістю її автоматич-

ної чи ручної реконфігурації, що дозволяє поліпшити метрологічні характеристики створеного приладу. Дає змогу розширювати кількість параметрів, що вимірюються, без зміни конструктивної реалізації.

Рис. 4. Бібліогр.: 6 Дж.

УДК 004.27

Вервейко А.И. Мычта А.А. Виртуальный реконфигурируемый измеритель основных параметров электрических сигналов. // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2010. - №45. С. 159-164.

Виртуальный реконфигурируемый измеритель основных параметров сигналов позволяет измерять напряжение, частоту, период и форму сигнала. Тип измеряемого параметра определяется выбранной пользователем конфигурацией. Архитектура измерителя характеризуется возможностью её автоматической и ручной реконфигурации, что позволяет улучшить метрологические характеристики созданного прибора. Позволяет расширять количество измеряемых параметров без изменения конструктивной реализации.

Рис. 4. Библиогр.: 6 Ист.

UDC 004.27

Verveiko A.I. Mychta A.A. Virtual Reconfigurable Measuring the Basic Parameters of Electrical Signals. // Journal of Chernihiv State Technological University, 2010. № 45. P. 159-164.

Virtual reconfigurable measuring the basic parameters of the signals allows to measure voltage, frequency, period and shape of the signal. Type the measured parameter is determined by user-selected configuration. Architecture meter is characterized by the possibility of its automatic and manual reconfiguration, which improves the metrological characteristics created device. It allows expanding the number of measured parameters without changing the structural implementation.

Fig.: 4. Ref.: 6.

УДК 519.6

Зацерковний В. І., Кривоберець С.В., Сімакін Ю.С. Методика створення еталонних моделей просторових об'єктів ГІС за допомогою комбінаторного алгоритму. // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2010. – № 45. С. 165-172.

Розглянута можливість застосування геоінформаційних систем та геоінформаційних технологій для оцінки стану природного середовища. Розроблена математична модель на базі комбінаторного алгоритму для діагностування станів навколишнього середовища.

Іл. 1. Бібліогр.: 9 назв.

УДК 519.6

Зацерковный В.И., Кривоберец С.В., Симакин Ю.С. Методика создания эталонных моделей пространственных объектов ГИС с помощью комбинаторного алгоритма. // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2010. - №45. С. 165-172.

Рассмотрена возможность применения геоинформационных систем и геоинформационных технологий для оценки состояния естественной среды. Разработана математическая модель на базе комбинаторного алгоритма для диагностирования состояний окружающей среды.

Ил. 1. Библиогр.: 9 назв.

UDC 519.6

Zatserkovnyi V.I., Krivoberets S.V., Simakin Y.S. Method of Creation of Standard Models of Spatial Objects of GIS by a Combinatory Algorithm. // Journal of Chernihiv State Technological University, 2010. № 45. P. 165-172.

Possibility of application of the geoinformation systems and geoinformation technologies for the estimation of the state of natural environment is considered. It is developed mathematical model on the base of combinatory algorithm for diagnosing of conditions of environment.

Ill. 1. Ref.: 9.

УДК 621.9

Бичко В.А., Раміт Азад, Шумський О.В. Методи первинної обробки даних при тривимірному скануванні поверхні фізичних об'єктів. // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2010. – № 45. С. 173-179.

Реалізована можливість отримання комп'ютерної моделі поверхні фізичних об'єктів шляхом безконтактного тривимірного сканування. Аналізуються методи виокремлення профільних кривих з послідовності зображень світлових відбитків, отриманих при тривимірному скануванні.

Іл. 6. Бібліогр.: 8 назв.

УДК 621.9

Бычко В.А., Рамит Азад, Шумкий А.В. Методы первичной обработки данных при трехмерном сканировании поверхности физических объектов. // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2010. - №45. С. 173-179.

Реализована возможность получения компьютерной модели поверхности физических объектов путем бесконтактного трехмерного сканирования. Анализируются методы выделения профильных кривых из последовательности изображений световых отпечатков, полученных при трехмерном сканировании..

Іл. 6. Библиогр.: 8 назв.

UDC 621.9

Bychko V.A., Ramit Azad, Shumskii O.V. The Methods of the Primary Data Processing at the Three-dimensional Scanning of the Surface of Physical Objects. // Journal of Chernihiv State Technological University, 2010. № 45. P. 173-179.

The possibility of getting the computer model of the surface of physical object is realized by non-contact three-dimensional scanning. The selection methods of type curves from the images sequence of the light imprints, got at the three-dimensional scanning are analysed..

Il. 6. Ref.: 8.

УДК 621.383.51

Велигорський О.А., Кулініч Д.В. Моделювання вольт-амперних характеристик фотоелектричних перетворювачів // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2010. – № 45. С. 180-187.

Розглянуті моделі фотоелектричних перетворювачів, для яких побудовані основні характеристики. Проведено порівняння характеристик моделі з експериментально отриманими даними для сонячної батареї YH116*116-12A/B250. Отримані результати можуть бути використані в подальшому для побудови систем слідування за точкою максимальної потужності.

Іл. 8. Бібліогр.: 10 назв.

УДК 621.383.51

Велигорский О.А., Кулинич Д.В. Моделирование вольт-амперных характеристик фотоэлектрических преобразователей. // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2010. - №45. С. 180-187.

Рассмотрены модели фотоэлектрических преобразователей, для которых построены основные характеристики. Проведено сравнение характеристик модели с экспериментально полученными данными для солнечной батареи YH116*116-12A/B250. Полученные результаты могут быть использованы в дальнейшем при построении систем слежения за точкой максимальной мощности.

Іл. 8. Библиогр.: 10 назв.

UDC 621.383.51

Veligorskiy O.A., Kulinich D.V. Design of volt-ampere descriptions of photo-electric transformers. // Journal of Chernihiv State Technological University, 2010. № 45. P. 180-187.

Models of photovoltaic modules, for which constructed the basic features were consider. Characteristics of the model with the experimental data for solar panel YH116*116-12A/B250 were compared. The results can be used later in constructing systems with maximum power point tracking.

Il. 6. Ref.: 8.

УДК 004.321

Птіцин В.Ю., Щерба О.В. Порівняльна характеристика методів тестування елементів пам'яті // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2010. – № 45. С. 188-192.

Розглянуті проблеми виявлення несправностей елементів пам'яті. Проведений аналіз деяких відомих методів тестування елементів пам'яті та алгоритмів їх виконання. Експериментально встановлено залежність часу виконання тесту від об'єму та типу пам'яті.

Іл. 1. Бібліогр.: 4 назв.

УДК 004.321

Птицын В.Ю., Щерба О.В. Сравнительная характеристика методов тестирования элементов памяти // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2010. - №45. С. 188-192.

Рассмотрены проблемы обнаружения неисправностей элементов памяти. Проведен анализ некоторых известных методов тестирования элементов памяти и алгоритмов их выполнения. Экспериментально установлена зависимость времени выполнения теста от объема и типа тестируемой памяти.

Ил. 1. Библиогр.: 4 назв.

UDC 004.321

Ptitsyn V.Y., Scherba O.V. Comparison of Methods of Memory Elements Testing // Journal of Chernihiv State Technological University, 2010. № 45. P. 188-192.

The problems of tracking down of defects of elements of memory have been considered. The analysis of some known methods of memory elements testing and algorithms of their performance has been lead. Time dependence of the test on volume performance and memory type has experimentally been established.

Ill. 1, Ref.:4

УДК 004.94

Жолобко О.Ю., Щерба О.В. Об'єктна модель цифрової системи // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2010. – № 45. С. 193-198.

Розглянуті проблеми моделювання цифрових систем. Проведений аналіз поширених моделей цифрових пристроїв. Запропонована об'єктна модель. Приведений приклад побудови об'єктної моделі.

Ил. 4. Бібліогр.: 5 назв.

УДК 004.94

Жолобко А.Ю., Щерба О.В. Объектная модель цифровой системы // Вестн. Черниг. Гос. Технолог ун-та, 2010. - №45. С. 193-198.

Рассмотрены проблемы моделирования цифровых систем. Проведен анализ распространенных моделей цифровых устройств. Предложена объектная модель. Приведен пример построения объектной модели.

Ил. 4. Библиогр.: 5 назв.

UDC 004.94

Zholobko O.Y., Scherba O.V. The Object Model of Digital System // Journal of Chernihiv State Technological University, 2010. № 45. P. 193-198.

The problems of modeling of digital systems have been considered. The analysis of some known models of digital devices has been lead. The object model was proposed. An example of object model has been shown.

Ill. 4, Ref.:5

УДК 004.7; 004.942

Риндич Є.В. Архітектура корпоративної конференц-системи на основі ір-протоколу // Вісн. Черніг. Держ. Технол. ун-ту, 2010. - № 45. С. 199-207.

Розглянуто проблему створення корпоративних конференц-систем. Визначено ролі користувачів та основні функції корпоративних конференц-систем. Запропонована загальна архітектура та схема взаємодії, що дозволяють використовувати ІР-мережі загального користування для передачі комерційної або приватної інформації.

Ил. 6 Бібліогр.: 8 назв.

УДК 004.7; 004.942

Рындич Е.В. Архитектура корпоративной конференц-системы // Вестник Черниг. Держ. Технол. ун-та, 2010. - №45. С. 199-207.

Рассмотрена проблема создания корпоративных конференц-систем. Определены роли пользователей и основные функции корпоративных конференц-систем. Предложена обобщенная архитектура и схема взаимодействия, которая позволяет использовать IP-сети общего пользования для передачи коммерческой или частной информации.

Ил. 6 Библиогр.: 8 назв.

UDC 004.7; 004.942

Ryndych Y.V., Architecture of corporative conference systems // Journal of Chernihiv State Technological University, 2010. - № 45. P. 199-207.

The problem of tracking down of corporative conference systems have been lead. Defined user roles and main major functions of corporate conferencing systems. The generalized architecture and interaction

scheme, which allows to use IP networks for transmission of commercial or private information, have been offered.

Ill. 6 Ref. : 8

УДК 678.057.5

Чередніченко П.І., Бакалов О.В., Бакалов В.Г. Методика розрахунку плоскощільної головки. // Вісн. Черніг. Держ. Технол. унту, 2010. - № 45. С. 208-213.

Розроблена методика розрахунку плоскощільної головки, яка враховує залежність в'язкості полімеру від температури. Наведені залежності індексу течії від температури для різних марок поліетилену та запропоноване рівняння опису. Наведені рівняння, які дозволяють визначити витрати полімеру в формуючих каналах головки. Також отримані рівняння, які описують процес витягування плівки.

Ил. 4. Бібліогр.: 7 назв.

УДК 678.057.5

Чередніченко П.И., Бакалов О.В., Бакалов В.Г. Методика расчета плоскощелевой головки. // Вестник Черниг. Держ. Технол. ун-та, 2010. - №45. С. 208-213.

Разработана методика расчета плоскощелевой головки, которая учитывает зависимость вязкости полимера от температуры. Приведены зависимости индекса течения от температуры для разных марок полиэтилена и предложено описывающее уравнение. Приведены уравнения, которые позволяют определить расход полимера в формирующих каналах головки. Также получены уравнения, которые описывают процесс вытяжки пленки.

Ил. 4. Библиогр.: 7 назв.

UDC 678.057.5

Cherednichenko P.I., Bakalov O.V., Bakalov V.G. The Design Procedure of Extrusion Flat Die. // Journal of Chernihiv State Technological University, 2010. - № 45. P. 208-213.

The design procedure extrusion flat die which considers dependence of viscosity of polymer on temperature is developed. Dependences of an index of a current on temperature for different marks to polyethylene are resulted and the describing equation is offered. The equations which are resulted allow to define the polymer expense in forming channels of a flat die. Also the equations which are received describe process of an extract of a film.

Ill. 4. Ref.: 7.

УДК 620.179:534.6

Т.М. Косицька. Моделювання сигналів акустичної емісії при механічному руйнуванні композиційного матеріалу. // Вісн. Черніг. Держ. Технол. унту, 2010. - № 45. С. 214-220.

Наведено результати моделювання сигналів акустичної емісії при механічному руйнуванні композиційного матеріалу. Розглянуто закономірності зміни їх параметрів в залежності від швидкості навантаження, дисперсності матеріалу за характеристиками міцності і крихкості. Показано, що зменшення дисперсності властивостей матеріалу впливає на акустичну емісію аналогічно зростанню швидкості навантаження. При цьому із зростанням крихкості необхідно враховувати зростання швидкості процесу руйнування.

УДК 620.179:534.6

Т.Н. Косицкая. Моделирование сигналов акустической эмиссии при механическом разрушении композиционного материала. // Вестник Черниг. Держ. Технол. ун-та, 2010. - №45. С. 214-220.

Приведены результаты моделирования сигналов акустической эмиссии при механическом разрушении композиционного материала. Рассмотрены закономерности изменения их параметров в зависимости от скорости нагружения, дисперсности материала по характеристикам прочности и хрупкости. Показано, что уменьшение дисперсности свойств материала влияет на акустическую эмиссию аналогично возрастанию скорости нагружения. При этом с возрастанием хрупкости необходимо учитывать возрастание скорости процесса разрушения.

UDC 620.179:534.6

T.N. Kositskaja. Simulation of acoustic emission signals at mechanical destruction of composite // Journal of Chernihiv State Technological University, 2010. - № 45. P. 214-220.

The outcomes of acoustic emission signals simulation are adduced at mechanical destruction of composite. The regularities modification of their arguments in velocity of loading function, disperse of strength properties stuff and brittleness are considered. Is exhibited, that the decreasing of disperse properties stuff influences an

acoustic emission similarly to ascending of a loading rate. Thus with ascending of brittleness it is necessary to take into account ascending of velocity destruction process.

УДК 539.3:539.4

Сиза О.І., Савченко О.М., Корольов О.О. Розробка інгібіторів на основі рослинної сировини для протикорозійного захисту системи водо- та тепlopостачання. // Вісн. Черніг. Держ. Технол. ун-ту, 2010. - № 45. С. 221-228.

Із залученням продуктів переробки рослинної сировини України, на основі комплексної оцінки корозійно-електрохімічної поведінки сталі в агресивних середовищах розроблено новий екологічно безпечний інгібітор корозії (МГ-ЧДТУ) з високою ефективністю протикорозійного захисту конструкційних сталей у нейтральному, лужному та кислому середовищах ($Z = 93,0 - 99,8 \%$), який зменшує біологічне забруднення водоростями, бактеріями і грибами водного середовища. Галузь застосування інгібітора: системи комунального водопостачання, закриті системи опалення житлового та промислового призначення, зворотні системи охолодження підприємств.

Бібліографій: 7 назв.

УДК 539.3:539.4

Сизая О.И., Савченко О.Н., Королев А.А. Разработка ингибиторов на основе растительного сырья для противокоррозионной защиты системы водо- и теплоснабжения. // Вестник Черниг. Держ. Технол. ун-та, 2010. - №45. С. 221-228.

С использованием продуктов переработки растительного сырья Украины, на основе комплексной оценки коррозионно-электрохимического поведения стали в агрессивных средах разработан новый экологически безопасный ингибитор коррозии (МГ-ЧДТУ) с высокой эффективностью противокоррозионной защиты конструкционных сталей в нейтральной, щелочной и кислой средах ($Z = 93,0-99,8 \%$). Ингибитор уменьшает биологическое загрязнение водорослями, бактериями и грибами водной среды. Область применения ингибитора: системы коммунального водоснабжения, закрытые системы отопления жилого и промышленного назначения, оборотные системы охлаждения предприятий.

Библиографии: 7 назв.

UDC 539.3:539.4

Syza O.I., Savchenko O.M., Korolyov O.O. Development of Inhibitory on the Basis of Vegetative Raw Material for Anticorrosive Protection of System Water- and a Heat Supply. // Journal of Chernihiv State Technological University, 2010. - № 45. P. 221-228.

With use of products of processing of vegetative raw material of Ukraine, on the basis of a complex estimation of corrosive-electrochemical behaviour of steel in excited environments, (МГ-ЧДТУ) with high efficiency of anticorrosive protection constructional steels in neutral, alkaline and sour environments ($Z = 93,0-99,8 \%$) is developed new ecologically safe inhibitory corrosion. Inhibitory reduces biological pollution by seaweed, bacteria and mushrooms the water environment. A scope inhibitory: systems of the municipal water supply, the closed systems of heating of inhabited and industrial purpose, turnaround systems of cooling of the enterprises.

Ref.: 7.

УДК 628.517.2

Челябієва В.М., Гуменюк О.Л., Денисова Н.М. Застосування деяких спінених та скловолокнистих матеріалів для захисту приміщень від шуму. // Вісн. Черніг. Держ. Технол. ун-ту, 2010. - № 45. С. 229-233.

Досліджені шумозахисні властивості деяких теплоізоляційних матеріалів з групи спінених та скловолокнистих. Зроблено висновок про доцільність їх використання як звукопоглинальних матеріалів з точки зору акустичних, пожежонебезпечних характеристик та екологічності.

Лл. 1. Бібліогр.: 11.

УДК 628.517.2

Челябиева В.Н., Гуменюк О.Л., Денисова Н.Н. Применение некоторых вспененных и стекловолокнистых материалов для защиты помещений от шума. // Вестник Черниг. Держ. Технол. ун-та, 2010. - №45. С. 229-233.

Исследованы шумозащитные свойства некоторых теплоизоляционных материалов из группы вспененных и стекловолокнистых. Сделаны выводы о целесообразности их использования как звукопоглощающих материалов с точки зрения акустических характеристик, пожаробезопасности и экологичности.

Лл. 1. Библиогр.: 11.

UDC 628.517.2

Chelyabyeva V.M., Humeniuk O.L., Denisova N.M. Use Some Of The Foam-Plastic And Glass Fibre Materials For Antinoise Protection Of Premises. // Journal of Chernihiv State Technological University, 2010. - № 45. P. 229-233.

The antinoise properties some of the thermic insulation's materials from group of foam plastic and glass fibre materials are investigated. The conclusion about expediency of their use as sound-proof materials is made from the point of view of the acoustic characteristics, resistance from fires and ecological characteristics.

Il. 1. Ref.: 11.

УДК 66.061.34

Ігнатенков О.Л. Переробка на цукровому заводі основного потоку буряку в диференціально-струминному дифузійному апараті. // Вісн. Черніг. Держ. Технол. унту, 2010. - № 45. С. 234-237.

Обґрунтовано доцільність впровадження у цукровому виробництві малогабаритного (6 секцій висотою 5 м. та 2 х 2 м перерізом кожна) диференціально-струминного дифузійного апарату продуктивністю до 3000 тон на добу. Установка дозволяє підвищити надійність роботи ділянки соковидобування та спростити схему класифікації бурякомаси, а також одержати додатковий цукор за рахунок використання некондиційної бурякомаси заводу та екстрагування мезги з пульполовущок.

Бібліогр.: 4 назв.

УДК 66.061.34

Ігнатенков А.Л. Переработка на сахарном заводе основного потока свеклы в дифференциально-струйном диффузионном аппарате. // Вестник Черниг. Держ. Технол. ун-та, 2010. - №45. С. 234-237.

Обоснована целесообразность внедрения в сахарном производстве малогабаритного (6 секций высотой 5 м и 2 х 2 м сечением каждая) дифференциально-струйного диффузионного аппарата производительностью до 3000 тонн в сутки. Установка позволяет повысить надежность работы участка сокодобывания и упростит схему классификации свекломассы, а также получить дополнительный сахар за счет использования некондиционной свекломассы завода и экстрагирования мезги из пульполовущек.

Библиогр.: 4 назв.

UDC 66.061.34

Ignatenkov A.L. Main Flow of Beet Processing On Sugar Plant In Differential-Jet Diffusion apparatus. // Journal of Chernihiv State Technological University, 2010. - № 45. P. 234-237.

It is substantiated the sensibility of using in sugar production small-gabarit (6 sections 5 m of height and 2 x 2 m of cross sections) differential-jet diffusion apparatus on 3000 t/day productivity. The apparatus remains to raise dependability of diffusion sap production sector and hold additional sugar at expense of using of nonconditional beet and pulp extraction.

Ref.: 4.

УДК 677.021.151.28.83

Ніколайчук Л.Г. Визначення механічних властивостей білизняних бавовняних тканин. // Вісн. Черніг. Держ. Технол. унту, 2010. - № 45. С. 238-242.

Встановлено, що за показниками механічних властивостей бавовнянокотонінові білизняні тканини не поступаються аналогічним еталонним бавовняним і лляним тканинам.

Бібліогр.: 5

УДК 677.021.151.28.83

Николайчук Л.Г. Определение механических свойств бельевых хлопкокатониновых тканей. // Вестник Черниг. Держ. Технол. ун-та, 2010. - №45. С. 238-242.

Установлено, что за показателями механических свойств хлопкокатониновые бельевые ткани не уступают аналогичным эталонным хлопчатобумажным и льняным тканям.

Библиограф.: 5

UDC 677.021.151.28.83

Nikolajchuk L.G. Estimation of the Hygienic Properties Linen Cotton-cottonin Fabrics. // Journal of Chernihiv State Technological University, 2010. - № 45. P. 238-242.

It is determined that according to their mechanical properties cotton-cottonin fabrics are not worse than analogous cotton and linen fabrics for underwear.

Ref.: 5

УДК 677. 074 : 677. 057. 71

Дудла І.О., Хребтань О.Б. Дослідження зміни показників густини пальтових вовняних тканин після спеціального оброблення. // Вісн. Черніг. Держ. Технол. унту, 2010. - № 45. С. 243-247.

Досліджено зміну показників густини пальтових вовняних тканин під впливом спеціального оброблення. Було встановлено, що спеціальне оброблення значно покращило показники густини пальтових тканин. Були зроблені висновки щодо доцільності застосування спеціального оброблення пальтових вовняних тканин для покращення їх функціональних властивостей.

Табл. 1. Ил. 2. Библиогр.: 3 назв.

УДК 677. 074 : 677. 057. 71

Дудла И.А., Хребтань Е.Б. Исследование изменения показателей плотности пальтовых шерстяных тканей после специальной обработки. // Вестник Черниг. Держ. Технол. ун-та, 2010. - №45. С. 243-247.

Изучена экологическая безопасность шерстяных пальтовых тканей со специальной обработкой. Определена безопасность гигиенических показателей качества шерстяных пальтовых тканей со специальной обработкой, сделаны выводы относительно безопасности этих тканей.

Табл. 1. Ил. 2. Библиогр.: 3 назв.

UDC 677. 074 : 677. 057. 71

Dudla I.O., Khrebtan O.B. Investigation of the influence of special processing of coat wool fabrics on change of density parameters. // Journal of Chernihiv State Technological University, 2010. - № 45. P. 243-247.

The article investigates changing parameters of density of coat wool fabrics under the influence of special processing. It was found that special treatment significantly improved the performance density of coat fabrics. The conclusions were made about advisability of the use of special processing of coat wool fabrics to improve their functional properties.

Tabl. 1. Il. 2. Ref.: 3.

УДК 685. 34. 022. 6 : 658. 7

Дудла І.О., Хребтань О.Б. Товарознавча експертиза розмірних показників та маркування шкіряного взуття, що реалізується в роздрібних торговельних підприємствах м. Чернігова. // Вісн. Черніг. Держ. Технол. унту, 2010. - № 45. С. 248-253.

Досліджено проблему фальсифікації розмірних показників і маркування шкіряного взуття, виявлених під час проведення товарознавчої експертизи. Наведені приклади неналежного маркування шкіряного взуття, яке реалізується в роздрібних торговельних підприємствах міста.

Зроблені висновки і внесені пропозиції щодо попередження порушення стандартних вимог до інформації про розміри в маркуванні шкіряного взуття.

Табл. 1. Ил. 6. Библиогр.: 6 назв.

УДК 685. 34. 022. 6 : 658. 7

Дудла И.А., Хребтань Е.Б. Товароведческая экспертиза размерных показателей и маркировки кожаной обуви, которая реализуется в розничных торговых предприятиях г. Чернигова. // Вестник Черниг. Держ. Технол. ун-та, 2010. - №45. С. 248-253.

Исследована проблема фальсификации размерных показателей и маркировки кожаной обуви, выявленных во время проведения товароведной экспертизы. Приводятся примеры ненадлежащей маркировки кожаной обуви, которая реализуется в розничных торговых предприятиях города.

Сделаны выводы и внесены предложения по предупреждению нарушений стандартных требований к информации о размерах в маркировке кожаной обуви.

Табл. 1. Ил. 6. Библиогр.: 6 назв.

UDC 685. 34. 022. 6 : 658. 7

Dudla I.O., Khrebtan O.B. Merchandise investigations of dimensions and marking of leathers footwear, which is realizing in small commercial enterprises of Chernihiv. // Journal of Chernihiv State Technological University, 2010. - № 45. P. 248-253.

The problem of merchandise investigations of dimension information of leathers footwear marking are given. The examples of information forging on footwear are made.

The conclusions for preventing breaking of standard demands before presenting information about dimensions in footwear marking have been worked out.

Tabl. 1. Il. 6. Ref.: 6.

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ, ЯКІ НАДАЮТЬСЯ ДО ВІСНИКА ЧЕРНІГІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Статтю подають у редакцію однією із мов (українською, російською або англійською), надруковану через 1 міжрядковий інтервал на білому папері формату А4. Кожна сторінка має бути підписана усіма авторами.

Обсяг статті з анотацією, рисунками, таблицями, списком літератури – 3-7 повні сторінки (остання сторінка має бути заповнена не менш ніж на 80 %). Кількість співавторів не повинна перевищувати трьох. В збірнику можна розміщувати не більше однієї статті на кожного автора.

Для публікації статті необхідно надіслати до редакції наступні матеріали: друкований текст статті з підписами авторів в 2-х примірниках; експертний висновок, завірений печаткою; рецензія доктора наук з зазначенням наукового ступеня рецензента, вченого звання, посади, місця роботи, завірена печаткою; відомості про авторів українською, російською й англійською мовами (окремий файл і надрукована сторінка): прізвище, ім'я, по батькові, рік народження, повна назва і дата закінчення вищого навчального закладу, факультет, науковий ступінь, вчене звання, посада, місце роботи (кафедра, факультет, інститут – без скорочень), напрям наукової діяльності, службова й електронна адреси, службовий і домашній номери телефонів; анотації українською, російською, англійською мовами; дискета зі статтею, анотаціями та відомостями про авторів. Обсяг електронного файла статті – не більший 1 МБ. Рисунки подаються окремими файлами. Допускається надсилання електронної копії статті, анотацій та відомостей про авторів електронною поштою

Стаття повинна бути структурована (поділена на розділи з заголовками) і відповідно до вимог ВАК України мати такі елементи (Бюл. ВАК України. – 2003. – №1. – С. 2): постановку проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття; формулювання цілей статті (постановка завдання); виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку.

Структура і форматування статті Статтю набирають в текстовому редакторі Word for Windows 98/2000/XP шрифтом Times New Roman (кегель 12) у режимі автоматичної розстановки переносів (переноси у назві статті не допускаються). Розміри полів сторінок: зліва, низу, зверху, справа – 25 мм.

Форматування окремих елементів у структурі статті: 1) індекс УДК (вирівнювання по лівому полю без абзацу, кегель 12); 2) ініціали, прізвища авторів (розміщення по правому полю, кегель 12, малі літери, напівжирний), науковий ступінь (звичайний); 3) назва статті (вирівнювання по центру без абзацу, відступ зверху 6 пт, кегель 12, великі літери, напівжирний); 4) місце роботи авторів, електронні адреси (вирівнювання по центру без абзацу, відступ зверху 6 пт, кегель 10); 5) анотація мовою основного змісту статті (вирівнювання по ширині без абзацу, відступ зверху і низу 6 пт, відступ зліва і справа 0,5 см, кегель 10, курсив); 6) текст статті з заголовками (вирівнювання по ширині, абзац 0,5 см, кегель 12); 7) список літератури (вирівнювання по ширині без абзацу, кегель 12).

Назва статті повинна бути максимально стислою (до 8 слів, 2 рядка). Ключовим словом у назві статті має бути іменник у називному відмінку.

В анотації в стислій формі викладається основний зміст статті. Обсяг анотації не повинен перевищувати 14 рядків.

Виклад матеріалу статті має бути ясным, без повторів, без дублювання в тексті даних таблиць та їхніх заголовків, рисунків та підписів до них. У статті необхідно використовувати термінологію, прийняту Державним стандартом. За науковий зміст викладеного матеріалу і термінологію відповідають автори.

Відступи заголовків розділів статті (напівжирний шрифт, кегель 12) від тексту зверху – 6 пт, низу – 3 пт.

При виборі одиниць фізичних величин слід дотримуватися Міжнародної системи одиниць (СІ).

Абревіатуру розшифровують у тексті статті, починаючи з місця, де вона вперше зустрічається.

Формули Хімічні формули набирають прямим шрифтом. Формули, на які є посилання, нумерують арабськими цифрами в круглих дужках справа. Обов'язково подають розшифровку літерних позначень величин у формулах. Для набору позначень фізичних величин використовують редактор формул Microsoft Equation: 1) змінні, латинські літери – курсив, Times New Roman; 2) функції, цифри, українські літери – прямий, Times New Roman; 3) матриці, вектори – напівжирний, прямий, Times New Roman; 4) грецькі літери, символи – прямий, Symbol; 5) розміри: звичайний 11 пт, великий індекс 7 пт, малий індекс 6 пт, великий символ 14 пт, малий символ 11 пт.

Рисунки Рисунки виконують у вигляді растрових зображень у форматах TIFF, JPG, BMP (окремий файл). Не рекомендується використання закладеної графіки Microsoft Word. Елементи зображення повинні бути якісними (300–600 dpi), чорно-білими або відтінками сірого, товщина основних і допоміжних ліній має відрізнятися у 2 рази (наприклад, товщина основної лінії 2 pt, допоміжної – 1 pt). Деталі ілюстрації нумерують арабськими цифрами (кегель 12), починаючи з цифри 1, без пропусків і повторень або за годинниковою стрілкою, або по горизонталі зліва направо, або по вертикалі зверху вниз. Написи на рисунках заміняють літерами (кегель 11), а криві на графіках позначають цифрами (кегель 12), які роз'яснюються в підписах до рисунків. Усі рисунки повинні мати підписи, які вирівнюють по лівому краю. Підписи до рисунків – кегель 10 (курсив).

Таблиці Розмір тексту таблиць – кегель 12. Усі таблиці повинні мати заголовки. Нумераційний заголовок таблиць (кегель 10) вирівнюють по правому краю таблиці, тематичний заголовок таблиці (по центру, кегель 10, курсив). Усі рисунки і таблиці повинні мати посилання в тексті і бути розташовані після них.

Список літературних джерел У списку літературних джерел (до 10 найменувань), який подається в порядку посилання, обов'язково вказують авторів, повну назву книги, том (номер, випуск), місто видання, видавництво, рік видання, загальну кількість сторінок книги, початкову і кінцеву сторінки статті (відповідно до ГОСТ 7.1-84). Якщо авторів більше п'яти, вказують перших трьох. Бібліографічні записи повинні бути пронумеровані й мати посилання на джерела в тексті статті в квадратних дужках. Посилання на неопубліковані роботи не допускаються.

Примітки Статті, що не відповідають зазначеним вимогам, не розглядаються. До статті можуть бути внесені зміни редакційного характеру без узгодження з автором.

Адреса редакції: м. Чернігів, вул. Шевченка, 95, корп. 1, кімн. 207, 14027, тел.: (04622)3-42-44

E-mail: cstuu@stu.cn.ua

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ ДЛЯ ВЕСТНИКА ЧЕРНИГОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Объём статей – 3-7 полных страниц с аннотацией, рисунками, таблицами, списком литературы (последняя страница должна быть заполнена не менее, чем на 3/4).

Статью набирают в текстовом редакторе Word for Windows 98/2000/XP шрифтом Times New Roman (кегель 12) в режиме автоматической расстановки переносов (переносы в названии статьи не допускаются). Размеры полей страниц: слева, снизу, сверху, справа – 25 мм, через единичный межстрочный интервал на белой бумаге формата А4.

Стиль УДК: шрифт Times New Roman (кегель 12), выравнивание по левому полю без абзаца, отступ снизу 6 пт.

Стиль НАЗВАНИЙ: шрифт Times New Roman (кегель 12), выравнивание по центру без абзаца, отступ сверху 6 пт, большие буквы, полужирный.

Стиль АВТОРОВ И ОРГАНИЗАЦИЙ: шрифт Times New Roman (кегель 12), размещение по левому полю, малые буквы, полужирный, научная степень (обычный). Место работы авторов (выравнивание по левому полю без абзаца, отступ сверху 6 пт, кегель 10) размещаются непосредственно после фамилии автора. Количество авторов не более 3-х. В сборнике можно размещать не более одной статьи на каждого автора.

Стиль текста: текст статьи с заголовками (выравнивание по ширине, абзац 0,5 см, кегель 12). Название статьи должно быть максимально сжатым (до 12 слов, 3 строки). В аннотации в сжатой форме излагается основное содержание статьи. Объём аннотации не должен превышать 14 строк. Изложение материала статьи должно быть ясным, без повторов, без дублирования в тексте данных таблиц и их заголовков, рисунков и подписей к ним. В статье необходимо использовать терминологию, принятую Государственным стандартом. За научное содержание материала статьи и терминологию ответственность несут авторы. Отступы заголовков разделов статьи (полужирный шрифт, кегель 12) от текста сверху – 6 пт, снизу – 3 пт. При выборе единиц физических величин следует придерживаться Международной системы единиц (СИ). Абревиатуру расшифровывают в тексте статьи, начиная с места, где она впервые встречается.

Стиль ссылок: название **Список литературных источников** (выравнивание по ширине без абзаца, кегель 12). В списке литературных источников (до 10 наименований), который формируется в порядке ссылки согласно требований к оформлению библиографического описания ВАК Украины. Библиографические записи должны быть пронумерованы и иметь ссылки на источники в тексте статьи в квадратных скобках. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Стиль рисунков: рисунки выполняют в виде растровых изображений в форматах TIFF, JPG, BMP (отдельный файл). Не рекомендуется использование заложённой графики Microsoft Word. Элементы изображения должны быть качественными (300–600 dpi), чёрно-белыми или с оттенками серого, толщина основных и вспомогательных линий должна отличаться в 2 раза (например, толщина основной линии 2 pt, вспомогательной – 1 pt). Детали иллюстрации нумеруют арабскими цифрами (кегель 12), начиная с цифры 1, без пропусков и повторов или по часовой стрелке, или по горизонтали слева направо, или по вертикали. Надписи на рисунках заменяют буквами (кегель 11), а кривые на графиках обозначают цифрами (кегель 12), которые разъясняются в подписях к рисункам. Все рисунки должны иметь подписи, которые выравнивают по левому краю. Подписи к рисункам – кегель 10 (курсив).

Стиль формул: химические формулы набирают прямым шрифтом. Формулы, на которые есть ссылки, нумеруют арабскими цифрами в круглых скобках справа. Обязательно подают расшифровку буквенных обозначений величин в формулах. Для набора обозначений физических величин используют редактор формул Microsoft Equation: 1) переменные, латинские буквы – курсив, Times New Roman; 2) функции, цифры, украинские буквы – курсив, Times New Roman; 3) матрицы, векторы – курсив, Times New Roman; 4) греческие буквы, символы – курсив, Symbol; 5) размеры: обычный 11 пт, большой индекс 7 пт, малый индекс 6 пт, большой символ 14 пт, малый символ 11 пт.

Стиль таблиц: Размер текста таблиц – кегель 12. Все таблицы должны иметь заголовки. Нумерационный заголовок таблиц (кегель 10) выравнивают по правому краю таблицы, тематический заголовок таблицы (по центру, кегель 10, курсив). Все рисунки и таблицы должны иметь ссылки в тексте и быть размещены после них.

Статья должна быть структурирована (поделена на разделы с заголовками) и в соответствии с требованиями ВАК Украины иметь такие элементы (Бюл. ВАК України. – 2003. – №1. – С. 2): постановку проблемы в общем виде и её связь с важными научными или практическими заданиями; анализ последних исследований и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение нерешённых ранее частей общей проблемы, которым посвящается статья; формулирование целей статьи или постановка задачи; изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных научных результатов; выводы (заключение).

Примечание. Статьи, не соответствующие указанным требованиям, не рассматриваются. В статью могут быть внесены изменения редакционного характера без согласования с автором. Ответственность за содержание статьи несут авторы публикации.

К статье обязательно подаются:

Печатный текст статьи с подписями авторов в одном экземпляре; рецензия доктора наук с указанием научной степени рецензента, учёного звания, должности, места работы, заверенная печатью; сведения об авторах подаются на языке написания статьи (отдельный файл и напечатанная страница): фамилия, имя, отчество, год рождения, полное название высшего учебного заведения, научная степень, учёное звание, должность, место работы (кафедра, университет – без сокращений), направление научной деятельности, служебный адрес, служебный и мобильный номера телефонов; аннотации на украинском, русском, английском языках; диск со статьёй, аннотациями и сведениями об авторах. Кроме наличия рисунков в тексте статьи, рисунки подаются отдельными файлами. Допускается пересылка электронной копии статьи, аннотаций и сведений об авторах электронной почтой. Авторы других государств могут подавать статьи на русском и английском языках.

Материалы присылать по адресу: Україна, 14027, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95, корп. 1, кімн. 242.

E-mail: csttu@stu.cn.ua. **Телефон для справок:** (04622)3-42-44

REQUIREMENTS TO SHAPING OF ARTICLES FOR THE JOURNAL OF THE CHERNIGOV STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY

Volume of articles - 5-10 full pages with the summary, illustrations, tables, the literature list (last page should be filled not less, than on 3/4).

Article compose in text editor Word for Windows 98/2000/XP font Times New Roman (type size 12) in a mode of automatic arrangement of carryings over (carryings over to article name are not supposed). The sizes of fields of pages: at the left, from below, from above, on the right - 25 mm, through an individual line spacing on a white paper of format A4.

Style of UDC: font Times New Roman (type size 12), alignment on the left field without the paragraph, a space from below 6 pt.

Style of the NAME: font Times New Roman (type size 12), alignment on the centre without the paragraph, a space from above 6 pt, the big letters, semiboldface.

Style of AUTHORS And the ORGANIZATIONS: font Times New Roman (type size 12), placing on the left field, small letters, semiboldface), scientific degree (usual). A place of work of authors (alignment on the left field without the paragraph, a space from above 6 pt, type size 10) take places directly after a surname of the author. Quantity of authors no more than 4.

Style of the text: the text of article with headings (alignment on width, paragraph 0,5sm, type size 12). Article name should be as much as possible compressed (to 12 words, 3 lines). In the summary in the compressed form the basic maintenance of article is stated. The summary volume should not exceed 14 lines. The statement of a material of article should be clear, without repetitions, without duplication in the text of the given tables and their headings, drawings and signatures to them. In article it is necessary to use the terminology accepted in State standard. For the scientific maintenance of a material of article and terminology responsibility is born by authors. Spaces of headings of sections of article (a semiboldface font, type size 12) from the text from above-6 pt, from below-3 pt. At choice units of physical sizes it is necessary to adhere to International system of units (CI). Abbreviation decipher in article text, since a place where it meets for the first time.

Style of references: the name The list of literature sources (alignment on width without the paragraph, type size 12). In the list of literature sources (to 10 names) which is formed as the reference it agree requirements to registration of bibliographic description BAK of Ukraine. Bibliographic records should be numbered and have references to sources in article text in brackets. References to the neopublished works are not supposed.

Style of illustrations: illustrations carry out in the form of raster images in formats TIFF, JPG, BMP (a separate file). Use of put in pawn drawing Microsoft Word is not recommended. Image elements should be qualitative (300-600 dpi), black-and-white or with shades grey, the thickness of the basic and auxiliary lines should differ in 2 times (for example, a thickness of the basic line 2 pt, auxiliary - 1 pt). Illustration details number in the Arabian figures (type size 12), since figure 1, without admissions and repetitions either clockwise, or across from left to right, or on a vertical. Inscriptions in illustrations replace with letters (type size 11), and curves on schedules designate in figures (type size 12) which are explained in signatures to illustrations. All illustrations should have signatures which level by a left edge. Signatures to illustrations - type size 10 (italics).

Style of formulas: chemical formulas compose a direct font. Formulas on which there are references, number in the Arabian figures in parentheses on the right. Necessarily submit decoding of letter designations of sizes in formulas. For a set of designations of physical sizes use the editor of formulas Microsoft Equation: 1) variable, Latin letters - italics, Times New Roman; 2) functions, figures, the Ukrainian letters - italics, Times New Roman; 3) matrixes, vectors - italics, Times New Roman; 4) the Greek letters, symbols - italics, Symbol; 5) the sizes: usual 11 pt, the big index 7 pt, a small index 6 pt, the big symbol 14 pt, a small symbol 11 pt.

Style of tables: the size of the text of tables - type size 12. All tables should have headings. Numerical heading of tables (type size 10) level by a table right edge, thematic heading of the table (on the centre, type size 10, italics). All illustrations and tables should have references in the text and to be placed after them.

Article should be structured (is divided into sections with headings) and according to requirements BAK of Ukraine to have such elements (Бюл. ВАК України. - 2003. - №1. - С. 2): problem statement in a general view and its communication with the important scientific or practical tasks; the analysis of last researches and publications in which there is begun the decision of the given problem and against which the author leans, allocation unresolved before parts of the general problem which article is devoted; a formulation of the purposes of article or problem statement; a statement of the basic material of research with a full substantiation of the received scientific results; conclusions (conclusion).

The note. Articles mismatching specified requirements, are not considered. Changes of editorial character can be made to article without the coordination with the author. Article maintenance responsibility is born by authors of the publication.

To article necessarily give:

The printing text of article with signatures of authors in one copy; the review of the doctor of sciences with indication of scientific degree of the reviewer, an academic status, a post, the work place, assured by the press; data on authors move in language of a writing of article (a separate file and the printed page): a surname, a name, a patronymic, year of the birth, the full name of a higher educational institution, scientific degree, an academic status, a post, a work place (chair, university - without reductions), a direction of scientific activity, the office address, office and mobile phone numbers, E-mail; summaries in the Ukrainian, Russian, English languages; a disk with article, summaries and data on authors. Except presence of illustrations in article text, illustrations give separate files. Transfer of an electronic copy of article, summaries and data on authors is supposed by e-mail. Authors of other states can submit articles in Russian and English languages.

Materials to send to the address: Ukraine, 14027, Chtrnigov, Shevchenko str., 95, build. 1, r. 242.

E-mail: csttu@stu.cn.ua. **Phone for inquiries:** +38(04622)3-42-44

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

В І С Н И К
ЧЕРНІГІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО
ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

СЕРІЯ «ТЕХНІЧНІ НАУКИ»

№ 45

Головний редактор: В.В. Казимир
Відповідальний за випуск: О.І. Пилипенко
Комп'ютерний макет: С.В. Бойко

Підписано до друку 25.10.2010 р. Формат 60х90/16. Папір типовий. Друк офсетний.
Гарнітура Times New Roman. Умов. друк. арк. – 31,85. Обл. – вид. арк. – 27,86.
Тираж 300 прим. Замовлення № 1422

Підрозділ оперативного друку Чернігівського центру науково-технічної і економічної інформації (свідectво про реєстрацію у Державному реєстрі видавців України серія ДК № 225 від 20.10.2000 р.) 14000, м. Чернігів, вул. П'ятницька, 39