МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ,
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ



В І С Н И К

ЧЕРНІГІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

СЕРІЯ «ТЕХНІЧНІ НАУКИ»

№ 2(49)

Чернігів 2011

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України

УДК 62/69+004
30/35
В 53

Друкується за рішенням вченої ради університету (протокол № 3 від 28.03.2011 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:
Андренко П.М., доктор технічних наук;
Бурачек В.Г., доктор технічних наук;
Денисов Ю.О., доктор технічних наук;
Дубенець В.Г., доктор технічних наук;
Жуйков В.Я., доктор технічних наук;
Іванова І.М., доктор технічних наук;
Нікітенко Ю.Г., доктор технічних наук;
Параска Г.Б., доктор технічних наук;
Сахно Ю.О., доктор технічних наук;
Сиза О.І., доктор технічних наук.

В 2(49) Вісник Чернігівського Державного технологічного університету.
Збірник. – Чернігів: ЧДТУ, 2011. – № 2(49). – 272с.

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

© Вісник Чернігівського державного технологічного університету, 2011

Зміст

РОЗДІЛ І. МЕХАНІКА **6**

1 **Грицюк В.Ю.** **6**
ДИНАМІЧНІ ЛІНІЇ ВПЛИВУ ДЛЯ ФЕРМ

2 **Максименко В.А.** **10**
АНАЛИТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

3 **Пилипенко О.І**. **15**
ТЕПЛОВІ ЕФЕКТИ В ПОЛІМЕРНИХ ДЕТАЛЯХ МАШИН

4 **Черников Б.И.** **27**
ГРАФИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОТРАЖЕНИЯ В ЗАМКНУТОЙ ОБЛАСТИ

5 **Заяць В.В.** **32**
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ У РОТОРНИХ ДИСКОВИХ ПОДРІБНЮВАЧАХ

РОЗДІЛ ІІ. ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ І АВТОТРАНСПОРТУ **42**

6 **Федориненко Д.Ю.** **42**
СТІЙКІСТЬ НЕЛІНІЙНОЇ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТОЧНІСТЮ ОБЕРТАННЯ ШПИНДЕЛЯ НА ГІДРОСТАТИЧНИХ ОПОРАХ

7 **Ярута О. М.**, **Ярута В О.**, **Білоконь І. І.** **50**
СИЛА ВІДРИВУ МАГНІТУ ВІД ДЕТАЛІ ЯК ХАРАКТЕРИСТИКА ОБРОБЛЮВАНОСТІ ДЕТАЛІ З АУСТЕНІТНОГО НІКЕЛЬ-МАРГАНЦЕВОГО ЧАВУНУ

8 **Венжега В.И.** **54**
ОЦЕНКА ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА ДВУСТОРОННИХ ТОРЦЕШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКАХ

9 **Клочко А.А.** **58**
ТЕХНОЛОГИЯ ЧИСТОВОЙ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКИ КРУПНОМОДУЛЬНЫХ ЗАКАЛЕННЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

10 **Крамарь В.А.** **69**
ЧАСТОТНЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ УСТОЙЧИВОСТИ МНОГОМЕРНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В ФОРМЕ СИСТЕМЫ С ЕДИНИЧНОЙ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

11 **Гречка І.П.** **74**
ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ГІДРОАГРЕГАТУ ВЕРСТАТА ДЛЯ НАМОТУВАННЯ ОБМОТОК ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

12 **Єрошенко А.М.** **79**
ПРОБЛЕМА КОМПЕТЕНТНОСТІ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СУЧАСНОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

13 **Кальченко В.І.** , **Кальченко В.В.** , **Кологойда А.В.** **84**
ВИЗНАЧЕННЯ СИЛ РІЗАННЯ ПРИ ЗАТОЧЦІ ГОЛЧАСТОЇ ПОВЕРХНІ БАРАБАНІВ ТЕКСТИЛЬНИХ МАШИН ЗІ СХРЕЩЕНИМИ ОСЯМИ ІНСТРУМЕНТА І ДЕТАЛІ

14 **Погиба Н.М, Пасов Г.В.** **89**
КОМП'ЮТЕРНА ОБРОБКА ПОМИЛКОВИХ ДОСЛІДІВ

15 **Андренко П.М.**, **Лебедєв А.Ю.** **98**
ПОЛІПШЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБ'ЄМНИХ ГІДРОАГРЕГАТІВ

16 **Фалалеев А. П.** **102**
ОПТИМАЛЬНОЕ ТОРМОЖЕНИЕ ПАССАЖИРА ПРИ ФРОНТАЛЬНОМ СТОЛКНОВЕНИИ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

РОЗДІЛ ІІІ. ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ **108**

17 **Головко В.В.**, **Костін В.А.**, **Алексеєнко І.І.**, **Прибитько І.О.** **108**
ВПЛИВ СТРУКТУРНОГО ЗМІЦНЕННЯ НА ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛУ ЗВАРНИХ ШВІВ НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

РОЗДІЛ IV. МЕХАНОХІМІЯ **117**

18 **Сиза О.І., Міщенко М.В.** **117**
КОРОЗІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ СВИНЦЮ У КИСЛОТНИХ ЕЛЕКТРОЛІТАХ

19 **Савченко О.М.**, **Завальна І.В., Наливайко Ю.М.**, **Гриценок Н.О.** **122**
ЗАХИСТ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ ВІД КОРОЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВ

20 **Челябиева В. Н., Гуменюк О. Л., Бондарь Е. С., Приходько С.В.** **129**
ПРОТИВОКОРРОЗИОННЫЕ СВОЙСТВА НЕКОТОРЫХ ФАРМАКОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ

РОЗДІЛ V. ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ ТА ЕЛЕКТРОПРИВОД **136**

21 **Пентегов И.В.**, **Приступа А.Л.**, **Мирошниченко Л.Н.**, **Богуславский Л.З.** **136**
О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕСЛОВСКИХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

22 **Красножон О.В., Іванець С.А., Ульченко Д.О.** **142**
НЕЙРОНЕЧІТКА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ЕЛЕКТРОДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

23 **Заровський Р.В.**, **Велігорський О.А.**, **Хоменко М.А.** **149**
МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ З НЕЧІТКИМ РЕГУЛЯТОРОМ, НАСТРОЄНИМ З УРАХУВАННЯМ ЗБУРЕНЬ

24 **Велігорський О.А., Заровський Р.В., Валевач Ю.М.** **156**
ОЦІНКА ВПЛИВУ АВТОНОМНИХ ІНВЕРТОРІВ НАПРУГИ НА МЕРЕЖУ ЖИВЛЕННЯ

Розділ VI. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ **164**

25 **Акименко А.М.** **164**
ВИКОРИСТАННЯ UML ПІД ЧАС ПРОЕКТУВАННЯ СКЛАДНИХ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ

26 **Зайцев С.В.**, **Кувшинов О.В.**, **Восколович О.І.** **170**
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ІТЕРАТИВНОЇ ОЦІНКИ ДИСПЕРСІЇ ЗАВАД ДЛЯ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ З ТЕХНОЛОГІЄЮ *MIMO*

27 **Кувшинов О. В.**, **Зайцев С.В.** **177**
МЕТОД РОЗПОДІЛУ ПОТУЖНОСТІ СИГНАЛУ З OFDM В СИСТЕМАХ РАДІОЗВ'ЯЗКУ

28 **Сорокин А.Ю.** **184**
АРХИТЕКТУРА ФОРМИРОВАТЕЛЯ МОДУЛИРОВАННОГО РАДИОСИГНАЛА С БОЛЬШОЙ БАЗОЙ

29 **Кондратенко М.В.**, **Хижняк А.В.** **191**
СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ РАБОТЫ ОТДЕЛА ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

30 **Нестеренко С.О.** **198**
ОБХІД СПЕЦІАЛЬНИХ СТРУКТУР ДАНИХ З ДОПОМОГОЮ ЦИРКУЛЯТОРІВ

31 **Деркач І.С., Нестеренко С.О.** **203**
МОДИФІКАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ФРАКТАЛЬНОГО СТИСКАННЯ РАСТРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

32 **Стельмашенко А.О., Лукін О.В.** **211**
АРХІТЕКТУРА ПЛАТФОРМИ ПРОГРАМНО-АПАРАТНОЇ IP-ФІЛЬТРАЦІЇ

33 **Дячок О.П.**, **Лукін О.В.** **217**
ДЕТЕКТОР АНОМАЛЬНОЇ ПОВЕДІНКИ МЕРЕЖНИХ АВТОМАТНИХ ПРОТОКОЛІВ

34 **Зинченко А.Л., Коненко А.П.** **226**
МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ ПРИ ПРОТОТИПИРОВАНИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

35 **Грицай Д.Д.**, **Роговенко А.І.** **234**
ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ КОМП`ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ТЕСТУВАННЯ ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЇВ НА БАЗІ SOFT-ПРОЦЕСОРІВ

РОЗДІЛ VII. ТЕХНОЛОГІЇ ЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА **240**

36 **Зацерковний В. І., Кривоберець С. В., Сімакін Ю. С.** **240**
МЕТОДИКА СТВОРЕННЯ ЕТАЛОННИХ МОДЕЛЕЙ ПРОСТОРОВИХ ОБ'ЄКТІВ ГІС ЗА ДОПОМОГОЮ ОРТОГОНАЛІЗУЮЧОГО ФУНКЦІОНАЛУ

37 **Ковальов О.В., Сємака О.М., Шевченко О.О., Іванова І.М.** **247**
МОЖЛИВІ ПІДХОДИ ДО ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ЕФЕКТИВНОЇ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД (СВ) З МЕТОЮ ЗБЕРЕЖЕННЯ ДОВКІЛЛЯ

АНОТАЦІЇ **252**

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ **269**

МЕХАНІКА

УДК 539.3:539.4

В.Ю. Грицюк, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ДИНАМІЧНІ ЛІНІЇ ВПЛИВУ ДЛЯ ФЕРМ

В інженерній практиці для розрахунку ферм на рухоме навантаження звичайно застосовують статичні лінії впливу. У даній роботі для конкретного реального випадку побудовані динамічні лінії впливу з метою оцінювання впливу динамічного ефекту.

Вступ

У роботі [1] розглядалися динамічні лінії впливу для балок. Дана робота присвячена побудові динамічних ліній впливу для ферм. Таким чином ця робота є узагальненням роботи [1].

Математична модель

Дослідження виконуються на реальній фермі, розрахункова схема якої наведена на рисунку 1. Усі стержні ферми виготовлені з двох рівнобічних сталевих стандартних прокатних кутників. Площа поперечного перерізу стержнів верхнього поясу дорівнює 42,6 см^2, нижнього поясу – 30,2 см^2, зовнішніх (опорних) стержнів обрешітки (стержні 1-2 і 12-13) – 38,4 см^2, внутрішніх стержнів обрешітки – 23,0 см^2. Нижнім поясом ферми рухається із швидкістю 100 м/с вертикальна сила, величина якої дорівнює 100 кН, сила спрямована униз.

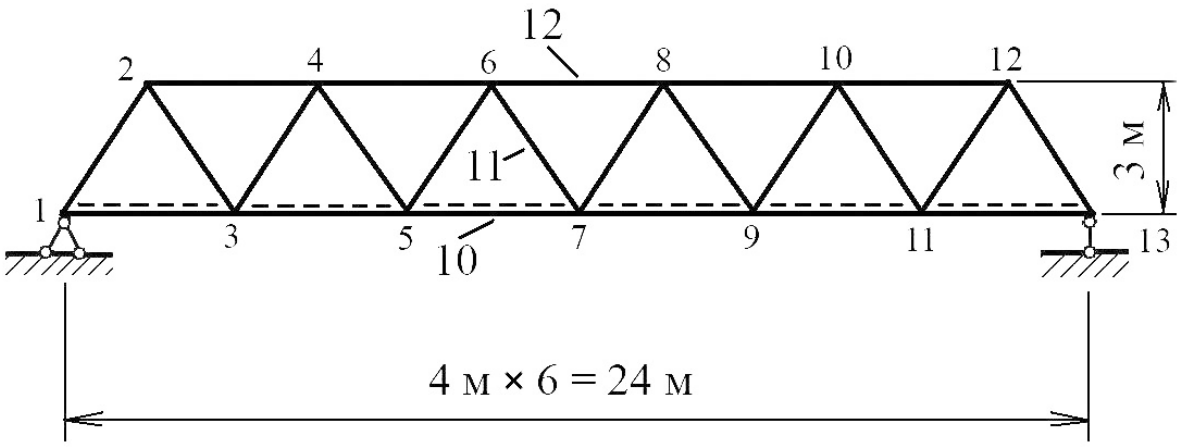


Рис. 1. Розрахункова схема ферми

У роботі [1] балка моделювалася як система з розподіленими параметрами. Ферма є більш складною системою. Тому вона моделювалася методом скінченних елементів.

Приймаємо, що стержні у вузлах з'єднуються шарнірно. Таким чином, у стержнях ферми враховуються тільки подовжні сили. Кожний стержень вважається скінченним елементом. Скінченноелементна модель наведеної ферми складається з 23 елементів, кількість вузлів 13, кількість невідомих лінійних переміщень дорівнює 23. Враховувалися усі 23 форми коливань. Якщо сила знаходиться між вузлами, то її дія замінюється

еквівалентними вузловими навантаженнями. Це звичайний інженерний прийом моделювання ферми.

Можна розробити більш складну розрахункову схему, не вважаючи з'єднання стержнів шарнірним і розділяючи стержні ферми на декілька скінченних елементів. Але у даній роботі таке моделювання не застосовувалося.

Реалізація задачі

Задача реалізується чисельно на послідовних малих кроках часу τ (у даному прикладі $\tau = 0{,}001$ с, від вузла до вузла сила проходить за 40 кроків). Існують різні крокові алгоритми чисельної реалізації задачі. У даній роботі застосовувався метод Ньюмарка [2]. Прямі методи інтегрування рівнянь руху дуже трудомісткі, тому застосовувалося розкладання коливань ферми за власними формами. Розсіяння енергії у фермі враховувалося за моделлю пропорційного демпфірування Релея [2]. Для першої і десятої форм для коефіцієнтів розсіяння енергії прийнято значення 0,1.

Результати розрахунку

Результати розрахунку наведені на рисунку 2.

На горизонтальних осях графіків відкладалася кількість кроків n. Вертикальними переривчастими прямими відзначена мить сходу сили з ферми. Точками відзначені результати статичних розрахунків відповідних параметрів.

На рисунку 2,а наведена лінія впливу вертикального переміщення вузла 7 (переміщення середини ферми). Додатні значення – униз.

а)

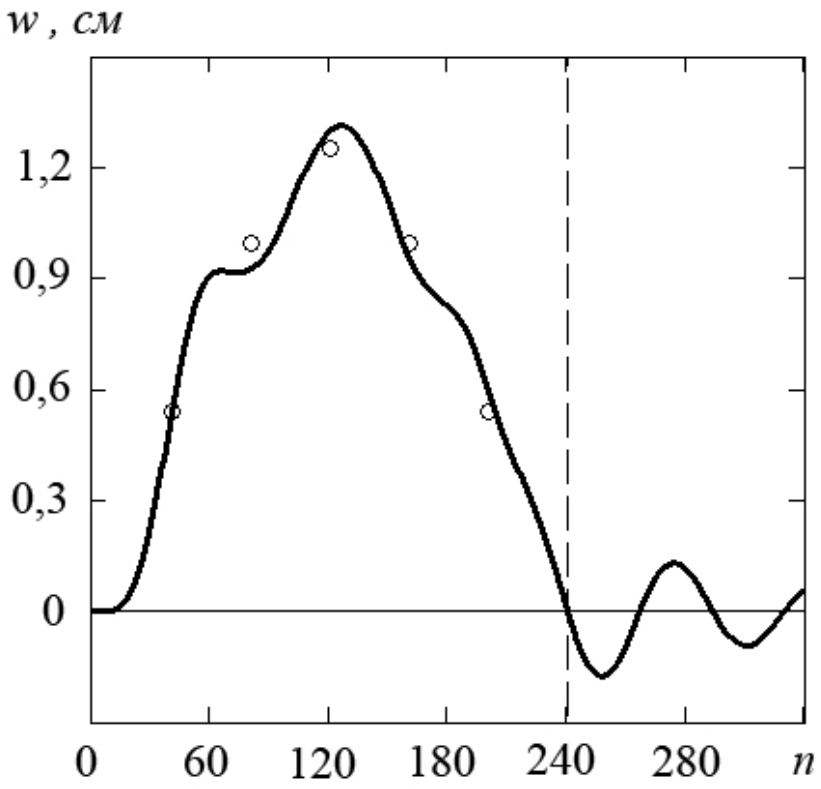
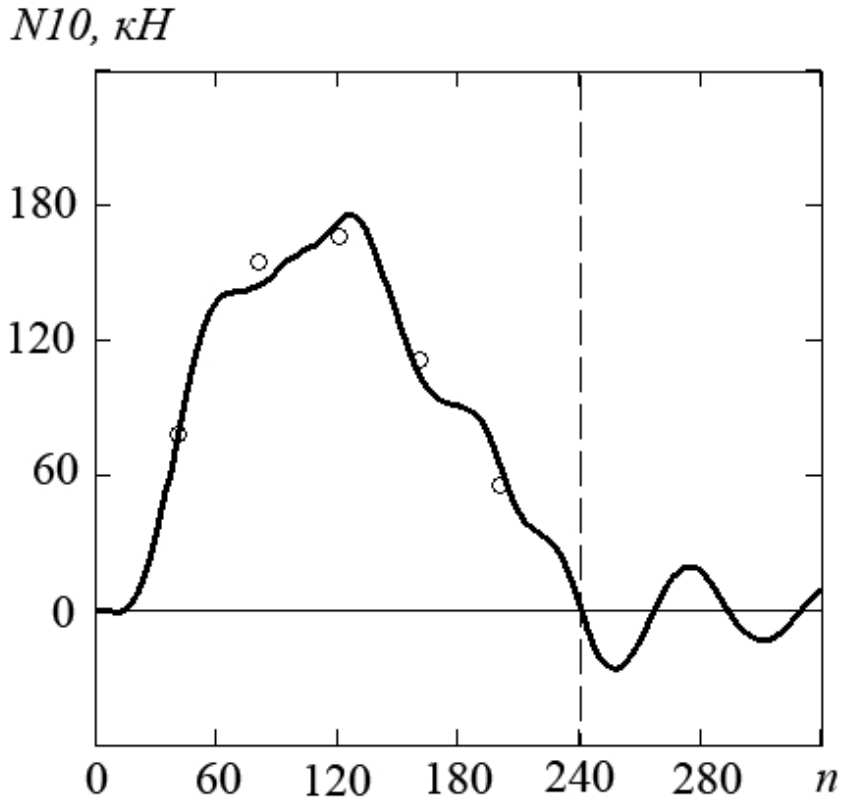


Рис. 2, аркуш 1. Результати розрахунку

б)



в)

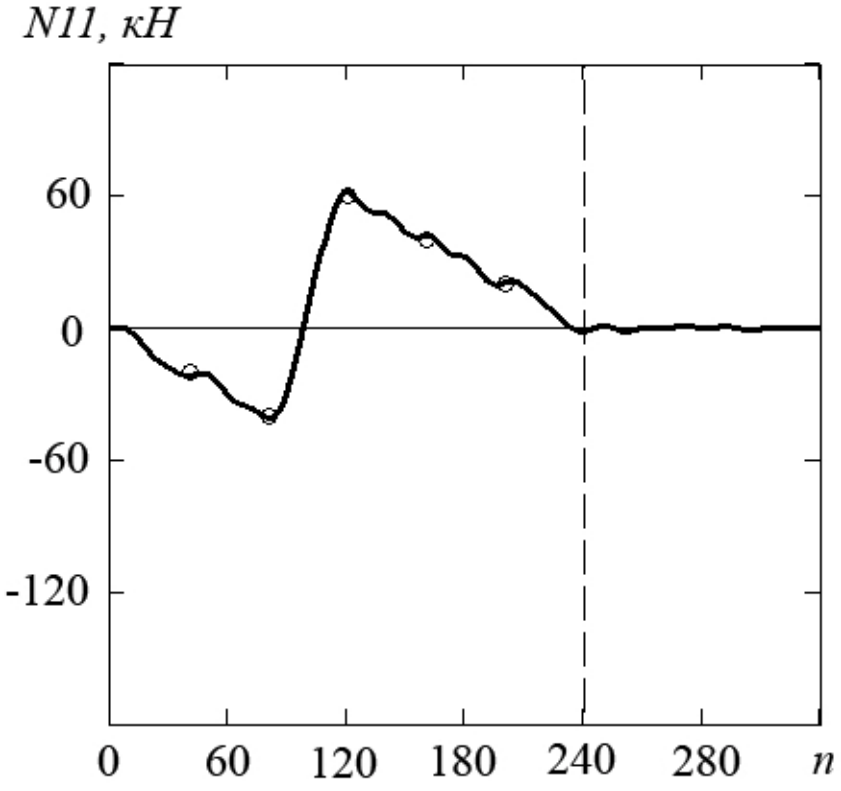


Рис. 2, аркуш 2. Результати розрахунку

г)

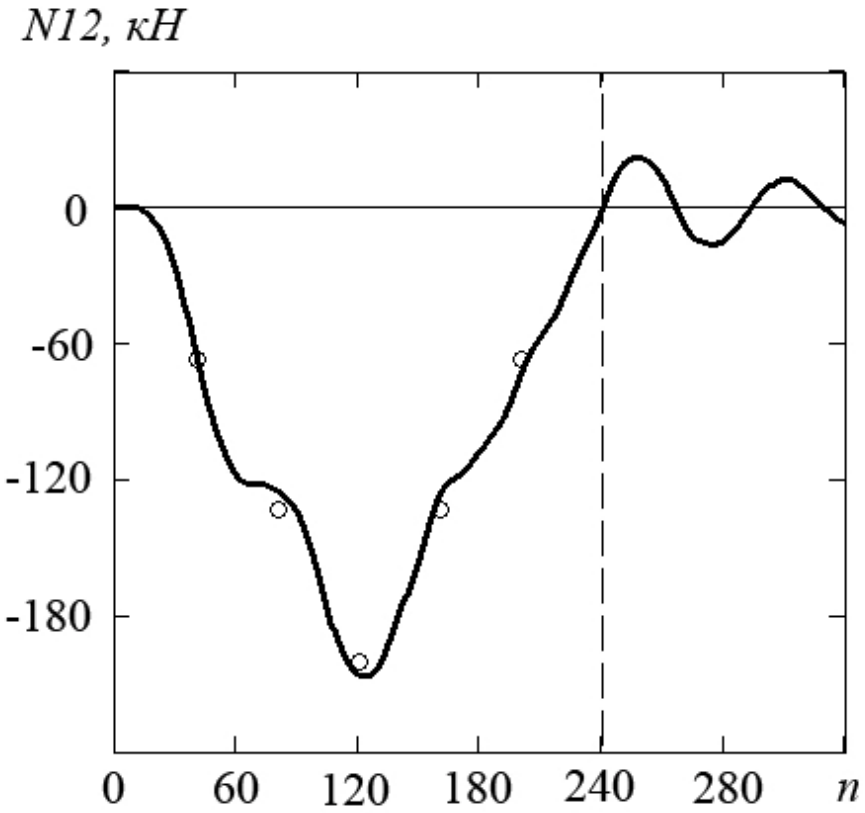


Рис. 2, аркуш 3

На рисунку 2,б – лінія впливу зусилля в елементі 10 (стержень 5-7), на рисунку 2,в – лінія впливу зусилля в елементі 11 (стержень 6-7), на рисунку 2,г – лінія впливу зусилля в елементі 12 (стержень 6-8). Додатні значення відповідають розтягу, від'ємні – стиску.

Висновки

Виявлено, що при великих швидкостях руху сили по фермі вплив динамічних факторів стає помітнім. Це якісна картина. Але навіть при великих швидкостях кількісно видно, що для ферм можна застосовувати статичні лінії впливу. Це можна пояснити тим, що ферми є досить легкими (мало інерційними) конструкціями.

Список літературних джерел

1. Грицюк В.Ю. Про динамічні лінії впливу. // Вісн. Чернігівського держ. техн. ун-ту, 2001. – № 13. С. 29-31.
2. Бате К., Вилсон Е. Численные методы анализа и метод конечных элементов. – М.: Стройиздат, 1982. – 448 с.

УДК 621.01
В.А.Максименко, канд. техн. наук

Черниговский государственный технологический университет, г. Чернигов, Украина

АНАЛИТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Предлагается метод анализа технического объекта, предполагающий взаимное отображение его системных особенностей и механико-геометрических характеристик в ходе рассмотрения имеющихся структурных особенностей с точки зрения получения связи параметров абстрактной модели с физическими закономерностями.

Постановка проблемы

В ходе развития промышленности сложилась ситуация, в которой, исходя из практических соображений, все вопросы, связанные с планированием, производством и эксплуатацией, решались отдельно в рамках каждой отрасли. Вследствие этого возникли обособленные друг от друга сферы знаний и профессий, в которых всякое специализированное обучение должно было дополняться многолетним опытом. Причина этого заключалась в отсутствии теоретической модели, позволяющей проводить анализ создаваемых технических систем с точки зрения прикладного использования и, как следствие, наличие нестыковок описания сущности новых разработок с физической стороной системы сбора и классификации информации.

Анализ публикаций

В настоящее время существует несколько разрозненных стратегий поиска обобщающих факторов с целью построения системной теории [1], которые можно кратко сформулировать следующим образом. Нахождение закономерностей, справедливых для всех объектов техники, что способствует перенесению профессионального опыта из одной области в другие благодаря возможности переноса системных категорий. Объединение всех объектов техники в классы, что позволяет разработать подход к инженерной деятельности, не связанный с конкретным объектом техники и применимый во всех специализированных областях, изучать и разрабатывать методы конструирования технических систем вообще и систем определенного класса в частности. Работа с абстрактными понятиями побуждает инженеров применять научные методы там, где силы воображения или опыта недостаточно, что создает условия для отбрасывания устаревших шаблонов. Теория технических систем позволяет трактовать любую техническую проблему целостно, с позиций системного подхода, что является предпосылкой эффективного конструирования и успешного выполнения инженерных работ. Использование математического аппарата позволяет облегчить формализацию многих операций в процессе конструирования, для автоматизации расчетов применяется построение алгоритмов логических операций. Формирование классов технических систем, основанных на аналогичности соотношений, дает инженерам базу для выявления максимального количества способов реализации определенной функции или соотношения, тем самым создавая предпосылки для выбора наилучшего решения из возможных.

Обобщая вышесказанное, в подходе к проблеме анализа технической системы возможны два пути. Первый состоит в перечислении всех элементов, входящих в состав машины. Второй заключается в поиске обобщающего выражения или термина, то есть изучении системного свойства. Таким образом, целесообразным является выявление и сопоставление внутрисистемной структуризации с общетехническими особенностями рассмотрения элементного состава.

Изложение исследований

В качестве опорного объекта возьмем типовую техническую систему (рис. 1), широко распространенную в машиностроении – редуктор [2]. Несмотря на огромное разно-

образие, технические системы обладают рядом качеств, свойств и структурных особенностей, объединенных едиными признаками, по которым будет рассмотрена принятая система.

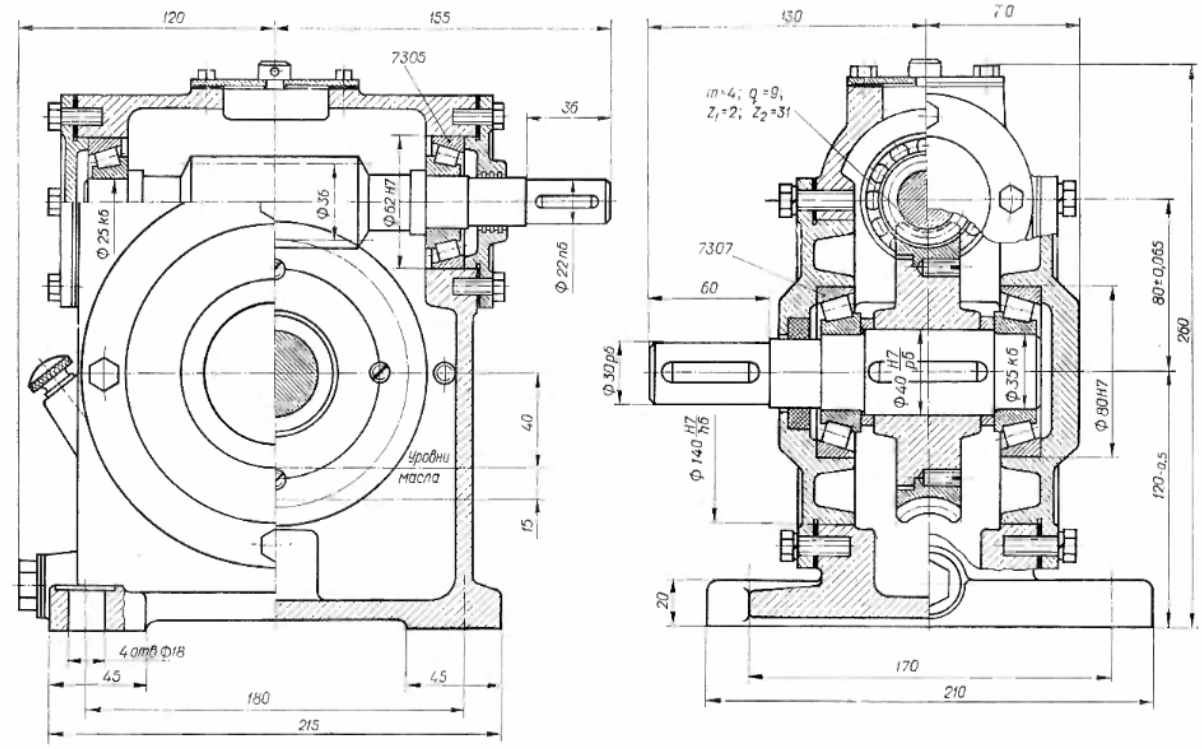


Рис. 1. Редуктор червячный

Функциональность – способность системы проявлять свое свойство (качество) по преобразованию входных параметров в требуемую форму или величину. Иначе говоря, этот признак отвечает на вопрос "что делает система" и конкретизируется в данном случае формулировкой: устройство, состоящее из передачи зацеплением, предназначенное для уменьшения частоты вращения и повышения крутящего момента.

Структура – множество элементов и связей между ними, которые определяются назначением системы. Структура остается неизменной в процессе функционирования, то есть изменения состояния, поведения, совершения операций и любых других действий. Главное в структуре – элементы, связи, неизменность во времени. Применительно к имеющейся системе, получаем: элементы – корпус, крышки, червяк, вал, колесо, подшипники, шпонки, винты, шайбы; связи – червячное зацепление, резьбовые соединения, посадки деталей различных типов; неизменность взаимосвязи во времени определяется передаточным числом $u = z_2 / z_1$. Графически структура может быть представлена развернуто – чертежом (рис. 1), либо упрощенно – кинематической (рис. 2) либо расчетной (рис. 3) схемами. Одной из важнейших характеристик системы являются ее входные и выходные параметры, непосредственно задаваемые функциональностью системы. В контексте выбранного примера это крутящие моменты T_1, T_2 и угловые скорости вращения ω_1, ω_2 на входе и выходе соответственно, связанные передаточным числом: $\omega_2 = \omega_1 / u$; $T_2 = T_1 \cdot u$ (коэффициент полезного действия системы условно принят равным единице). Причем при изучении имеющейся системы крутящий момент можно приближенно связать с физическими характеристиками при помощи прочностной зависимости при кручении $T = [\tau] \cdot \pi \cdot d^3 / 16$ (где d – диаметр выходного конца вала; $[\tau]$ – допускаемое напряжение материала при кручении), а частота вращения является параметром надсистемы и в изолированном рассмотрении может быть назначена лишь при-

ближенно.

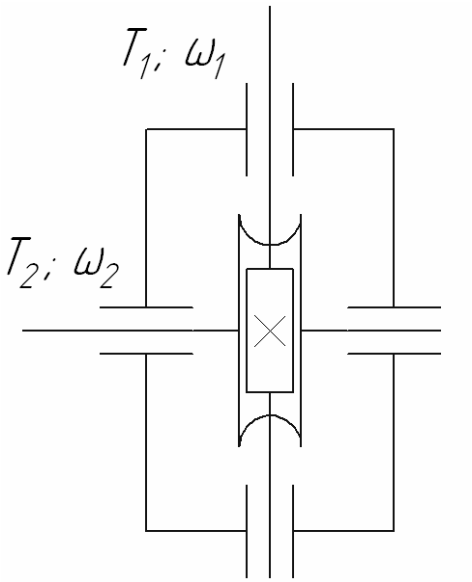


Рис. 2. Схема кинематическая

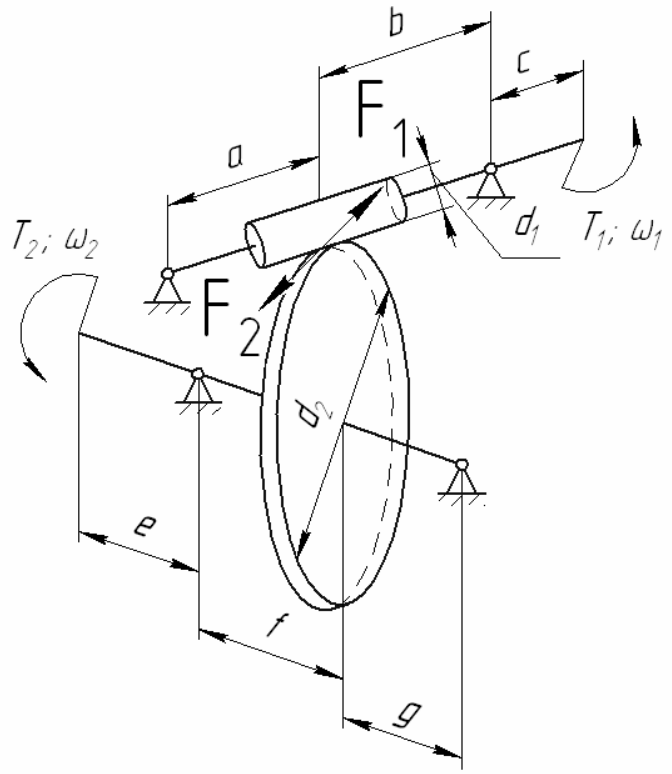


Рис. 3. Схема расчетная

Организация технической системы – это алгоритм совместного функционирования элементов системы, появляющийся одновременно со структурой. Организация возникает, когда между элементами появляются объективно закономерные, согласованные, устойчивые во времени связи; при этом одни качества элементов выдвигаются на первый план, усиливаются, а другие ограничиваются. Полезные свойства трансформируются в функции – действия, поведение.

Главное условие возникновения организации – связи между элементами системы (или их свойствами) должны превышать по силе (мощности) связи с несистемными элементами. Связь – это отношение между элементами системы, реальный физический канал для передачи энергии, вещества, информации. К факторам, разрушающим организацию, относятся три группы вредных воздействий:

– внешние (надсистема, природа, человек), разрушающие связи, если их мощность превышает мощность внутрисистемных связей; в контексте рассматриваемого примера действие этих факторов конкретизируется прочностными зависимостями;

– внутренние, выражающиеся в форсировании либо случайном взаимоусилении вредных свойств; эти факторы изначально есть в системе, но с течением времени их действие может усиливаться (трещины в материале, повышенные внутренние напряжения в сварных швах);

– энтропийные, проявляющиеся в саморазрушении элементов из-за конечности срока жизни; для рассматриваемой системы это износ частей (вынос из системы части вещества), перерождение связей (усталостные разрушения, коррозия материала).

Проанализируем первую и третью группу вредных воздействий в приложении к технической системе “редуктор” (вторая группа носит непрогнозируемый характер и проявляется вследствие ошибок и недочетов на разных стадиях формирования технической системы, поэтому должна рассматриваться в контексте ее окружения, что выводит ее в отдельный этап изучения). Оценка влияния имеющихся воздействий сводится к предотвращению разрушения системы, которое может быть полностью прогнозируемым –

статические условия прочности, характеризующие внешние факторы, либо вероятностным – условия выносливости (усталостной прочности), относящиеся к энтропийным факторам.

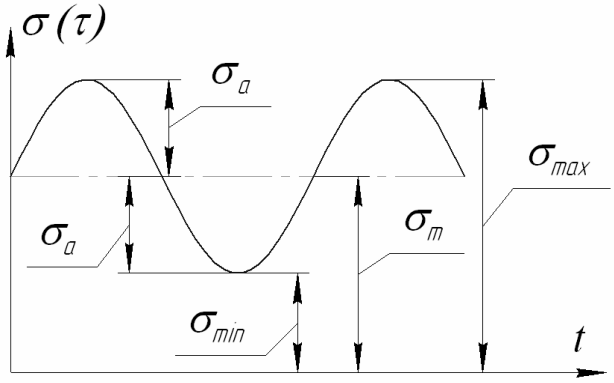
Сутью условий статической прочности является сравнение расчетных напряжений, возникающих в детали при действии внешних нагрузок, с допустимыми напряжениями для материала деталей. В общем виде эти условия записываются соотношениями $\sigma \le [\sigma]$ и $\tau \le [\tau]$, где σ, τ – расчетные (действующие) нормальное и касательное напряжения; $[\sigma]$, $[\tau]$ – допустимые нормальное и касательное напряжения. В случае простого нагружения (наличия только одного из видов напряжений) эти условия конкретизируются: $\sigma_P = F/A \le [\sigma]_P$ (при осевом растяжении/сжатии), $\tau = T/W_\rho \le [\tau]$ (при кручении) или $\sigma = M/W_O \le [\sigma]$ (при изгибе). В случае сложного нагружения (наличии нескольких видов напряжений) расчет производится по эквивалентным напряжениям: $\sigma_E = \sqrt{(\sigma + \sigma_P)^2 + 3 \cdot \tau^2} \le [\sigma]_E$, причем σ_P учитывается только если его значение имеет тот же порядок, что и остальные компоненты. Допустимые напряжения рассчитываются по формулам: $[\sigma] = \sigma_{\lim}/[s]_\sigma$ и $[\tau] = \tau_{\lim}/[s]_\tau$, где $\sigma_{\lim}$, $\tau_{\lim}$ – лимитирующие граничные напряжения, в качестве которых принимают σ_B – предел прочности или σ_T – предел текучести, табличные свойства материала; значения касательных напряжений получают из нормальных напряжений: $\tau_B \cong 0{,}7 \cdot \sigma_B$, $\tau_T \cong 0{,}7 \cdot \sigma_T$; коэффициенты запаса $[s]_\sigma$, $[s]_\tau$ принимают при расчете по $\sigma_{\lim} = \sigma_B$ равным $2{,}5 \ldots 3$, а в случае $\sigma_{\lim} = \sigma_T$ равным $1{,}3 \ldots 1{,}5$.

Условие выносливости определяет способность элемента системы сопротивляться разрушению при действии переменных во времени напряжений:

$$n = \frac{n_\sigma \cdot n_\tau}{\sqrt{n_\sigma^2 + n_\tau^2}} \ge [n]$$

где n_σ, n_τ – коэффициенты запаса прочности по нормальным и касательным напряжениям; n – общий коэффициент запаса; $[n] = 1{,}5 \ldots 2$ – допустимый коэффициент запаса.

Основные характеристики переменных механических напряжений ([3]) следующие (рис. 4). Наиболее распространены симметричный (рис. 5) и пульсирующий (рис.6) циклы изменения напряжений.



σ_a – амплитудное значение;
σ_m – среднее значение;
$\sigma_{\max}$ ($\sigma_{\min}$) – максимальное (минимальное) значения напряжений цикла

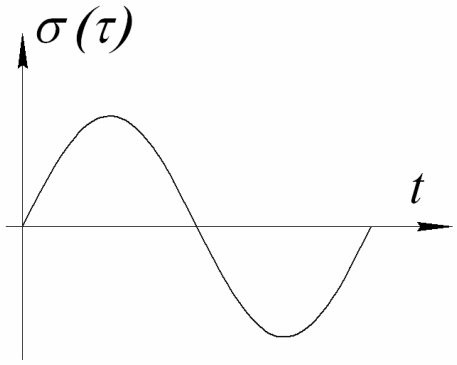
Рис. 4. Характеристики переменных напряжений

Напряжения такого рода возникают в следующих ситуациях:

– при наличии постоянного по модулю и направлению силового фактора, действующего на движущийся элемент (радиальное усилие в зубчатом зацеплении вызывает симметричный цикл напряжений в материале вращающегося вала;

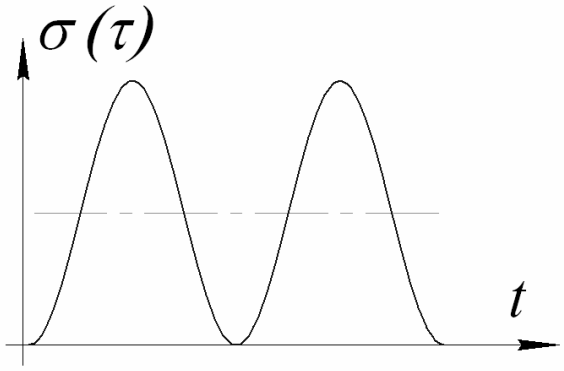
– при наличии переменного по модулю силового фактора (крутящий момент на валу принимают изменяющимся по пульсирующему циклу, соответственно нагрузке, дейст-

вующей на систему).



$\sigma_a = \sigma_{\max} = \sigma\ ;\ \sigma_m = 0$

Рис. 5. Симметричный цикл



$\sigma_m = \sigma_a = 0{,}5 \cdot \sigma_m = 0{,}5 \cdot \sigma$

Рис. 6. Пульсирующий цикл

Системный эффект (качество) – системная прибавка, непропорционально большое усиление (уменьшение) свойств, имеющихся у элементов; появление нового свойства, которого не было ни у одного из элементов до включения в систему.

Все элементы в системе и система в целом обладают рядом свойств:

– структурно-вещественные, то есть свойства вещества, определяемые его составом, видом компонентов, физическими особенностями;

– структурно-полевые, выражающиеся в таких качествах как масса, прочность, цвет;

– функциональные, проявляющиеся в специализированных особенностях, которые могут быть получены из разных вещественно-полевых сочетаний с целью получения требуемой функции;

– системные, являющиеся, в отличие от вышеперечисленных групп, интегральной характеристикой, не равной сумме свойств элементов системы; данное свойство является тем, ради чего создается система.

Для определения системного качества используется прием, заключающийся в условном разделении системы на элементы и наблюдения, какой эффект пропадает. Например, в рассматриваемой системе свойство передачи мощности с количественным изменением параметров движения исчезнет, если исключить вал, корпус, червячную передачу, но частично сохранится, если исключить не все крепежные детали (до определенной величины передаваемой мощности, разумеется). Таким образом, диалектический закон перехода количественных изменений в качественные отражает содержательную сторону более общего закона – закона образования системного эффекта (качества).

Выводы

Общий результат проделанной работы заключается в разработке нового подхода к основным положениям теории технических систем, позволяющего их дальнейшее продвижение в промышленность и выражающегося в дальнейшем развитии общих положений о системных признаках объекта с точки зрения практического приложения на примере механического объекта.

Список литературных источников

1. Хубка В. Теория технических систем. – М.: Мир, 1987. – 208 с.

2. Цехнович Л.И., Петриченко И.П. Атлас конструкций редукторов. – К.: Выща шк., 1990. – 151 с.

3. Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин. – К.: Вища шк., 1993. –556 с.

УДК 621.855:678.7.001.2

Пилипенко О.І., д-р техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ТЕПЛОВІ ЕФЕКТИ В ПОЛІМЕРНИХ ДЕТАЛЯХ МАШИН

Розглянуті питання тепловиділення в деталях ланцюгових передач, зубчастих колесах, виготовлених з полімерних матеріалів. Отримані залежності, що дозволяють оцінити тепловиділення з врахуванням застосовуваного матеріалу та режимів роботи передачі (навантажень, швидкостей) і запобігти виходу її з ладу. Наведені деякі рекомендації з досвіду конструювання, виготовлення та експлуатації полімерних деталей зачепленням.

Вступ

Особливості будови полімерних матеріалів і композитів на їх основі визначають високі гістерезисні втрати [1], що, з одного боку, є позитивним фактором, що сприяє поглинанню частини енергії ударів під час зачеплення зубців шестерен або шарнірів ланцюга з зубцями зірочок ланцюгових передач, а з другого – циклічне згинне навантаження кожного зубця супроводжується розсіюванням енергії, яка поглинається на протязі кожного циклу навантаження і викликає саморозігрів деталей з полімерних матеріалів внаслідок їх низької теплопровідності [2,3]. Кількість теплоти, що виділяється одиницею об'єму полімерного матеріалу за один цикл, пропорційна роботі деформації і визначається площею гістерезисної петлі. Утворювана теплота передається спряженим елементам конструкції і розсіюється в навколишнє середовище. Температура буде підвищуватись до тих пір, поки не настане тепловий баланс між кількістю теплоти, що виділяється в полімерному матеріалі за кожен цикл деформації, і кількістю теплоти, що розсіюється на протязі цього ж циклу.

Саморозігрів призводить до зміни механічних характеристик і зниження довговічності полімерних деталей машин. Причиною втрати полімерним матеріалом несучої здатності під час циклічного навантаження найчастіше є не руйнування, а зменшення твердості, викликане інтенсивним розігрівом, що супроводжується різким зниженням опору матеріалу і розвитком у ньому великих деформацій.

Мета статті полягає у висвітленні тепловиділення в полімерних деталях машин на прикладі деталей передач зачепленням (ланцюгових і зубчастих) з отриманням залежностей для оцінки тепловиділення з врахуванням застосовуваних матеріалів, навантажень і частот обертання з тим, щоб запобігти виходу передач з ладу.

Публікації і попередні міркування

Полімерну деталь можна розглядати як тіло, що нагрівається внутрішнім джерелом теплоти [3]. Зміна температури тіла в часі внаслідок теплообміну з оточуючим середовищем і дія джерела теплоти всередині тіла описується диференціальним рівнянням теплопровідності Фурьє:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a\nabla^2 T + \frac{N}{c\rho},$$

де T – температура; t – час; $a = \frac{\lambda}{c\rho}$ – коефіцієнт температуропровідності;

λ − коефіцієнт теплопровідності; c – питома теплоємність; ρ − щільність;

∇ − оператор "набла"; N – джерело теплоти, що розсіюється, тобто потужність циклічного деформування, віднесена до одиниці об'єму.

Перша складова в правій частині рівняння Фурьє характеризує відведення тепла в оточуюче середовище, а друга – саморозігрів полімерного тіла. Внаслідок виникаючого в полімерних матеріалах зсуву фаз між напруженням і деформацією частина підведеної потужності перетворюється в тепло. Зазначимо, що температура саморозігріву полімерних матеріалів в процесі циклічних випробувань є непоганим показником розсіювання енергії. При цьому спостерігається два режими саморозігріву при циклічному деформуванні і два відповідних їм типа руйнування в процесі втомних випробувань – механічне і теплове [3].

Оскільки під час циклічного навантаження напруження і деформація в полімерних матеріалах не співпадають по фазі, динамічні випробування дають дві характеристики полімерного матеріалу – динамічний модуль пружності $E_{дин}$ і кут зсуву по фазі θ між напруженням і деформацією, що характеризує і механічні втрати (вібропоглиначі властивості).

Результати динамічних випробувань під час циклічного навантаження виражають через комплексний модуль [3]:

$$E^{*}=E^{'}+iE^{''},$$

де E^{*} − комплексний модуль пружності; $E^{'}$ − дійсна частина комплексного модуля; $E^{''}$ − уявна частина комплексного модуля; $i=\sqrt{-1}$.

$E^{''}$ характеризує механічні втрати і тому його називають модулем механічних втрат. Тангенс кута зсуву фаз, що чисельно дорівнює коефіцієнту механічних втрат η, являє собою відношення $E^{''}/E^{'}$ і характеризує інтенсивність загасання коливань (вібропоглинання), яке можна оцінювати також і величиною логарифмічного декремента коливань δ. Коефіцієнт механічних втрат у π разів менше декремента коливань:

$$tg\theta=\eta=E^{''}/E^{'}=\delta/\pi.$$

Оскільки практично для більшості конструкційних матеріалів, у тому числі і для полімерних матеріалів, $\eta<<1$ (наприклад, для поліаміду ПА-6 η=9,9$\cdot 10^{-2}$), то дійсну частину комплексного модуля $E^{'}$ можна вважати рівною динамічному модулю пружності $E_{дин}$, виміряному по резонансній частоті [3]. Відзначимо, що динамічний модуль пружності суттєво відрізняється від його статичного значення. Наприклад, у поліамідів ці величини складають:

для ПА-6 $E_{дин}$=3,7$\cdot 10^{3}$ $МПа, E_{ст}=2,7\cdot 10^{3}$ $МПа$;

для ПА6.6 $E_{дин}$=4,5$\cdot 10^{3}$ $МПа, E_{ст}=2,9\cdot 10^{3}$ $МПа$.

В ГОСТ 19873-80 в якості показника, що характеризує механічні втрати, прийнятий коефіцієнт η, який, як і $E_{дин}$, визначається в умовах нормальної температури. Проте, зі зміною температури ці показники змінюються, причому порізному. На відміну від динамічного модуля пружності $E_{дин}$, який завжди зменшується з ростом температури, коефіцієнт механічних втрат η змінюється різним чином в залежності від того, по який бік від максимума (піка) механічних втрат знаходиться температурний діапазон випробувань полімерного матеріалу. Слід враховувати також і те, що з ростом амплітуди деформацій (коливань) вібропоглинальна здатність полімерних матеріалів зростає, тобто, чим сильніше (з більшою амплітудою) коливається конструкція з полімерного матеріалу, тим краще вона опирається вібраціям, тим інтенсивніше будуть гаситися коливання.

Робота, що здійснюється напруженнями під час деформування тіла, і потік тепла взаємопов'язані, оскільки зміна форми тіла призводить до зміни його температури, а зміна температури змінює реакції тіла на деформування.

Миттєве значення потужності, віднесеної до одиниці об'єму, можна визначити як добуток напруження на похідну по часі від деформації [3]:

$$N(t) = \sigma_a \varepsilon_a \frac{\omega}{2} \sin(2\omega t - \theta) + \sigma_a \frac{\varepsilon_a}{2} \omega \sin\theta,$$

де σ_a, τ_a – амплітудні значення напруження і деформації; ω – кругова частота, c^{-1}. Друга складова в правій частині рівняння являє собою частину миттєвого значення потужності, що розсіюється, і за рахунок якої відбувається нагрівання.

Враховуючи, що для малих кутів θ можна вважати $\sin\theta \cong tg\theta = \eta$, а також, що $\omega = 2\pi f$, отримаємо

$$N = \sigma_a \varepsilon_a \pi \eta \cdot f \qquad (1)$$

де f – частота навантаження, *Гц*.

Після ряду спрощуючих припущень і використання граничних умов з рівняння теплопровідності Фурьє для одномірного випадку в умовах стаціонарного температурного поля $\frac{\partial T}{\partial t} = 0$ знаходимо

$$\Delta T = \frac{N}{\alpha} s, \qquad (2)$$

де $\Delta T = T_0 - T_{CP}$ – різниця між температурою рівноваги T_0 і температурою оточуючого середовища T_{CP}; α – коефіцієнт теплообміну (тепловіддачі) в $Вт/м^{2}{}^{0}C$, що чисельно дорівнює кількості теплоти, що віддається (або отримується) одиницею площі поверхні тіла в одиницю часу при різниці температур між поверхнею і оточуючим середовищем в $1^{0}C$; $s = Y/Lu$ – відношення об'єму тіла до його поверхні (L, u – довжина і периметр деталі).

Підставляючи (1) в (2), отримуємо для лінійної в'язкопружної області навантаження полімерних деталей

$$\sigma_a = E_{дин} \varepsilon_a; \qquad \Delta T = \frac{\sigma_a^2}{E_{дин}} \pi \eta \cdot f \frac{s}{\alpha}; \qquad T_0 = T_{CP} + \Delta T. \qquad (3)$$

Оскільки для визначення ΔT використовується два залежних від температури параметра ($E_{дин}$ і η), то під час розрахунку треба перевіряти, чи понизяться механічні властивості до такої міри, яка приведе до термічного пошкодження полімерної деталі, тобто розрахунок треба вести методом ітерацій. У першому наближенні ΔT розраховують при параметрах, що відповідають кімнатній температурі, після чого розрахунок перевіряють для параметрів, що змінились, тобто при $T_1 = T_{CP} + \Delta T$, потім порівнюють отримані різниці температур ΔT. Якщо різниця температур ΔT росте, то можливі термічні пошкодження. Якщо в ході послідовних наближень (звичайно достатньо трьох) ΔT наближається до деякого постійного значення, то досягається бажаний стан рівноваги. Під час визначення параметрів використовують криві повзучості $\varepsilon(t)$ для зростаючих на ΔT температур.

В [4] розглянуто напружено-деформований стан полімерного вінця зірочки і результат саморозігріву полімерного матеріалу у вигляді температури на осі зубця зірочки.

Для можливого варіанту стаціонарного режиму, що реалізується в процесі роботи ланцюгової передачі, в [5] записується відповідне диференціальне рівняння, в результаті рішення якого з врахуванням ряду спрощуючих припущень отримано потужність внутрішнього тепловиділення і основні співвідношення, за якими можна оцінити температуру зубця зірочки.

Оцінка теплового стану полімерної зірочки

В результаті циклічного згину і в'язкопружної характеристики полімерних матеріалів в тілі зуба під поверхнею робочого профілю на відстані *0,8b* (дія найбільших дотичних напружень), де $b = \frac{2q}{\pi\sigma_{\max}}$; q − розподілене навантаження; $\sigma_{\max}$ − максимальне напруження (рис.1), в результаті саморозігріву відбувається збільшення податливості зубців та плями контакту і зменшення контактних напружень.

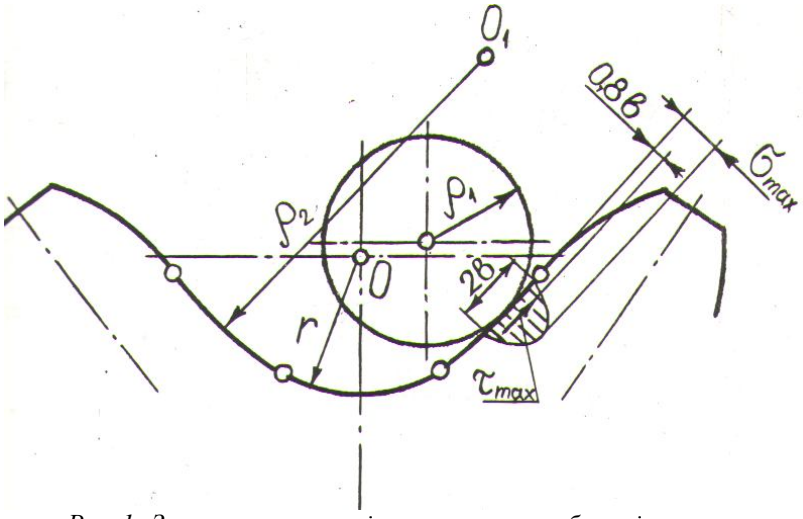


Рис.1. Зачеплення шарніра ланцюга з зубом зірочки

Дамо оцінку теплового стану, обумовленого пружним деформуванням полімерної зірочки під час її обертання (за один оберт). Рішення задачі теплопровідності в твердому тілі для нестаціонарного періодичного процесу, який дійсно має місце під час роботи ланцюгової передачі, передбачає розподіл температури залежним від швидкості деформації і навпаки. Такі задачі дуже складні і тільки найбільш прості з них можуть бути вирішені аналітично. Крім того, ефект взаємозалежності температури і швидкості стає помітним лише під час різких теплозмін типу "теплового удару", а в звичайних умовах експлуатації полімерних деталей машин він зневажливо малий, що дозволяє розглядати задачу в квазістатичній постановці. Нижче дається наближена оцінка теплового стану елемента зубця зірочки з полімерного матеріалу в процесі роботи ланцюгової передачі.

Під час аналізу будемо керуватися наступним припущенням: теплопровідність двох сусідніх зубців (оскільки в зачепленні одночасно знаходяться 3 зубці [4]) незначно відбивається на тепловому стані максимально навантаженого зубця. Отже, можна розглянути тепловий стан лише одного зубця, що зазнає найбільше навантаження в порівнянні з двома іншими, які знаходяться в зачепленні. Розглядаючи весь об'єм матеріалу зуба, аналогічне припущення зробимо і по відношенню до сусідніх (в площині зубця) елементарних одиниць об'єму. В сві-

тлі сказаного достатньо розглянути тепловиділення в об'ємі елементарної області, яка розташована безпосередньо в зоні контакту ланцюга з зубцем і яка зазнає максимальну швидкість деформування

$$\dot{\theta}_{\varepsilon\max} = \frac{\varepsilon_{x\max} + \varepsilon_{y\max} + \varepsilon_{z\max}}{3\tau}. \quad (4)$$

Отже, можна визначити потужність внутрішнього тепловиділення [4], обумовленого пружним деформуванням матеріалу зірочки:

$$Q_\varepsilon = \frac{E\alpha_T T_0(\varepsilon_{x\max} + \varepsilon_{y\max} + \varepsilon_{z\max})}{(1-2\nu)\cdot 3\tau}, \quad (5)$$

де E – модуль пружності матеріалу зірочки; α_T – коефіцієнт температурного розширення; T_0 – початкова температура; ν – коефіцієнт Пуасона; τ – період обертання зірочки.

Виразимо період обертання зірочки через кутову і колову швидкості та ділильний діаметр зірочки:

$$\tau = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi d_\partial}{2V} = \frac{\pi d_\partial}{V}, \quad (6)$$

де $\omega = \frac{2V}{d_\partial}$ – кутова швидкість обертання зірочки; d_∂ – діаметр ділильного кола зірочки.

Оскільки в процесі розрахунку напружено-деформованого стану на основі методу скінченних елементів [4] був визначений напружений стан зірочки, компоненти деформацій $\varepsilon_{x\max}, \varepsilon_{y\max}, \varepsilon_{z\max}$ знаходяться з узагальненого закону Гука:

$$\varepsilon_{x\max} + \varepsilon_{y\max} + \varepsilon_{z\max} = \frac{1-2\nu}{E}(\sigma_{x\max} + \sigma_{y\max} + \sigma_{z\max}) \quad (7)$$

Найбільш навантаженою є точка зубця, в якій реалізуються максимальні еквівалентні напруження, що визначалися в даному випадку за IV енергетичною теорією міцності.

Підставляючи (7) в (5), знайдемо, що

$$Q_\varepsilon = \frac{\alpha_T T_0}{\tau}\sigma_{0\max}, \quad (8)$$

де $\sigma_{0\max} = \frac{\sigma_{x\max} + \sigma_{y\max} + \sigma_{z\max}}{3}$ – максимальне середнє напруження.

З врахуванням (7) і (8) рівняння (5) набуває вигляду:

$$Q_\varepsilon = \frac{\alpha_T T_0 V}{\pi d_\partial}\cdot\frac{\sigma_{x\max} + \sigma_{y\max} + \sigma_{z\max}}{3}. \quad (9)$$

З залежності (9) видно, що чим більший температурний коефіцієнт теплового розширення і більш напружені режими роботи ланцюгової передачі (вищі швидкості, більше навантаження, а отже, більші напруження), тим більше потужність внутрішнього тепловиділення, зумовленого деформуванням полімерного матеріалу зірочки. З другого боку, чим більший діаметр ділильного кола зірочки, тим менше потужність тепловиділення.

Припустимо, що дія інших внутрішніх джерел теплоти. що відрізняються по своїй фізичній природі від Q_ε, відсутня. Тоді, для можливого варіанту стаціонарного режиму, що реалізується в процесі роботи ланцюгової передачі, диференціальне рівняння набуває вигляду:

$$\frac{\partial}{\partial x}(\lambda\frac{\partial T}{\partial x})+\frac{\partial}{\partial y}(\lambda\frac{\partial T}{\partial y})+\frac{\partial}{\partial z}(\lambda\frac{\partial T}{\partial z})=-Q_\varepsilon \qquad (10)$$

Це рівняння у випадку, коли коефіцієнт теплопровідності λ матеріалу зірочки зневажливо мало змінюється в залежності від температури і координат, можна представити у формі

$$\lambda\vec{\nabla}^2T=-Q_\varepsilon \text{ або } \vec{\nabla}^2T=-\frac{Q_\varepsilon}{\lambda}, \qquad (11)$$

де $\vec{\nabla}^2-$ оператор Лапласа.

Знайдемо стаціонарний розподіл температури по товщині зубця в процесі експлуатації ланцюгової передачі, що відповідає зробленим припущенням.

На поверхні зубця реалізуються граничні умови конвективного теплообміну з оточуючим повітрям, температуру якого позначимо $T_{ср}$ (рис.2).

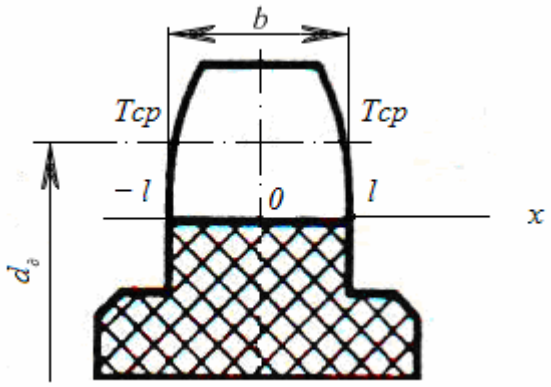


Рис.2. Розрахункова схема (зубчастий вінець полімерної зірочки в поперечному перерізі)

Щільність теплових джерел, зумовлених деформацією матеріалу, вважаємо рівномірно розподіленою по товщині зубця. Оскільки умови теплообміну на поверхнях $x=-l$ і $x=l$ постійні, тобто не залежать від координат y і z, то і температура буде функцією лише x, і тоді рівняння (11) прийме вигляд

$$\frac{d^2T}{dx^2}=-\frac{Q_\varepsilon}{\lambda} \qquad (12)$$

при умові $-\lambda\frac{\partial T}{\partial x}\Big|_{x=l}=h(T-T_{ср})$ (13)

і аналогічній умові на поверхні $x=-l$. В (13) h – коефіцієнт тепловіддачі; T – температура на осі зуба (при x=0).

З огляду на симетрію температурного поля відносно площини x=0, тут можна ввести умову:

$$\frac{\partial T}{\partial x}\Big|_{x=0}=0. \qquad (14)$$

Введемо змінну $\vartheta=T-T_{ср}$ (15)

Тоді крайова задача (12) – (14) перетвориться до вигляду

$$\frac{d^2\vartheta}{dx^2}=-\frac{Q_\varepsilon}{\lambda}, \qquad (16)$$

$$-\frac{d\vartheta}{dx}\Big|_{x=l}=\frac{h}{\lambda}\vartheta\Big|_{x=l}, \qquad (17)$$

$$\frac{d\vartheta}{dx}\Big|_{x=0} = 0. \tag{18}$$

Слід відзначити, що рішення задачі (16) – (18) при відсутності граничної умови (17) вироджено.

Представимо (16) у формі

$$\frac{d}{dx}(\frac{d\vartheta}{dx}) = -\frac{Q_\varepsilon}{\lambda}. \tag{19}$$

Після першого інтегрування (19) приймає вигляд

$$\frac{d\vartheta}{dx} = -\frac{Q_\varepsilon}{\lambda}x + C_1, \tag{20}$$

після другого – отримаємо загальне рішення

$$\vartheta = -\frac{Q_\varepsilon}{\lambda}\frac{x^2}{2} + C_1 x + C_2 \tag{21}$$

З (20), враховуючи граничну умову (17), слідує, що $C_1 = 0$, тобто

$$\frac{d\vartheta}{dx} = -\frac{Q_\varepsilon}{\lambda}x. \tag{22}$$

Підставляючи (21), (22) при $x = l$ в (17), отримаємо

$$\frac{Q_\varepsilon}{\lambda}l = \frac{h}{\lambda}(C_2 - \frac{Q_\varepsilon}{\lambda}\frac{l^2}{2}), \tag{23}$$

звідки знаходимо

$$C_2 = \frac{Q_\varepsilon l^2}{2\lambda} + \frac{Q_\varepsilon l}{h}. \tag{24}$$

Підставивши (24) в (21), отримаємо рішення крайової задачі (16) – (18) у вигляді

$$T = T_{cp} + \frac{Q_\varepsilon l^2}{2\lambda} - \frac{Q_\varepsilon x^2}{2\lambda} + \frac{Q_\varepsilon l}{h} \quad \text{або} \quad T = T_{cp} + \frac{Q_\varepsilon l^2}{2\lambda}(1 - \frac{x^2}{l^2}) + \frac{Q_\varepsilon l}{h}. \tag{25}$$

Остаточно температура на осі зубця (при x=0, рис.2) в результаті його деформування під час роботи ланцюгової передачі дорівнюватиме

$$T = T_{cp} + \frac{Q_\varepsilon l^2}{2\lambda} + \frac{Q_\varepsilon l}{h} \quad \text{або} \qquad T = T_{cp} + Q_\varepsilon l(\frac{l}{2\lambda} + \frac{1}{h}), \tag{26}$$

де Q_ε визначається з (9). Цікаво відзначити, що чим товще вінець зірочки, тим більшою буде температура саморозігріву, тобто конструктор повинен намагатись робити вінець зірочки якомога тоншим. Але останнє твердження вступає в протиріччя з ГОСТ 13568-75, яким регламентується відстань між пластинами, яка, в свою чергу, визначає товщину зубчастого вінця зірочки.

Відзначимо, що при відсутності теплообміну на поверхні зубця (при h=0) задача (16) – (18) рішення не має.

Приклад розрахунку. Для зірочки з числом зубців z=8 кроком t=12,7*мм*, напружено-деформований стан якої розглянуто в [4], максимальне середнє напруження $\sigma_{0\max} = 17{,}7 \cdot 10^3 kH/м^2$. Константи полімерного матеріалу (полікапроамід) [3,6,7]: коефіцієнт температурного розширення $\alpha_T = 9{,}8 \cdot 10^{-5^0} C^{-1}$; коефіцієнт теплопровідності $\lambda = 0{,}346 Bm/м^0 C$; коефіцієнт тепловіддачі $h = 21{,}6 Bm/м^{2^0} C$. Температура оточуючого середовища $T_{cp}=T_0=20^0 C$. Геометричні розміри: діаметр

ділильного кола зірочки $d_{\partial} = \frac{t}{\sin\frac{180^0}{z}} = \frac{12,7}{\sin\frac{180^0}{8}} = 33,42мм = 0,033м$; відстань від поверхні до осі зубця зірочки, тобто половина товщини її вінця b (рис.2) за ГОСТ 591-69 складе

$$l = \frac{b}{2} = \frac{0,93B_{вн} - 0,15}{2} = \frac{0,93 \cdot 5,6 - 0,15}{2} = 2,53мм = 0,0025м,$$

де $B_{вн}$=5,6$мм$ – відстань між внутрішніми пластинами ланцюга за ГОСТ 13568-75. Режим роботи ланцюгової передачі (колова швидкість) V = 5$м/с$. При цих даних потужність тепловиділення згідно (9) $Q_{\varepsilon} = 441936,3Вт/м^2$, а температура на осі зуба згідно (26) $T = 75,14^0C$. Отже, саморозігрів полімерного матеріалу зірочки в процесі експлуатації в порівнянні з температурою оточуючого середовища $T_{ср}=T_0=20^0C$ складає $55,14^0C$.

Деформаційна теплостійкість поліамідів складає 55^0C, тобто отримана в прикладі температура саморозігріву є небезпечною. Отже, треба перейти на інший матеріал, наприклад, виготовити зірочку з склонаповненої марки поліаміду ПА6-210КС, деформаційна теплостійкість якого складає 70^0C. До того ж, коефіцієнт температурного розширення ПА6-210КС $\alpha_T = 3 \cdot 10^{-5^0} C^{-1}$, тобто більше, ніж втричі менше цієї константи для попереднього матеріалу, а це також втричі понизить потужність тепловиділення згідно (9), а отже, понизить і температуру саморозігріву (26).

Таким чином, отримані залежності дозволяють здійснити оцінку тепловиділення в залежності від застосовуваного матеріалу і режимів роботи ланцюгової передачі (навантажень, швидкостей) і уникнути виходу її з ладу. Хоча треба визнати, що здійснена оцінка тепловиділення є дещо завищеною, оскільки не враховує теплопереносу від зони з максимальним тепловиділенням (найбільш інтенсивно деформуємої) до менш навантажених зон матеріалу деталі.

Деякі рекомендації з досвіду конструювання, виготовлення і експлуатації зірочок та зубчастих коліс з полімерних композитів

Під час циклічних навантажень, коли виконується умова $\varepsilon_{\max} \le \varepsilon_T$, тобто коли максимальна деформація нижче її граничного значення текучості, пошкодження матеріалу не відбувається, а при достатніх інтервалах між циклами дії навантаження може навіть відновитися первісна форма деталі [3]. Тому тривалість навантаження, що є вирішальною під час розрахунку на міцність, приймається в даному випадку рівною найбільш довготривалому циклу навантаження: $t = \max(\Delta t_1, \Delta t_2, ..., \Delta t_n)$.

Якщо ж $\varepsilon_{\max} > \varepsilon_T$, то матеріал пошкоджується і кожне подальше навантаження веде до накопичення пошкоджень. Тривалість навантаження в даному випадку визначають сумою всіх циклів навантаження: $t = \Delta t_1 + \Delta t_2 + ... + \Delta t_n = \sum_{i=1}^{n} \Delta t_i$.

Досвід практичного застосування полімерних деталей машин, що працюють в умовах циклічного навантаження, свідчить про суттєвий вплив частоти деформації на їх втомне руйнування. Температура теплового балансу змінюється з частотою, причому при низьких частотах ця температура змінюється лінійно з ча-

стотою $\frac{30\omega}{\pi}$, а при високих частотах ця температура слабо залежить від частоти [1]. Виявилося, що тільки частина розсіяної механічної енергії йде на розігрів матеріалу деталі, тобто існує значна частина енергії, яка не перетворюється в теплову. Деякі автори припускають, що ця частина енергії йде на зміну молекулярної структури матеріалу.

З часом конструкція пристосовується до багатократного навантаження, тобто після певного числа циклів навантаження стає пружною в результаті перерозподілу в ній залишкових деформацій. З підвищенням частоти деформації, а також температури довговічність полімерних деталей машин суттєво знижується. При значному зростанні температури міцність полімерного матеріалу сильно знижується, і руйнування деталі може наступити при невеликому часі дії навантаження, тобто раніше, ніж встановиться теплова рівновага [1]. Важливого значення набуває тривалість фази "відпочинку" в циклі деформації. Якщо після довготривалої роботи в умовах циклічного навантаження відбувся значний саморозігрів полімерної деталі, а потім після короткого відпочинку цю деталь знову піддати циклічному навантаженню, то можливий вихід її з ладу [3].

Низька теплопровідність полімерних матеріалів сприяє накопиченню тепла всередині деталі, тому може мати місце локальний перегрів у місцях концентрації теплового потоку, наприклад, спряження маточин паразитних шестерен і натяжних зірочок з нерухомими осями. До того ж інтенсивність напружень в таких спряженнях може перевищувати таку в зубцях під дією навантаження (рис.3, максимальна інтенсивність в *K*) [4].

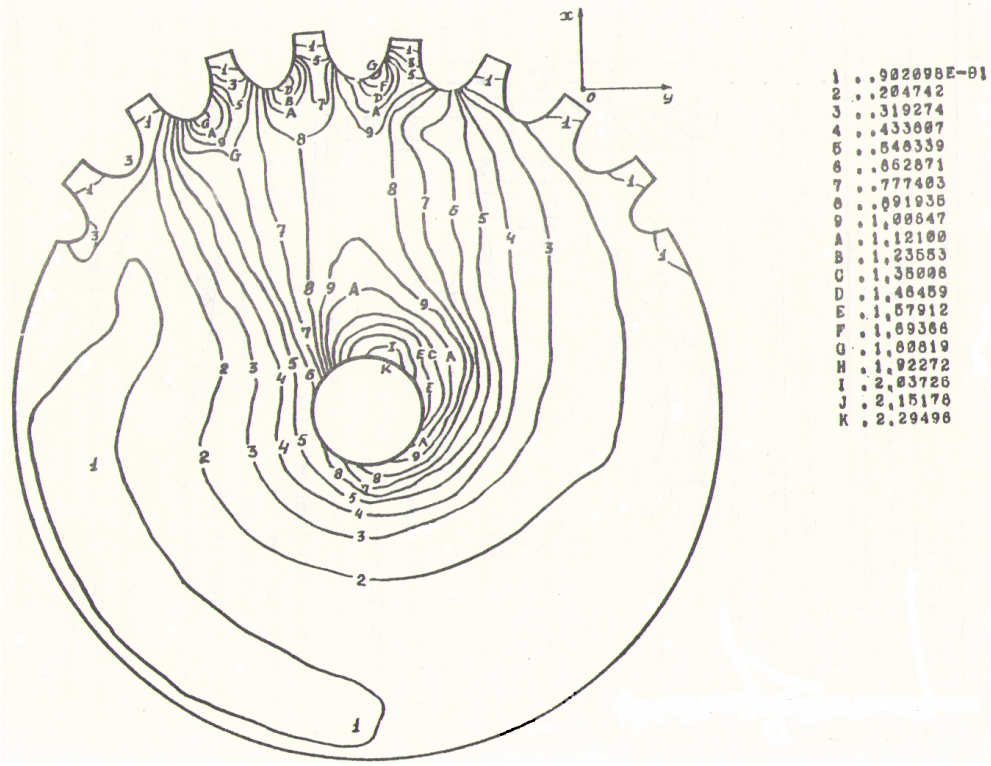


Рис. 3. Інтенсивність напружень полімерної зірочки

Все це призводить до термічного розкладання (деструкції) полімерного матеріалу, прикладом чого на рис.4 показані натяжна зірочка для трирядного ланцюга, що працювала в мастилі, і паразитна шестерня.



Рис.4. Натяжна 3-рядна зірочка і паразитна шестерня

Оскільки накопичення тепла відбувається всередині деталі, штучний відвід тепла, наприклад, обдувом поверхні повітрям рідко дає бажаний ефект. Більш ефективним в цьому випадку є розділення теплового потоку за допомогою канавок та інших конструктивних засобів (оребріння, тонка маточина) з метою недопущення локальних перегрівів всередині деталі. На рис.5 представлені три різних конструкції полімерних зірочок: в першій з них (ліворуч) застосовано розділення теплового потоку за допомогою канавок, причому підшипник ковзання з самозмащувального матеріалу САМ вбудовано в зірочку з поліаміду ПА-6; в другій (в центрі) застосовані ті ж самі канавки, але підшипник ковзання і зірочка виготовлені з одного антифрикційного матеріалу за одну технологічну операцію; в третій зірочці (праворуч) застосовано тонку маточину, причому фігурні отвори навколо неї ще й дають можливість регулювати кріплення цієї зірочки з метою встановлення потрібного зсуву по фазі під час роботи ланцюгової передачі.



Рис.5. Натяжні зірочки різних конструкцій для розділення теплового потоку

В усіх трьох випадках також застосовано оребріння поверхонь для інтенсифікації теплообміну, причому одночасно це – ребра жорсткості, необхідні не тільки під час експлуатації, щоб протистояти деформаціям, але і під час витягнення деталі з форми. Крім того, у випадку конструювання форми для виготовлення деталей передач зачепленням на термопластавтоматах необхідно передбачити радіальні канавки в оформлювальній порожнині форми для формування ребер жорсткості. Ці канавки є найбільш легкопрохідними дільницями для розплаву, тобто при одному і тому ж тиску стає можливим прискорене переміщення по

них розплаву з метою доставки його в найбільш віддалені (і відповідальні – зубці зірочок, шестерен) місця деталі одночасно з розплавом, що заповнює дільниці порожнини форми без канавок до ближчих точок деталі. Крім покращення умов заповнення форми, канавки для формування ребер примусово орієнтують розплав у необхідному напрямку, створюючи як би продовження зуба в радіальному напрямку і підвищуючи тим самим опір згинаючим і ударним навантаженням. Канавки виготовляються з обох боків диска, інакше така деталь буде мати дефекти зубців і схильність до короблення.

Для зниження ефекту тепловиділення доцільно також здійснювати наповнення базових марок полімерних матеріалів, зокрема, поліамідів, крім короткого скловолокна (ПА6-210КС), бронзовою або алюмінієвою пудрою.

Зазначимо також, що тверді змащувальні засоби, такі як графіт (C) або дісульфід молібдену (MoS_2), дають позитивний ефект лише в складі склонаповнених марок поліамідів, а для ненаповнених поліамідів краще додавати поліетилен (до 10%). Під час підвищення температури в зоні тертя відбувається плавлення поліетилену з утворенням легкорухомої плівки розплаву (свого роду третього проміжного тіла), що забезпечує високі антифрикційні характеристики. З метою підвищення вібропоглинальних властивостей до поліамідів можна додавати гумову кришку, отриману подрібненням зношених шинних виробів і конвеєрних стрічок, в складі якої є натуральний і бутадієновий каучуки. Позитивні результати дає полімерний композит на основі ПА-6.6, що містить в собі 30% скловолокна і 15% політетрафторетилену (ПТФЕ).

Висновки

1. Полімерну деталь можна розглядати як тіло, що нагрівається внутрішнім джерелом теплоти. Робота, що здійснюється напруженнями під час деформування тіла, і потік тепла взаємопов’язані.
2. Існуючі способи визначення температури саморозігріву методом ітерацій з необхідністю використання кривих повзучості викликають незручності під час визначення параметрів і далекі від досконалості.
3. Запропонована оцінка теплового стану шляхом рішення крайової задачі на прикладі полімерної зірочки з опорою на її напружено-деформований стан, визначений методом скінченних елементів, дає змогу більш практичного визначення параметрів тепловиділення.
4. Чим більш напружені режими роботи ланцюгової передачі (вищі швидкості, більше навантаження, а отже, більші напруження), тим більше потужність внутрішнього тепловиділення, зумовленого деформуванням полімерного матеріалу зірочки. З другого боку, чим більші геометричні розміри (зокрема, діаметр ділильного кола) зірочки, тим менше потужність тепловиділення.
5. Приклад розрахунку температури саморозігріву демонструє прийнятність запропонованої оцінки (хоча і дещо завищеної по причині неврахування теплопереносу) теплового стану деталей машин зачепленням (зірочки. шестерні).
6. Отримані залежності дозволяють здійснити оцінку тепловиділення з врахуванням застосовуваного матеріалу і режимів роботи ланцюгової передачі (навантажень, швидкостей) і уникнути виходу її з ладу.
7. Запропоновані деякі рекомендації з прикладами досвіду конструювання, виготовлення і експлуатації зірочок та зубчастих коліс з полімерних

композитів дають можливість застосовувати їх для недопущення локальних перегрівів всередині полімерних деталей машин.

Список літературних джерел

1. Карнаухов В.Г., Сенченков И.К., Гуменюк Б.П. Термомеханическое поведение вязкоупругих тел при гармоническом нагружении. К.: Наукова думка, 1985. – 288 с.
2. Пилипенко О.И. О саморазогреве полимерных деталей передач зацеплением при многократной динамической нагрузке. Тезисы докладов конф. «Использование резервов экономии материальных и энергетических ресурсов – важнейшее условие повышения эффективности производства». Чернигов-Нежин, 24-29.10. 1977. – С.39-40.
3. Полимерные материалы в сельскохозяйственном машиностроении /С.К.Абрамов, Г.И.Рассохин, О.И.Пилипенко и др.– М.: Агропромиздат, 1986.– 255 с.
4. Pilipenko O.I. Reinforced Plastics in Designing and Applications of the Driving Parts of Machines. Proceedings of the XVI International Conference “Reinforced Plastic-91” Karlovy Vary, Československo, 1991, P. 111-122.
5. Пилипенко О.И. Тепловыделение, обусловленное циклическим изгибом зубьев полимерных звёздочек, при эксплуатационных нагрузках сельскохозяйственных машин. Сб. научных трудов «Использование полимерных материалов в сельскохозяйственном машиностроении». Днепропетровск, 1994, С. 35-41.
6. Пивень А.Н., Гречаная Н.А., Чернобыльский И.И. Теплофизические свойства полимерных материалов. Справочник. К.: Вища школа, 1976. – 180 с.
7. Кацнельсон М.Ю., Балаев Г.А. Полимерные материалы. Свойства и применение. Справочник − Л.: Химия, 1982. − 317 с.

УДК 515.2

Б.И. Черников, канд. техн. наук

Черниговский государственный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ГРАФИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОТРАЖЕНИЯ В ЗАМКНУТОЙ ОБЛАСТИ

Рассмотрены особенности и обосновано применение графического моделирования в проектной практике. На примере графического моделирования точечного излучателя на зеркальной поверхности показаны различные фазы процесса распространения и концентрации отраженных лучей. Показана возможность проведения графического эксперимента с получением предварительных результатов еще в начальной стадии проектирования.

Вступление

Одним из распространенных методов познания природы, законов ее развития, исследования явлений и процессов, происходящих в природе, а также выявления их главных свойств является моделирование, при котором человек создает физическую или абстрактную (математическую) модель изучаемого процесса или объекта.

В настоящее время существует целый ряд различных способов моделирования, которые позволяют не только моделировать сложные производственные процессы, но и проводить с ними эксперименты.

Одной из основных проблем моделирования производственных процессов в машиностроении является сложность построения и управления динамическими системами, а также получение точности и достоверности полученных результатов.

Изучение литературы и источников, посвященных моделированию, показало особую значимость геометрического моделирования, цель которого – создание оптимальных геометрических форм объектов машиностроения, архитектуры и строительства, разработка геометрических основ их воспроизведения в процессе производства, оптимизация технологических процессов на основе их геометрических моделей, разработка теории графического отображения объектов и процессов при их проектировании в промышленности.

Геометрическое моделирование как базовая основа включает в свой состав несколько десятков подсистем моделирования, каждая из которых, в свою очередь, содержит математическую модель и широкий спектр программного обеспечения.

Государственный стандарт в Украине предусматривает для проектирования любого технического изделия следующие стадии:

- предпроектные исследования;
- техническое задание;
- эскизный проект;
- технический проект;
- рабочий проект (испытание);
- ввод в эксплуатацию (внедрение).

Эти стадии характерны для изделий (объектов) любой природы и назначения. Как правило, если заказчиком является государственное предприятие, то договором оговаривается необходимость строго следовать стандартам. В то же время фирма-разработчик может опираться на собственную технологию проектирования, которая может отличаться по форме и в некоторых деталях по технологии, предусмотренной стандартом. Для некоторых объектов (отдельных задач) обязательными являются только техническое задание и рабочий проект.

Геометрическое моделирование проводится, как правило, коллективом специалистов в начальной стадии проекта с целью организации и планирования последующих этапов, а также для прогнозирования результатов эксперимента (испытания). Для несложных

задач геометрическое моделирование может быть заменено графическим моделированием, целью которого является получение предварительных результатов эксперимента с последующим переходом к остальным этапам проектирования.

Графическое моделирование не требует значительных материальных затрат, т.к. следует получить только изображение фазы протекающего процесса и по сути все сводится к выполнению чертежа. Для этого достаточно знаний начертательной геометрии. Хотя изображение, как-бы совершенно оно ни было, не может заменить самого процесса, использование изображения во многих случаях представляет большие преимущества по сравнению с использованием действующей модели.

Изображения дают возможность представить не только существующие, но и воображаемые объекты, представить впечатления, которые создаются от быстро протекающих процессов, таких как горение (взрыв), распространение звука и света и т.п. В ходе графического моделирования возможно управлять указанными процессами с целью их оптимизации.

Цель статьи

На примерах графического моделирования отражений от зеркальной поверхности точечного излучателя показать возможность получения предварительного результата экспериментальных исследований быстро протекающих процессов.

Изложение основного материала

Для реализации метода графического моделирования необходимо поставить условие, при котором можно проследить протекающий процесс. Так, для моделирования процесса отражения (рис. 1) точечного источника света S на прямых M и N приняты следующие условия:

- источник света (излучатель) – точка S,
- отражающие поверхности зеркальные,
- процесс отражения строится в плоскости,
- падающие и отраженные лучи имеют линейную форму.

Задача моделирования – проследить поведение отраженных лучей, определить области их концентрации. Для этого следует построить ход падающих и отраженных лучей.

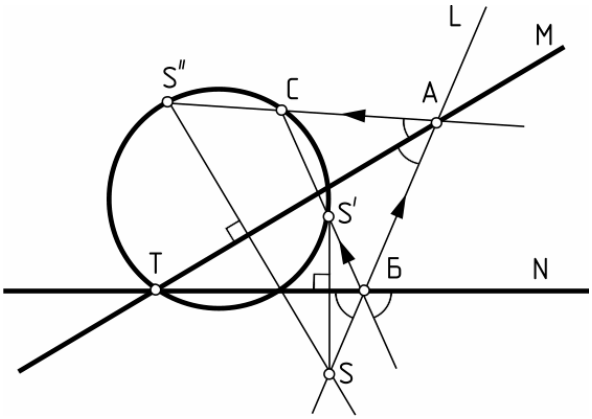


Рис. 1. Геометрическое место точек пересечения отраженных лучей при зеркальном отражении точечного излучателя S от двух прямых M и N

На рисунке 1 показан луч L перспективного пучка с центром S. Пучок падающих лучей S образует два перспективных ряда точек на прямых M и N. Центры проективных пучков S' и S'' являются точками схода отраженных лучей от рядов M и N. В точках S' и S'' происходит пересечение отраженных лучей и, на основании теоремы для рядов и пучков второго порядка [1], следует считать центры S' и S'' «образующими» ряда второго порядка (кривой второго порядка).

Точка T также принадлежит ряду второго порядка, т.к. T – общая точка рядов M и N, сама себе соответствует, поэтому любая прямая, проходящая через точку T, содержит пару соответственных точек рядов M и N, т.е. точку T. Здесь имеет место тот случай, когда пучок второго порядка состоит из двух пучков первого порядка: пучка с

центром S и пучка с центром T. Уравнение кривой линии, к которой принадлежат точки T, S', S'' и C, имеет вид:

$$Ax^2 + 2Bxy + Cy^2 + 2Dx + 2Ey + F = 0. \quad (1)$$

Это геометрическое место точек пересечения отраженных лучей – кривая второго порядка [2]. Вид кривой линии будет зависеть от координат точек S, S' и S''. Для случая зеркального отражения получим окружность (рис. 1).

Свои особенности проявляются, если отражающая поверхность – окружность (рис. 2). Любая хорда, например $АБ$, в окружности $Ф$ будет представлять падающий луч. Отраженные от точек $А$ и $Б$ лучи пересекаются в точке $С$. Для фиксированной излучающей точки S получим геометрическое место точек пересечения отраженных лучей в виде кривой, уравнение которой имеет вид:

$$x^2 + (1 - 2b^2)y^2 + by = 0, \quad (2)$$

где b – координата точки S вдоль радиуса окружности $Ф$.

Уравнение (2) – кривая линия второго порядка [3],

если $1 - 2b^2 = 1$, то $b = 0$, $x^2 + y^2 = 0$ – вырожденная окружность – точка;

если $1 - 2b^2 = 0$, , то $b = \pm\frac{1}{\sqrt{2}}$, $y = \pm\sqrt{2}x^2$ – парабола;

если $|b| < \frac{1}{\sqrt{2}}$, то уравнение (2) – эллипс;

если $|b| > \frac{1}{\sqrt{2}}$, то уравнение (2) – гипербола.

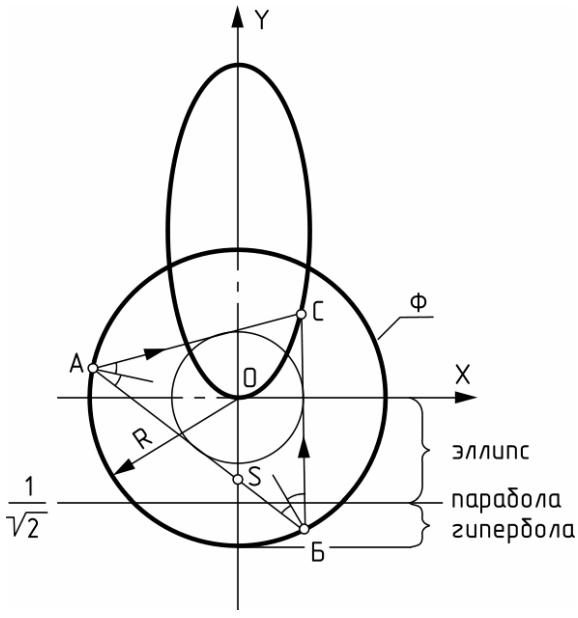


Рис. 2. Ход лучей при зеркальном отражении излучателя S от окружности Ф

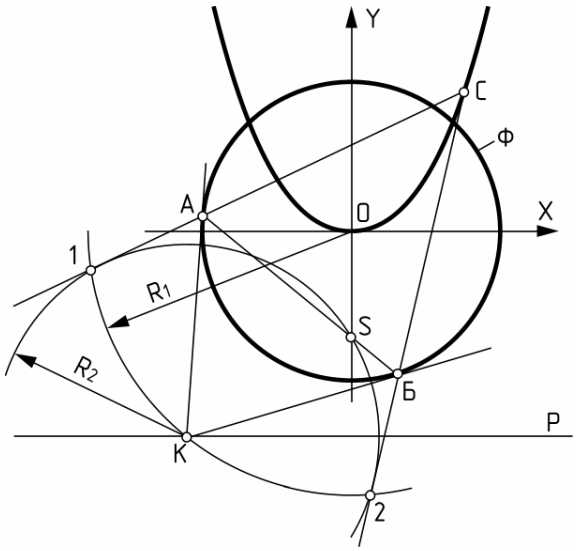


Рис. 3. Зависимость хода отраженных лучей от полюса S и поляры P окружности Ф

Как видно из изложеного, основная сложность состоит в построении хода отраженных лучей. Если привлечь для решения этой задачи аппарат проективной геометрии, то

можно представить еще варианты таких графических построений. Один из таких вариантов предлагается рассмотреть с использованием полюса и поляры [1].

Полюс и поляра окружности *Ф* позволяют найти направление отраженных лучей и точки их пересечения (рис. 3). По заданной точке *S*, через которую проведена хорда *АБ*, можно реконструировать поляру *Р*. Касательные к окружности *Ф*, проведенные через точки *А* и *Б*, пересекаются в точке *К*, принадлежащей поляре *Р*. Чтобы установить соответствие точки *К* и точки *С,* проводим через точку *К* дугу R_1 из центра *О*, затем дугу из центра *К* через точку *S*. Пересечение указанных дуг даст точки *1* и *2*, соединяя их с точками *А* и *Б*, как показано на рисунке 3, найдем направления отраженных лучей и точку *С*.

Таким образом, можно установить соответствие между точками поляры *Р* и точками кривой второго порядка.

На рисунке 4 показаны различные фазы концентрации отраженных лучей при движении точечного излучателя вдоль радиуса окружности *Ф*.

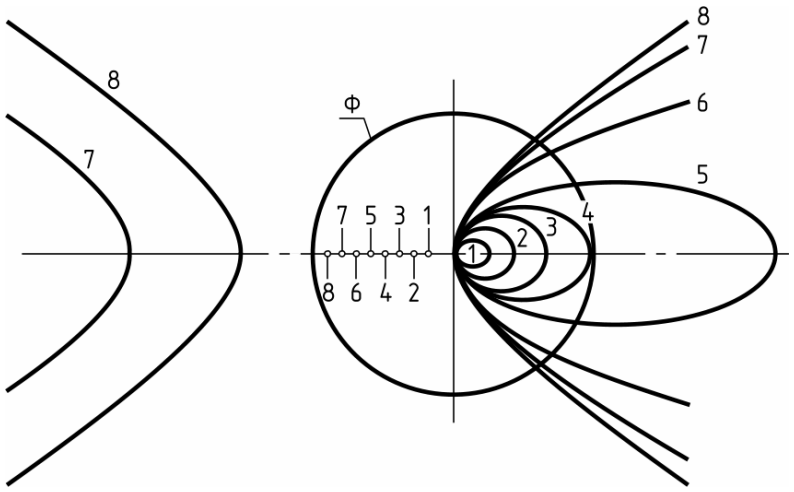


Рис. 4. Зоны концентрации отраженных лучей при движении получателя по радиусу окружности Ф

Каждой точке положения излучателя, отмеченной цифрой на оси окружности, соответствует номер кривой линии. Здесь можно проследить распределение энергии отраженных лучей в зависимости от координат излучателя.

Не трудно предположить, что если *Ф* – поверхность вращения, тогда кривые линии (1....8) преобразуются в поверхности второго порядка, что также следует учитывать при проведении эксперимента.

Выводы

Для того, чтобы усовершенствовать ум,
надо больше размышлять, чем заучивать.
Рене Декарт

Из приведенных примеров видим, что графическое моделирование позволяет найти закономерности, которые могут быть использованы как предварительные результаты эксперимента. Найденные закономерности позволяют представить процессы, которые прямо или косвенно связаны с отражением. В качестве примеров использованы рисунки 2, 3, 4, 5.

Вариант 1. Точка *S* – генератор звука. Так может быть устроен музыкальный инструмент, в котором тональность (тембр) меняется с перемещением центра *S* . Как будет

звучать этот инструмент, покажет эксперимент. Хотелось бы услышать, как звучит гипербола в отличие от параболы.

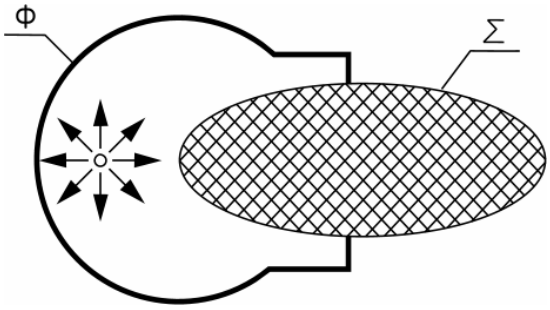


Рис. 5. Схема образования поверхности Σ концентрации отраженных лучей в закрытой камере Ф.

Вариант 2. Точка S – генератор шума. В этом случае можно ожидать усиление шума в поле эллипсов, где наблюдается самая большая концентрация отраженных лучей, и рассеивание шума в поле гипербол, где пересечения отраженных лучей распределяется по двум ветвям гиперболы. Более достоверный вывод покажет эксперимент.

Вариант 3. Предположим, что излучатель S находится в камере сгорания. Отраженные лучи участвуют в создании тяги двигателя и образуют поверхность Σ (рис. 5), формой которой можно управлять. В этом случае конфигурация поверхности Σ укажет оптимальное решение по размещению излучателя S относительно контуров камеры Φ.

Добавим еще один немаловажный вывод: геометрическое моделирование (чертеж) всегда располагает к размышлению, а это дает в процессе проектирования новые направления и новые конструктивные решения. Размышляете, господа!

Список литературных источников

1. Четверухин Н.Ф. Проективная геометрия.-М.: «Просвещение», 1969. – 365с.

2. Черніков Б.І., Жарій Я.В. Про одне перетворення на основі відображення // Вісник ЧДТУ, №4, 1997. – С. 111 – 117.

3. Черніков Б.І. Про деякі особливості відображень на колі // Вісник ЧДТУ, №4, 1997. – С. 139 – 144.

УДК 678.08

В.В. Заяць
Хмельницький національний університет, м. Хмельницький

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ У РОТОРНИХ ДИСКОВИХ ПОДРІБНЮВАЧАХ

Розглянуто основні параметри процесу подрібнення, що найбільш впливають на процес подрібнення полімерних відходів у роторному дисковому подрібнювачі. Проведені експериментальні дослідження основних параметрів системи, для перевірки адекватності математичної моделі подрібнення полімерних матеріалів у роторному дисковому подрібнювачі реальним процесам.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими практичними завданнями

Швидкий розвиток машинобудування випереджає розвиток теоретичної бази, і багато машин часто створюються без достатніх розрахунків, а іноді за їх відсутності. Так, використання гідравлічних, пневматичних, електричних пристроїв наражається на складності теоретичних розрахунків. В цих випадках приходить на допомогу експеримент, що дозволяє одержати дані для теоретичного або практичного розв'язання задачі.

Для проведення експериментів часто потрібна методика з включенням комплексу зв'язаних між собою одночасних вимірювань. Це, в свою чергу пред'являє підвищені вимоги до чутливості і точності вимірних приладів. З іншого боку, розвиток спеціальних областей фізики, електротехніки і електроніки, комп'ютерної техніки і технологій відкрив можливості, яких раніше не мала вимірювальна техніка. На зміну застарілим приладам приходять більш досконалі, придатні для вирішення складних експериментальних задач.

Такими приладами в багатьох випадках є електричні датчики, що перетворюють механічні величини, що вимірюються, в електричні. Цей метод вимірювання механічних параметрів одержав в даний час широкого розвитку.

Використання електричних методів надає електровимірювальній техніці нову якість. Датчики електричного методу вимірювання можуть бути практично безінерційними, вплив тертя практично відсутній. Задачі вимірювань надшвидко плинних процесів перестали бути важкими. Регєстрація ведеться як осцилографами, так і комп'ютерною технікою з наступним автоматизованим процесом обробки результатів вимірювання.

Однією з найбільш прогресивних областей вимірювальної техніки (технологій) є електричні вимірювання неелектричних величин. З іншого боку, розвиток науки і техніки на сучасному етапі неможливий без використання електричних вимірювань неелектричних величин. Ці вимірювання потрібні при проведенні досліджень, розробці, експериментальній перевірці, контролі якості продукції і автоматизації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми

Будь-яка інженерна розробка повинна задовольняти визначеним критеріям. Відповідність цим критеріям можлива тільки при комплексній оцінці впливу геометричних параметрів, властивостей використовуваних матеріалів і умов роботи виробу. Проведення такого аналізу з урахуванням усе зростаючої складності інженерних розрахунків можливе лише із застосуванням найефективніших сучасних комп'ютерних технологій. Задачі з невеликою кількістю факторів доцільно вирішувати аналітичним способом. Але що робити зі складними задачами, в яких кількість невідомих дуже велика? Для

вирішення таких задач використовуються чисельні методи, в основу яких покладена заміна розрахункової моделі з безперервним розподілом параметрів і нескінченним числом ступенів свободи дискретною моделлю, що має кінцеве число невідомих. Серед чисельних методів найбільш розповсюдженим є метод кінцевих елементів (МКЕ). Цей метод найзручніший для реалізації на ЭОМ. Однак для перевірки отриманих математичних моделей також необхідно проводити експериментальні дослідження. Експериментальні дослідження дають можливість отримати підтвердження адекватності математичної моделі реальним процесам. В нашому випадку використовуючи метод кінцевих елементів (МКЕ) отримано дискретно аналітичну модель, що має велику кількість взаємопов'язаних рівнянь. Кількість рівнянь визначається ступенем дискретизації форми та кількістю факторів що враховуються у моделі. При збільшені складності моделі кількість взаємопов'язаних аналітичних рівнянь значно зростає [1] .

Розв'язання великої кількості взаємопов'язаних аналітичних рівнянь може бути не зовсім точним або приводити до значної похибки, що обумовлена або можливостями самої чисельної методики або похибками, що накопичуються при округленні числових значень. Тому в сучасних системах МКЕ використовуються методики контрою точності отриманого рішення. Однак навіть такий підхід не дозволяє врахувати всі можливі ситуації, в яких може виникати суттєва похибка вирішення. В більшості випадках похибка вирішення пов'язана з невірною постановкою початкових, граничних умов моделі та простими похибками вводу даних параметрів моделі.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Дискретна аналітична модель процесу подрібнення дисковим подрібнювачем полімерних матеріалів у роторному дисковому подрібнювачі потребує перевірки на адекватність математичних моделей реальним процесам, що відбуваються в зоні подрібнення; необхідна експериментальна перевірка, яка дозволить також визначити ступінь впливу на процеси, факторів, що не враховувались в аналітичних моделях.

Виклад основного матеріалу досліджень

Для проведення експериментальних досліджень було виготовлено експериментальне устаткування, яке дозволяє реалізувати процес подрібнення з можливістю зміни факторів, що вивчаються, та реєструвати параметри, що досліджуються. При дослідженні процесу подрібнення використовувались полімерні матеріали, які застосовуються для виготовлення взуття шляхом розкрою листових заготовок та відходи після відливу. Для одержання функціональних та статистичних зв`язків між факторами, які впливають на процес подрібнення, та вихідними параметрами, були проведені експериментальні дослідження. Дослідження процесу подрібнення полімерних відходів велося на експериментальній установці (рис. 1), яка дозволяє моделювати процеси, що відбуваються при подрібненні. Пристрій для подрібнення полімерних матеріалів містить завантажувальний отвір 3, корпус 1, на якому закріплені контрножі 2 та втулки 7, решітку 6, яка розміщена внизу робочої камери, вал 5, на якому розміщені ножі 4 та втулки 8. Ножі 4 та контрножі 2 розміщені в шахматному порядку, за рахунок втулок 7 та 8. Подрібнюючий пристрій приводиться в дію за допомогою приводу (на рис. не показано).

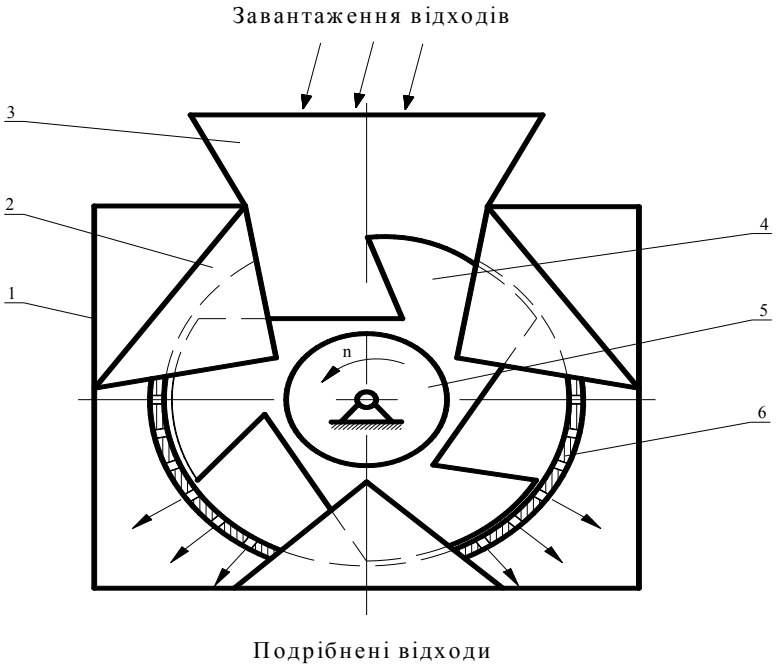


Рис. 1 Схема експериментальної установки.

Конструкція механізму вибрана таким чином, щоб забезпечити дослідження основних параметрів процесу подрібнення. Конструкція експериментальної установки дозволяє змінювати швидкість обертання валу ротора з дисками в межах від 1580 до 3200 об/хв, використовуючи різноманітні передаточні співвідношення шківів, що встановлюються на валу електродвигуна та валу дискового подрібнювача. Експериментальна установка обладнана системою контролю і реєстрації параметрів процесу подрібнення (рис. 2), що приєднується до приводу і дозволяє контролювати та регіструвати його потужність під час роботи. Установка працює наступним чином: Полімерні відходи завантажуються через загрузочний отвір 3 у корпус 1, де за допомогою ножів 4 та контрножів 2 відбувається процес подрібнення полімерних матеріалів. Ножі 4 захвачують полімерні відходи і, за рахунок деформації зсуву руйнують його. Подрібнений полімер висипається через отвори в решітці 6, яка розміщена внизу робочої камери.

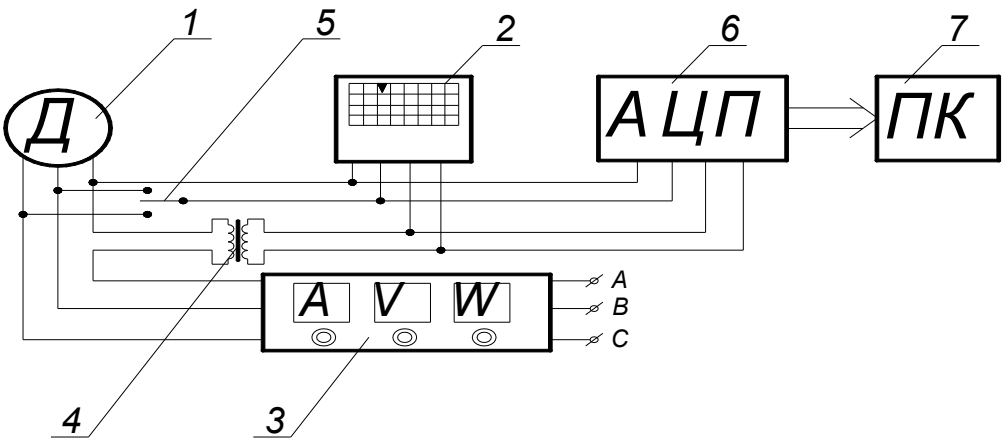


Рис. 2 Схема системи контролю і реєстрації параметрів процесу подрібнення: 1-двигун; 2-прилад самописний Н350; 3-прилад вимірювальний К50; 4-трансформатор току; 5-перемикач обмоток напруги; 6- аналогово-цифровий перетворювач (АЦП); 7- персональний комп'ютер

Ця конструкція була розроблена на основі аналізу аналітичних залежностей. Технічна характеристика експериментальної установки наведена в таблиці 1. Конструкція установки дозволяє змінювати в доволі широких межах конструктивні і технологічні параметри і таким чином дозволяє досліджувати вплив цих параметрів на процес подрібнення, а також здійснювати необхідні вимірювання і записувати їх.

Таблиця 1

Технічна характеристика експериментальної установки

Частота обертання ротора дискового подрібнювача, c^{-1}	2...10
Співвідношення довжини ріжучої кромки диска до довжини ротору	3,2…9,6
Кут заточування ріжучої кромки диска	30^o…90^o
Частота обертання електродвигуна, об/хв	2990
Габаритні розміри, мм довжина ширина висота	 1250 800 550

При проведенні експериментальних досліджень ефективність процесу подрібнення визначалась наступними показниками:

- вагова продуктивність експериментальної установки;
- енергетичні витрати на подрібнення;
- дисперсія, що отримана після переробки;
- коефіцієнт співвідношення довжини ріжучої кромки диска до довжини ротору.

Вагова продуктивність Q визначалась шляхом зважування подрібненого полімеру, що отримано за деякий проміжок часу при сталому процесі подрібнення, і для отримання більш точних даних для кожного режиму визначалось середнє значення вагової продуктивності за формулою:

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^{k} \frac{m_i}{t_i}}{k}, \quad (1)$$

де k – кількість зважувань;

m_i – вагова i-ї порції матеріалу;

t_i – проміжок часу в який отримана вага m_i.

Енергія, що витрачається на подрібнення полімерних матеріалів в експериментальній установці визначалась за допомогою системи вимірювань і запису.

Використовуючи дані експериментальних досліджень, енергію, що витрачається на подрібнення, можливо визначити з потужності, і розраховується вона як різниця загальної потужності та потужності холостого ходу. Для отримання більш точних даних для кожного режиму визначалось середнє значення енергії, яка витрачається на подрібнення матеріалу за формулою:

$$A = t \frac{\sum_{i=1}^{k} (W_i - W_{xx})}{k}, \quad (2)$$

де W_i – потужність загальна, яка відповідає i-му виміру;

W_{xx} – потужність, що витрачається на холостому ходу.

При проведення експериментальних досліджень були використані полімерні відходи матеріалів, що використовуються у легкій промисловості. Дисперсію після подрібнення цих полімерних відходів після переробки для кожної групи може бути різна, і її необхідно визначати окремо для кожної групи, як середню згідно з формулою

$$L_{ср} = \frac{\sum_{i=1}^{k} L_i}{k}, \quad (3)$$

де L_i – розмір i-го куска.

Коефіцієнт співвідношення довжини ріжучої кромки диска до довжини ротору:

$$K_p = \frac{L_p}{L_{рот}} = \frac{n_д L_{р.д.}}{L_{рот}} \quad (4)$$

де $L_p = n_д L_{р.д.}$ – сумарна довжина ріжучих кромок дискув;

$L_{рот}$ – довжина ротора;

$n_д$ – кількість дисків на роторі;

$L_{р.д.}$ – довжина ріжучих кромок на диску.

З метою визначення параметра оптимізації та вибору схеми планування експерименту був проведений аналіз апріорної інформації [2,7,8,9]. Такий аналіз дозволив встановити фактори, від яких залежить кількісні та якісні показники процесу подрібнення. На основі цього аналізу зроблені висновки, що при руйнуванні полімерних матеріалів в дискових подрібнювачах дисперсія після подрібнення та енерговитрати залежать від наступних факторів:

- швидкості деформування;
- температури;
- фізичних властивостей матеріалу;
- геометричних параметрів робочого ограну;
- швидкості подачі матеріалу.

В свою чергу, деякі з цих факторів є похідними геометричних та технологічних параметрів пристрою для подрібнення, що дозволить проводити дослідження, оперуючи останніми. Виходячи з цього, розділимо змінні параметри експериментальної установки на групи, згідно з їх зв`язками з факторами.

Величина швидкості деформування залежить від окружної швидкості робочого органу подрібнювача.

Швидкість подачі матеріалу залежить від вагової продуктивності.

Температуру можна рахувати незалежним фактором, так як вона практично не змінюється під час подрібнення і є сталою величиною і її можливо враховувати у властивостях матеріалу.

Ефективність процесу подрібнення відходів полімерних матеріалів оцінюється двома критеріями:

– витрати енергії на подрібнення деякої ваги матеріалу;

– дисперсія після подрібнення.

Мета дослідження полягала в визначенні факторів, що суттєво впливають на характер процесу подрібнення та отримання параметра оптимізації. Класичний метод постановки експерименту передбачає фіксування на визначених рівнях усіх змінних факторів, крім одного, який змінюється визначним чином в деяких межах свого існування. Цей метод постановки дослідження складає основу однофакторного експе-

рименту. В однофакторному експерименті, змінюючи один фактор і стабілізуючи всі інші на визначених рівнях, знаходять залежність величини, що досліджують від одного фактору. Проводячи велику кількість однофакторних експериментів, вивчаючи багатофакторну систему, отримують частотні залежності, що вивчаються великою кількістю графіків, які мають ілюстративний характер. Найдені таким чином залежності неможливо об`єднати в одну загальну.

Використання однофакторного експерименту для всебічного дослідження багатофакторних процесів вимагає великої кількості дослідів.

Для їх виконання необхідні великі витрати часу, під час якого вплив факторів не контролюється, і результати дослідів можуть суттєво змінюватися. З цієї причини дані великого числа дослідів виявляються невідповідними. Виходячи з цього, результати однофакторних експериментів, отримані при дослідженні багатофакторних системах непридатні для застосування [3,4]. Тому було вирішено проводити дослідження з використанням математичних методів планування і аналізу експерименту, що дозволить уникнути недоліків, що властиві однофакторним методам дослідження.

Проводячи експериментальні дослідження процесу подрібнення, були використані наступні фактори: окружна швидкість дискового ротора; співвідношення довжини ріжучої кромки диска до довжини ротору, кут заточування ріжучої кромки диска.

Параметрами оптимізації були прийняті енерговитрати на подрібнення віднесені до ваги та дисперсії після подрібнення. Ці параметри оптимізації повністю відповідають вимогам, що висуваються до параметрів оптимізації при плануванні експерименту [2,7,8,9].

Аналітичні дослідження процесу руйнування показали, що для отримання точної моделі (параметра оптимізації) необхідно використовувати алгебраїчний поліном другого порядку

$$y = b_0 + \sum_{1\le i\le k} b_i x_i + \sum_{1\le i<l\le k} b_{il} x_i x_l + \sum_{1\le i\le k} b_{ii} x_i^2 , \qquad (5)$$

де b_i, b_{il}, b_{ii} – коефіцієнт регресії;

x_i, x_l – змінні фактори.

В зв`язку з цим було прийняте рішення проводити експеримент, використовуючи некомпозиційне рототабельне планування другого порядку [2].

При дослідженні процесу з трьома факторами раціональним є не композиційний рото табельній план план другого порядку. Для запису умов експерименту і обробки експериментальних даних рівні факторів кодуються.

Прийняті наступні змінні фактори:

X1 – окружна швидкість дискового ротора

X2 – співвідношення довжини ріжучої кромки диска до довжини ротору;

X3 – кут заточування ріжучої кромки диска.

План передбачає кодування значень X1, X2, X3 на трьох рівнях (+1; 0; -1) за допомогою виразу (5). Фактори і їх кодовані значення наведені в табл. 3.2.

Кодування фактора x_i визначається виразом [2]

$$x_i = \frac{X_i^n - X_{i0}^n}{\varepsilon_i}, \qquad (6)$$

де i – номер фактору;

X_i^n – натуральне значення і-го фактору;

X_{i0}^n – натуральне значення основного рівня і-го фактору;

ε_i – інтервал зміни i-го фактору.

Фактори і їх кодовані значення наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Рівні та інтервали зміни факторів

Найменування	X1, c^{-1}	X2	X3, ^{o}
Інтервал зміни	4	3,2	30
Рівні факторів: - 1 0 1	 2 6 10	 3,2 6,4 9,6	 30 60 90

Матриця планування і результати дослідів для некомпозиційного рототабельного плану другого порядку приведена в таблиці 3.

Таблиця 3

Матриця планування і результати дослідів

N	X0	X1	X2	X3	X1X2	X1X3	X2X3	X_1^2	X_2^2	X_3^2	У
1	+1	+1	+1	0	+1	0	0	+1	+1	0	0.43
2	+1	+1	-1	0	-1	0	0	+1	+1	0	0.432
3	+1	-1	+1	0	-1	0	0	+1	+1	0	0.431
4	+1	-1	-1	0	+1	0	0	+1	+1	0	0.4313
5	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4329
6	+1	+1	0	+1	0	+1	0	+1	0	+1	0.4945
7	+1	+1	0	-1	0	-1	0	+1	0	+1	0.39
8	+1	-1	0	+1	0	-1	0	+1	0	+1	0.494
9	+1	-1	0	-1	0	+1	0	+1	0	+1	0.389
10	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.433
11	+1	0	+1	+1	0	0	+1	0	+1	+1	0.494
12	+1	0	+1	-1	0	0	-1	0	+1	+1	0.39
13	+1	0	-1	+1	0	0	-1	0	+1	+1	0.4943
14	+1	0	-1	-1	0	0	+1	0	+1	+1	0.388
15	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.434

Коефіцієнти рівняння регресії (5) знаходилися за допомогою метода найменших квадратів [2,9], а також перевірялась їх значимість по довірчих границях за допомогою критерію Стьдента при 5% рівні значимості [2,9].

Отримані коефіцієнти рівняння регресії наведені в таблиці 4 та дисперсія у таблиці 5

Таблиця 4

Коефіцієнти регресії

b_{13}	$-1.2499*10^{-4}$
b_{12}	$-4.2499*10^{-4}$
b_{11}	$-9.6249*10^{-4}$
b_{33}	0.0095
b_{23}	$-5.7499*10^{-4}$
b_3	-0.0012
b_{22}	0.0524
b_2	$-7.5008*10^{-5}$
b_1	$1.5*10^{-4}$
b_0	0.4322

Після реалізації робочої матриці (табл. 3), при двох паралельних дослідах, отримані значення були перевірені на однорідність дисперсій похибок по критерію Кохрена [2].

Таблиця 5

Значення дисперсій

S_{bil}^2	$9.2496*10^{-8}$
S_{bi}^2	$4.6248*10^{-8}$
S_{bii}^2	$1.0020*10^{-7}$
S_{b0}^2	$1.2332*10^{-7}$
S_y^2	$3.6998*10^{-7}$

Проводячи регресійний аналіз і перевіряючи адекватність моделі по критерію Фішера [9], були отримані рівняння регресії в які для одержання натуральних рівнянь підставляємо значення кодованого фактора X, згідно з виразом (6) і одержуємо функцію залежності енерговитрат на подрібнення віднесені до ваги та дисперсії після подрібнення від: окружної швидкісті ротора; співвідношення довжини ріжучої кромки диска до довжини ротору; кута заточування ріжучої кромки диска.

Отримано рівняння регресії:

$$y = 0.4333 + 1.5\times10^{-4}\frac{X_1-2}{8} - 7.5\times10^{-5}\frac{X_2-3.2}{6.4} + 0.05247\frac{X_3-30}{60} -$$
$$- 4.2499\times10^{-4}\left(\frac{X_1-2}{8}\times\frac{X_2-3.2}{6.4}\right) - 1.2499\times10^{-4}\left(\frac{X_1-2}{8}\times\frac{X_3-30}{60}\right) -$$
$$- 5.7499\times10^{-4}\left(\frac{X_2-3.2}{6.4}\times\frac{X_3-30}{60}\right) - 9.6249\times10^{-4}\left(\frac{X_1-2}{8}\right)^2 -$$
$$- 0.0012\left(\frac{X_2-3.2}{6.4}\right)^2 + 0.0095\left(\frac{X_3-30}{60}\right)^2 \qquad (7)$$

Проводячи порівняльній аналіз (рис. 3) було встановлено, що дискретно аналітична модель та регресійна залежность (7) задовільно узгоджуэться (відносне відхилення експериментальних значень від теоретичних не перевищує 15%), що підтверджує правомірність допущень, які були прийняті при обгрунтуванні аналітичної моделі процесу подрібнення.

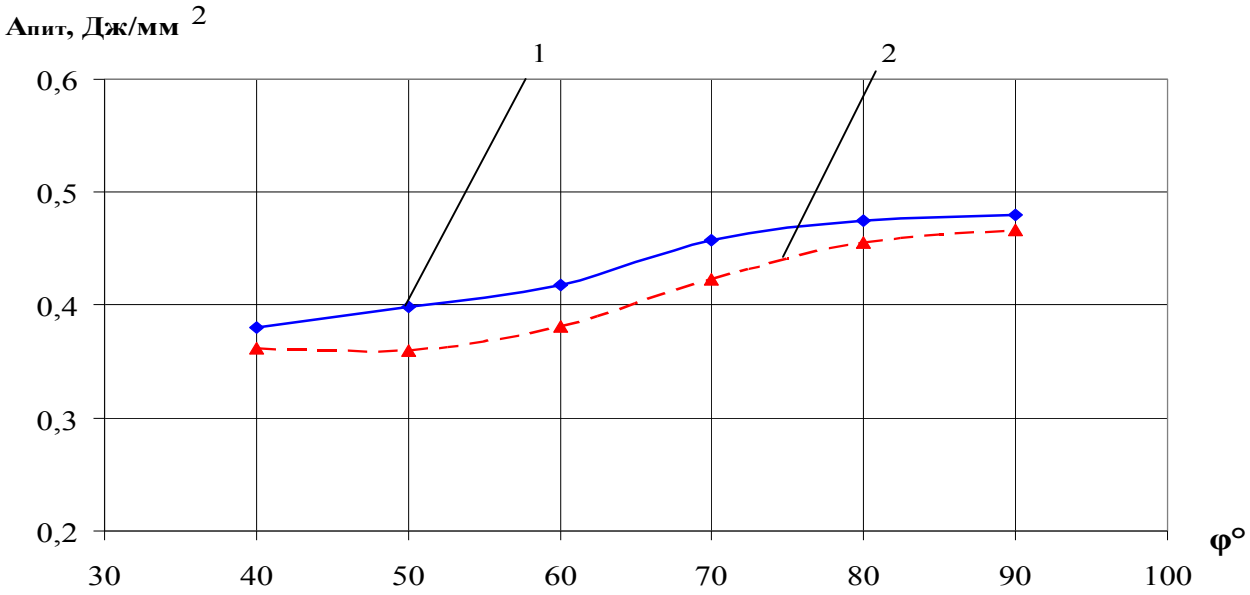


Рис. 3 Визначення питомої роботи руйнування в залежності від кута загострення. 1- теоретичний; 2- експерементальний.

Розбіжності математичної моделі і результатів дослідів обумовлені неминучою помилкою експерименту і неточністю рівнянь регресії, а також деякою невідповідністю математичної моделі, в наслідок прийнятих при аналітичному дослідженні положень для спрощення.

Висновки і перспективи подальшого розвитку даного напрямку

Отримана регресійна залежность підтверджують правомірність і відповідність дискретно аналітичної моделі реальним процесам, що відбуваються у роторному дисковому подрібнювачі відходів полімерних матеріалів. Відносне відхилення не перевищує аналітичних значень від експериментальних значень знаходиться у межах 15%. Розроблена аналітична модель та методика моделювання є адекватна реальним процесам та дозволяє визначити питому роботу подрібнення в залежності від конструктивних та технологічних параметрів. При цьому враховуються матеріал диска та його параметри, а також враховуються властивості матеріалу, що переробляється та ступінь

його дисперсності. При проектуванні, за допомогою аналітичної моделі, можна буде визначити всі існуючі параметри і фактори взаємодії інструменту з матеріалом. В подальшому, представлена модель, може бути використана для загального проектування дискових роторних подрібнювачів .

Список літературних джерел

1. Скиба М.Є. Моделювання процесу подрібнення композиційних матеріалів з використанням методу скінчених елементів [Текст] /М.Є. Скиба, ., Ю.Б.Михайловський , Г.С.Головко // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2003. -№ 6. –С. 7-10.
2. Спиридонов А. А. Планирование эксперимента при исследовании и оптимизации технологических процессов [Текст]: Учеб./А.А. Спиридонов, Н.Г. Васильев. – Свердловск: изд. УПИ им. С. М. Кирова, 1975. – 140 с.
3. Адлер Ю.П. Введение в планирование эксперимента [Текст] /Ю.П. Адлер. - М.: Металургия, 1969. -157 с.
4. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий[Текст] / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова , Ю.В. Грановский. - М.: Наука, 1971. - 282 с.
5. Бондарь Л.Г. Планирование эксперимента при оптимизации процессов химической технологии [Текст] /Л.Г. Бондарь ,Г.Л. Статюха , И.Л. Потяженко . - К.: Вища школа, 1980. - 264 с.
6. Налимов В.В. Новые идеи в планировании эксперимента[Текст]/ В.В. Налимов. — М.:Наука, 1971, - 334 с.
7. Налимов В.В. Статистические методы планирования экспериментальных экспериментов [Текст]/ В.В. Налимов, Н.А. Чернова ; - М.: Наука, 1965.- 252 с.
8. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов [Текст]/ А.А. Спиридонов. – М.: Машиностроение, 1981 -184 с. ил.
9. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента [Текст]/ А.А. Спиридонов, Н.Г. Васильев ;- Свердловск, изд. УПИ им. С.М. Кирова, 1975. -152 с.

ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ І АВТОТРАНСПОРТУ

УДК 621.9.06:681.5

Федориненко Д.Ю., канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

СТІЙКІСТЬ НЕЛІНІЙНОЇ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТОЧНІСТЮ ОБЕРТАННЯ ШПИНДЕЛЯ НА ГІДРОСТАТИЧНИХ ОПОРАХ

Розроблено нелінійну математичну модель електрогідравлічної системи керування точністю обертання шпинделя. Досліджено стійкість та визначені параметри автоколивань системи методом гармонічної лінеаризації.

Постановка проблеми

Одним з перспективних напрямків розвитку верстатобудування є створення новітніх прецизійних та надпрецизійних конструкцій шпиндельних вузлів при одночасному підвищенні швидкості їх обертання. Тенденція розвитку світового верстатобудування виявляє необхідність забезпечення точності обертання шпинделя в межах десятих часток мікрометра поряд із значним зростанням їх робочих швидкостей (у діапазоні 8000-18000 хв$^{-1}$).

Ефективним засобом вирішення поставлених проблем є застосування керованих гідростатичних підшипників (ГСП) в якості опор прецизійних шпиндельних вузлів. Автоматизація процесу регулювання параметрами шпиндельних ГСП створить передумови для розробки нових технологічних процесів прецизійної механічної обробки на верстатах з гідростатичними опорними вузлами, що забезпечують скорочення штучного часу на обробку деталі, підвищення продуктивності та зменшення кінцевої собівартості машинобудівної продукції.

Аналіз досліджень і публікацій

В роботі [1] запропонована технічна ідея підтримання величини мастильного прошарку в ГСП на постійному рівні під навантаженням з боку процесу різання на основі застосування нових конструкцій опор, де початковий зазор змінюється за рахунок витрати рідини або за рахунок геометрії опори. Там же відмічається, що керування величиною мастильного шару в процесі механічної обробки дає можливість підвищити жорсткість опор та розширити область їх застосування.

Авторами роботи [2] розглянуті підходи щодо керування точністю обертання шпинделя на ГСП, розроблені засоби автоматизації процесу регулювання діаметральним зазором на основі нових конструкцій підшипників, відмічено перспективність адаптивного керування точністю механічної обробки на базі керованих шпиндельних ГСП.

З метою автоматизації керування вихідними характеристиками точності верстата запропонований електрогідравлічний привод [3] регульованих радіальних ГСП шпинделя. Недоліком зазначеної системи є використання в каналі зворотного зв’язку вузла порівняння на основі показників віброприскорення шпиндельної бабки з реалізацією первинного перетворювача у вигляді акселерометра. Така структура не завжди дозволяє адекватно оцінити фактичний рівень коливань шпинделя, адже сигнал з корпусу бабки містить багатокомпонентну адитивну шумову складову, що пов’язана з робочими процесами в коливальній підсистемі всього шпиндельного вузла.

Мета статті

Метою роботи є розробка нелінійної математичної моделі системи автоматичного керування (САК) точністю обертання шпинделя та дослідження її стійкості на основі методу гармонічної лінеаризації.

Виклад основного матеріалу

З метою підвищення точності та надійності процесу керування вихідною точністю обертання шпинделя пропонується використання каналу зворотного зв'язку на основі безконтактних датчиків переміщення шпинделя, які розташовані у двох взаємоортогональних площинах (рис. 1).

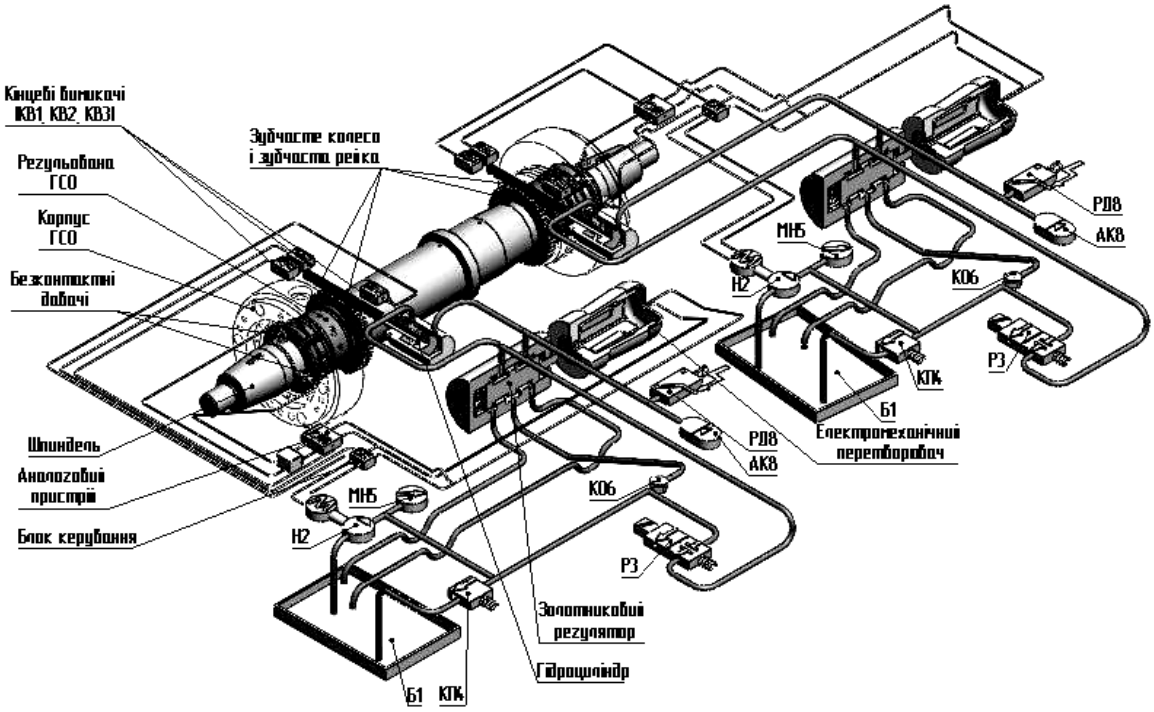


Рис. 1. Принципова схема електрогідравлічної САК керування точністю обертання шпинделя

Сигнали U_1, U_2 з давачів (рис. 2), пропорційні зміщенню шпинделя Δx, Δy в напрямках осей OX і OY відповідно, надходять до спеціального аналогового пристрою, що виконує три основні функції: розрахунку радіус-вектора ρ_i траєкторії шпинделя в поперечному перетині; релейного регулятора; блоку керування кінцевими вимикачами.

Розрахунок величини ρ_i здійснюється за залежністю

$$\rho_i = \sqrt{U_1^2 + U_2^2} = k_д \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}\ , \qquad (1)$$

де $k_д$ – коефіцієнт підсилення безконтактних датчиків переміщень.

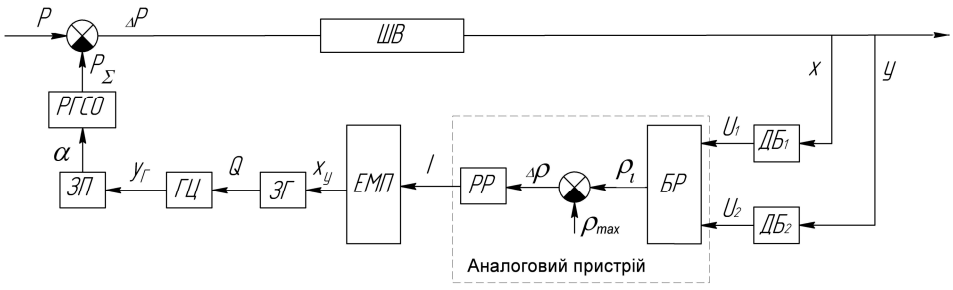


Рис. 2. Функціональна схема електрогідравлічної САК

Релейний регулятор працює наступним чином. В режимі реального часу виконується порівняння отриманого значення напруги ρ_i з максимально припустимим опорним значенням ρ_{max}. При перевищені заздалегідь встановленого при налагоджені значення ρ_{max} сигнал одночасно надходить до електромеханічного перетворювача (ЕМП) та блоку керування електродвигуна насосу періодичної дії Н2, вмикаючи його.

При спрацьовуванні ЕМП шток розподільчого золотника зміщується від нульового положення вниз, відкриваючи прохід рідині від насоса до поршневої камери гідроциліндра. При переміщенні штока гідроциліндра з жорстко з'єднаною з ним зубчатою рейкою повертається шестерня, на внутрішній поверхні якої виконана різь. В процесі обертання шестерні по зовнішній різі хвостовій частини гідростатичної втулки вона набуває осьового переміщення і, завдяки спеціальній конструкції поздовжніх пазів [4], деформуватись, тим самим змінюючи величину статичного зазору δ_0.

Для здійснення реверсу розподільник Р3 переводиться в робоче положення, внаслідок чого робоча рідина від насоса Н2 надходить до штокової порожнини гідроциліндра. При цьому шток з рейкою здійснює зворотній рух, тим самим здійснюючи цикл збільшення зазору δ_0. Це дає можливість продуктивно використовувати дану САК не лише на чистових, а й на чорнових технологічних переходах, коли у високій точності обробки та низькій шорсткості немає потреби.

Для аварійних режимів роботи призначена система кінцевих вимикачів (КВ) та гідроакумулятор АК8. Рух штока в прямому напрямку обмежений двома вимикачами (КВ1, КВ2) для блоку керування електродвигуна і аналогового пристрою відповідно. Спрацьовування зазначених КВ призводить до зупинки гідронасоса та розмиканню контактів ЕМП, що обумовлює повернення штока гідророзподільника у початкове положення, і, як наслідок, призупинення процесу регулювання зазору δ_0.

З метою аналізу електрогідравлічної САК розглянемо побудову її математичної моделі. В монографії [1] докладно розглянутий математичний опис окремих елементів системи, зокрема шпиндельного вузла (ШВ), ЕМП, гідроциліндра (ГЦ), золотникового гідропідсилювача (ЗГ). В даній роботі опис зазначених елементів приводиться в контексті [1]. Значний інтерес представляє аналіз впливу нелінійностей на робочі процеси в САК. Нелінійні ланки проточної частини ГСП $P_\Sigma=f(\delta_0)$ та блоку розрахунку $\rho_i=f(U)$ припускають лінеаризацію. Проте, приведена система на рис. 2 містить дві суттєво нелінійні ланки, а саме: релейний елемент та люфт в зубчастій передачі (рис. 3), що не дозволяють досліджувати електрогідравлічну САК методами лінійного аналізу.

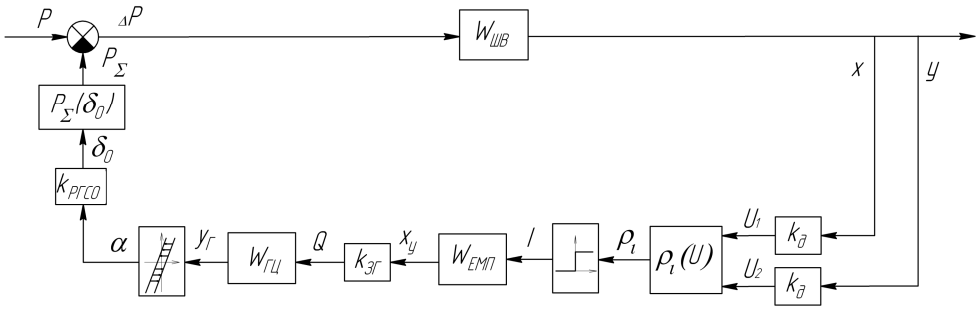


Рис. 3. Структурна схема електрогідравлічної САК

Розглянемо математичний опис цих елементів більш докладно.

Для керування вихідними характеристиками точності шпиндельного вузла запропонована САК (див. рис. 1), що представляє собою дискретну систему з регулятором релейного типу. Застосування релейного регулятору обумовлено рядом переваг по відношенню до лінійних регуляторів, а саме: високою стабільністю, швидкодією і точністю

характеристик регулятора. До недоліків релейних САК слід віднести можливість виникнення автоколивань, що погіршують характеристики механічної частини системи [5].

Регулятор електрогідравлічної САК представляє собою релейний елемент з несиметричною відносно початку координат характеристикою, що описується рівняннями

$$I = \begin{cases} I = 0 \text{ при } \rho_i \le \rho_{max} \\ I = I_0 \text{ при } \rho_i > \rho_{max} \end{cases} . \quad (2)$$

Нелінійність в зубчастій передачі обумовлена наявністю люфту, який виникає в передачі через бічні зазори в спряжених зубцях коліс та внаслідок наявності пружної деформації валів і коліс. Люфти в зубчастих передачах чинять істотний вплив на стійкість САК. В роботі [6] відмічається, що при збільшенні їх значень в системі виникають незатухаючі автоколивання, які зменшують точність робочих процесів в САК.

Величина бічного зазору залежить від ступеня точності виготовлення коліс і точності витримування міжосьової відстані. Люфт в зубчастій передачі визначається кутом повороту вихідного валу при нерухомому вхідному валі і регламентується стандартами. Ймовірні максимальні значення люфту пари зубчастих коліс, виражені кутом повороту веденого колеса, можна визначити за допомогою формули [6]

$$\Delta_{зп} = 6{,}88\frac{C_n}{m \cdot z_2}, \quad (3)$$

де C_n – максимальний бічний зазор за рекомендаціями [6]; m – модуль зчеплення; z_2 – число зубців веденого колеса.

Значення величини люфту c рейкової передачі електрогідравлічної САК за умов припущення про малість кута закручування гідростатичної втулки при реверсі передачі знайдеться як $c = \Delta_{зп}$. Статичний коефіцієнт рейкової передачі характеризується тангенсом кута γ нахилу характеристики і обчислюється за залежністю

$$k = tg\gamma = \frac{360}{\pi \cdot m \cdot z_2}. \quad (4)$$

Математичний опис люфту в рейковій передачі САК може бути поданий у вигляді

$$\alpha = \begin{cases} k(y_Г - c) \text{ при } \dfrac{dy_Г}{dt} > 0 \\ k(y_Г + c) \text{ при } \dfrac{dy_Г}{dt} < 0 \\ const \quad \text{при } |k \cdot y_Г - \alpha| < c \end{cases} . \quad (5)$$

Математичний опис шпиндельних ГСП зручно подати у вигляді лінійної комбінації двох елементів: передавальних функцій кінематичного та гідравлічного ланцюгів опори. Кінематичний ланцюг ГСП за умови попереднього натягу в контурі регулювання представляє собою безінерційну ланку з коефіцієнтом підсилення

$$k_{РГСО} = \frac{R_p \cdot L_p \cdot n_p}{180 \cdot D_p} \cdot tg\beta, \quad (6)$$

де R_p – радіус різі на хвостовій частини гідростатичної втулки; L_p – крок різі; n_p – число заходів різі; D_p – середній діаметр різі; β - кут нахилу конічної поверхні гідростатичної втулки.

В загальному випадку гідравлічний ланцюг регульованої ГСП представляє собою нелінійну ланку із залежністю $P_Σ=f(\delta_0)$, яка відображає нелінійні властивості мастильного прошарку в опорі та може бути представлена (при $\varepsilon \to 0$) у вигляді [7]:

$$P_{\Sigma} = p_{н} S_{еф} \left(\frac{1}{1+\left(1-\frac{e \cdot K}{\delta_0}\right)^3} - \frac{1}{1+\left(1+\frac{e \cdot K}{\delta_0}\right)^3} \right), \qquad (7)$$

де $p_н$ – тиск насоса; $S_{еф}$ – ефективна площа карману ГСП; ε, e – відносний та абсолютний ексцентриситети в ГСП відповідно; $K = 2/\varphi_k \cdot \sin(\varphi_k/2)$; φ_k – кут карману ГСП в полярній системі координат.

З метою лінеаризації розкладемо функцію (7) в ряд Тейлора за ступенем малих відхилень від положення рівноваги підшипника ($\varepsilon \to 0$). Частинна похідна від функції (7) за незалежною змінною δ_0 представляє собою коефіцієнт лінеаризації $k_{оп}$

$$k_{оп} = p_p \cdot S_{еф} \left[\frac{3 \cdot e \cdot K}{\delta_0^2 \left(1+\left(1-\frac{e \cdot K}{\delta_0}\right)^3\right)^2} \cdot \left(1-e\frac{K}{\delta_0}\right)^2 + \frac{3 \cdot e \cdot K}{\delta_0^2 \left(1+\left(1+\frac{e \cdot K}{\delta_0}\right)^3\right)^2} \cdot \left(1+e\frac{K}{\delta_0}\right)^2 \right]. \qquad (8)$$

Таким чином, лінеаризоване рівняння (7) у відхиленнях набуде вигляду: $\delta(P_{\Sigma}) = k_{оп} \cdot \delta(\delta_0)$. Похибка лінеаризації (при зміщенні шпинделя відносно точки лінеаризації на величину 5 мкм) становить 2,2%.

За аналогічних міркувань лінеаризуємо залежність (1). Коефіцієнти лінеаризації $k_{Л1}$, $k_{Л2}$ обчислюються за формулами:

$$k_{Л1} = \frac{U_1}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2}};\ k_{Л2} = \frac{U_2}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2}}. \qquad (9)$$

Тоді, рівняння (1) у відхиленнях набуде вигляду: $\delta(\rho_i) = k_{Л1} \cdot \delta U_1 + k_{Л2} \cdot \delta U_2$. Похибка лінеаризації при значеннях $\varepsilon \le 0{,}5$, що мають місце для прецизійних шпинделів, не перевищує 5%. Враховуючи принцип суперпозиції для лінійної частини системи, розглянемо спочатку вхід блоку розрахунку за сигналом U_2, який пропорційний зміщенню шпинделя Δy.

З урахуванням вищесказаного математична модель електрогідравлічної САК може бути представлена системою рівнянь (2, 4, 5, 6, 8, 9) та $W_{ЕМП} = \frac{k_1}{T_1^2 \cdot s^2 + T_2 \cdot s + 1}$; $k_{ЗГ} = \mu \cdot \pi \cdot d \sqrt{\frac{1}{\rho} \cdot (p_н - p)}$; $W_{ГЦ} = \frac{k_ц}{T_{1ц}^2 \cdot s^2 + T_{2ц} \cdot s + 1}$; $W_{ШВ} = \frac{k_{ШВ}}{T_{1ШВ}^2 \cdot s^2 + T_{2ШВ} \cdot s + 1}$, де передавальні функції $W_{ЕМП}$, $W_{ГЦ}$, $W_{ШВ}$ та коефіцієнти підсилення $k_Л$, $k_{ЗГ}$, k, $k_{РГСО}$, $k_{оп}$ характеризують лінійну частину системи, а залежності $I=f(\rho_i, \rho_{max})$, $\alpha=f(k, y_Г, c, \frac{dy_Г}{dt})$ відповідну нелінійну частину САК.

Для дослідження динаміки нелінійної електрогідравлічної САК необхідно отриману математичну модель привести до розрахункової у вигляді комбінації нелінійної та лінійної частин системи, охоплених від'ємним одиничним зворотнім зв'язком. Використовуючи правила перетворення структурних схем нелінійних САК [8], представимо схему на рис. 3 у вигляді зручному для подальшого аналізу (рис. 4).

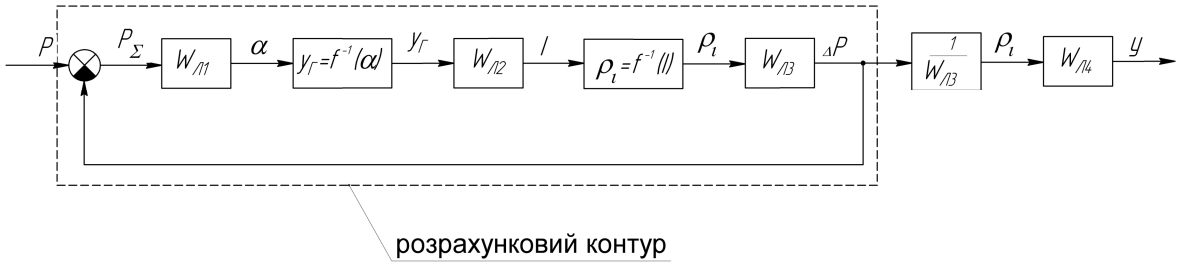


Рис. 4. Перетворена структурна схема електрогідравлічної САК

На рис. 4 позначено: $W_{Л1}=\frac{1}{k_{оп}}\cdot\frac{1}{k_{РГСО}}$; $W_{Л2}=\frac{1}{W_{ГЦ}}\cdot\frac{1}{k_{ЗГ}}\cdot\frac{1}{W_{ЕМП}}$; $W_{Л3}=\frac{1}{k_Л}\cdot\frac{1}{W_{ШВ}}$; $W_{Л4}=\frac{1}{k_Л}$. Обернені нелінійні характеристики $y_Г=f^{-1}(\alpha)$ та $\rho_i=f^{-1}(I)$ визначаються за залежностями:

$$\rho_i=\begin{cases}\rho_i\le\rho_{\max} & \text{при } I=0\\ \rho_i>\rho_{\max} & \text{при } I=I_0\end{cases};\quad y_Г=\begin{cases}\frac{\alpha}{k}+c & \text{при } \frac{d\alpha}{dt}>0\\ \frac{\alpha}{k}-c & \text{при } \frac{d\alpha}{dt}<0\\ \left|\frac{\alpha}{k}-y_Г\right|<c & \text{при } \alpha=const\end{cases}.$$

Як видно з рис. 4, ланки $1/W_{Л3}$, $W_{Л4}$ розташовані на виході замкненого розрахункового контуру і не впливають на його динамічні характеристики. Розглянемо стійкість та параметри автоколивань в контурі зворотного зв'язку на основі методу гармонічної лінеаризації [9] за припущення, що лінійна частина системи є фільтром низьких частот, яка добре гасить коливання високих гармонік.

Для приведеної на рис. 5 системи рівняння автоколивань запишуться у вигляді

$$W_{Л1}(j\omega)\cdot W_{Н1}^{гар}(\alpha)\cdot W_{Л2}(j\omega)\cdot W_{Н2}^{гар}(I)\cdot W_{Л3}(j\omega)=-1, \qquad (10)$$

де $W_{Н1}^{гар}(\alpha)$, $W_{Н2}^{гар}(I)$ - гармонічні передавальні функції нелінійних ланок $y_Г=f^{-1}(\alpha)$ та $\rho_i=f^{-1}(I)$ відповідно.

Амплітуда сигналу ΔP на виході контуру обчислюється як: $\Delta P=P_\Sigma\cdot W_{Л1}(j\omega)\cdot W_{Н1}^{гар}(\alpha)\cdot W_{Л2}(j\omega)\cdot W_{Н2}^{гар}(I)\cdot W_{Л3}(j\omega)$, де $\alpha=f(P_\Sigma)$, $\mathrm{I}=\mathrm{f}(P_\Sigma,\omega)$.

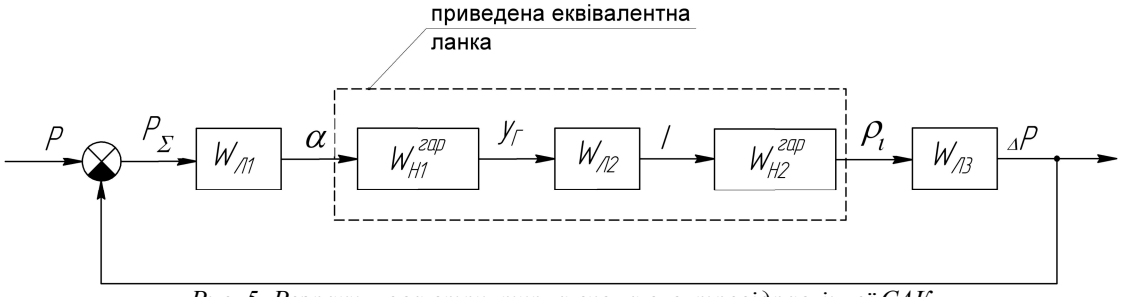


Рис. 5. Розрахункова структурна схема електрогідравлічної САК

Об'єднаємо дві нелінійні ланки та розташовану посеред них лінійну ланку в одну приведену еквівалентну ланку (див. рис. 5) з передавальною функцією $W_{НЛ}^{гар}(\alpha,\mathrm{j}\omega)$. Перепишемо рівняння (10) у вигляді для розв'язку методом Гольдфарба

$$W_Л(j\omega)=-\frac{1}{J_{НЛ}(\alpha,\mathrm{j}\omega)}, \qquad (11)$$

де $W_Л(j\omega)=W_{Л1}(j\omega)\cdot W_{Л3}(j\omega)$; $J_{НЛ}(\alpha, j\omega)=W_{H1}^{гар}(\alpha)\cdot W_{Л2}(j\omega)\cdot W_{H2}^{гар}(I)$.

Гармонічні передавальні функції ланок $y_Г=f^{-1}(\alpha)$ та $\rho_i=f^{-1}(I)$ знаходяться за залежностями:

$$W_{H1}^{гар}=\frac{1}{k\cdot\pi}\left[\frac{\pi}{2}+\arcsin\left(1-\frac{2c\cdot k}{a}\right)+2\left[1-\frac{2c\cdot k}{a}\right]\sqrt{\frac{c\cdot k}{a}\left(1-\frac{c\cdot k}{a}\right)}\right]-j\frac{4c}{\pi\cdot a}\left(1-\frac{c\cdot k}{a}\right) \text{ при a>c·k;}$$

$$W_{H2}^{гар}=-\frac{I_0}{2}+\frac{4I_0}{\pi\cdot a} \text{ при } \rho_{\max}<<I_0,$$

де a – амплітуда гармонійного сигналу на вході нелінійної ланки.

Графічний розв'язок рівняння (11) наведений на рис. 6 за умов: $k_Л$=1108,5; I_0=5·10^{-3} А; T_1=0,0574 с^2, T_2=0,015 с, k_1=0,24 м/А; k_{3I}=0,35 м^2/ч; $T_{1ц}$=2,13 с^2; $T_{2ц}$=0,76 с; $k_ц$=2,2·10^8 с/м^2; c=0,1 рад; k=1; $k_{РГСО}$=5,6·10^{-3} м/рад; $k_{оп}$=105 Н/м; $T_{1ШВ}$=1,34·10^{-3} с^2, $T_{2ШВ}$=7,8·10^{-5} с; $k_{ШВ}$=2,5·10^{-8} м/Н.

Параметри можливих автоколивань визначаються точками перетину годографу лінійної частини системи $W_Л(j\omega)$ із сімейством характеристик $-1/J_{НЛ}(a)$ (криві 1 – 3 на рис. 6) при фіксованих значеннях частоти ω. Частота автоколивань системи (ω_a=205 Гц) відповідає збігу частот в точці перетину кривої 3 з характеристикою $W_Л(j\omega)$. Амплітуда автоколивань визначається точкою $\xi(a, j\omega_a)$ перетину характеристик $-1/J_{НЛ}(a, j\cdot 205)$ з годографом $W_Л(j\omega)$ при фіксованих значеннях частоти а (див. криву 4 на рис. 6), яка становить 1,8 мкм. Автоколивання в системі стійкі, оскільки при зростанні амплітуди А коливань нелінійної частини характеристика не охоплюється амплітудно-фазовою характеристикою (АФХ) лінійної частини системи.

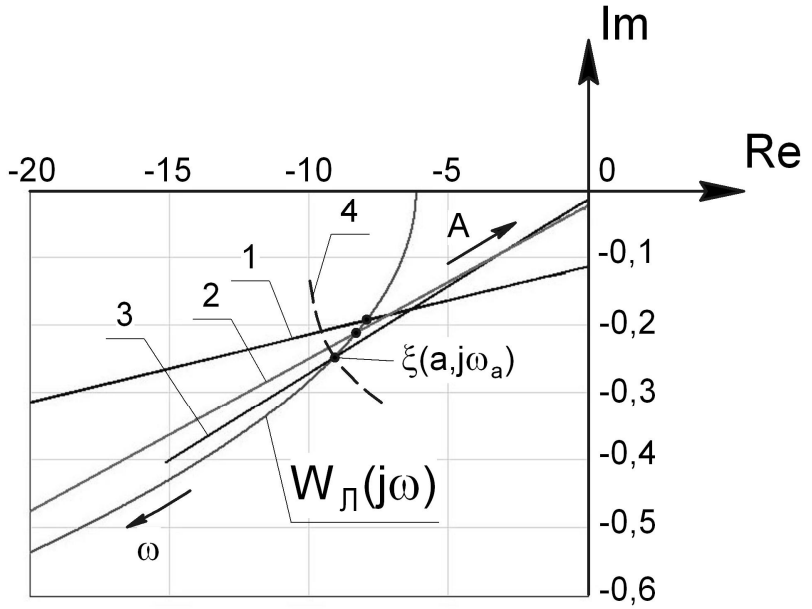


Рис. 6. АФХ електрогідравлічної САК: 1 - ω=120 Гц; 2 - ω=180 Гц; 3 - ω=205 Гц; 4 – годограф характеристики $-1/J_{НЛ}(a, j\cdot 205)$

Умовою застосування методу гармонічної лінеаризації до аналізу нелінійних САК є виконання гіпотези фільтра. Для перевірки умови фільтра визначимо модуль характеристики $W_Л(j\omega)$ при значеннях частот ω_a, $2\omega_a$, $3\omega_a$. Амплітудні значення характеристик становлять: $|W_Л(j\omega_a)|=1{,}9\cdot10^{-2}$; $|W_Л(j2\omega_a)|=5{,}2\cdot10^{-3}$; $|W_Л(j3\omega_a)|=2{,}3\cdot10^{-3}$. Таким чином, амплітуда 2-ї гармоніки становить 27,4%, а амплітуда 3-ї гармоніки – 12,1 % від амплітудного значення першої гармоніки. Отже, гіпотеза фільтра нижніх частот для лінійної частини системи підтверджується.

Як видно з проведеного аналізу, частотний діапазон (ω_a=205 Гц) та амплітудні значення (a=1,8 мкм) автоколивань в електрогідравлічній САК не чинять істотного впливу на динаміку виконавчого механізму приводу – регульованої гідростатичної опори, що має низьку частотну смугу пропускання сигналу (ω<0,5 Гц) та амплітудний діапазон вхідного регулювання, який вимірюється в міліметрах.

Висновки

Розроблено принципову, функціональну, структурну схему електрогідравлічної САК точністю обертання шпинделя на основі застосування в каналі зворотного зв'язку безконтактних давачів переміщення, що дозволяють підвищити надійність системи в цілому.

Створена нелінійна математичну модель електрогідравлічної системи керування з каналом зворотного зв'язку за переміщенням шпинделя, яка є основою для моделювання робочих процесів в САК.

Досліджено стійкість і визначені параметри автоколивань в системі методом гармонічної лінеаризації. Встановлено, що автоколивання не суттєво впливають на динаміку виконавчого механізму приводу і при подальшому аналізі ними можна знехтувати.

Список використаних джерел

1. Регульовані гідростатичні підшипники для шпиндельних вузлів / Ю.О. Сахно, Д.Ю. Федориненко, С.В. Бойко, В.С. Волик. – Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект-Поліграф», 2009. – 172 с.
2. Струтинський В.Б. Керування точністю обертання шпинделя на гідростатичних опорах з адаптивним регулюванням / В.Б. Струтинський, Д.Ю. Федориненко // Промислова гідравліка і пневматика. – 2009. – №2(24). – С. 66 – 70.
3. Пат. 90579 UA, МПК F15B 9/00. Електрогідравлічний привод керування зазором в гідростатичній опорі / Сахно Ю.О., Федориненко Д.Ю., Бойко С.В., Волик В.С.; заявник і патентовласник Чернігівський державний технологічний університет. – № а 2008 10426; заявл. 15.08.2008; опубл. 11.05.2010, Бюл. № 9.
4. Струтинський В.Б. Динамічні характеристики шпиндельних вузлів на регульованих гідростатичних опорах / В.Б. Струтинський, Д.Ю. Федориненко // Праці Таврійського державного агротехнологічного ун-ту. Випуск 10. – 2010. – Т. 9. – С. 105 – 118.
5. Зайцев Г. Ф. Теория автоматического управления и регулирования / Г.Ф. Зайцев. – К.: Вища школа, 1989. – 431 с.
6. Устройства и элементы систем автоматического регулирования и управления. Книга 3. Исполнительные устройства и сервомеханизмы / [под ред. Солодовникова В.В.] – М.: Машиностроение, 1976. – 735 с.
7. 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).
8. Теория автоматического управления: нелинейные системы управления при случайных воздействиях / [Нетушил А.В., Балтрушевич А.В. и др.] под ред. А.В. Нетушила – М.: Высшая школа, 1983. – 432 с.
9. Попов Е.П. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления / Е.П. Попов. – М.: Физматгиз, 1988. – 256 с.

УДК 621.91; 669.15

О. М. Ярута, канд. техн. наук,
В О. Ярута, канд. техн. наук**,**

Харківська державна академія культури, м. Харків, Україна

І. І. Білоконь, пом. директора ЗАТ

СП ЗАТ ХЕМЗ-ІРЕС, м. Харків, Україна

СИЛА ВІДРИВУ МАГНІТУ ВІД ДЕТАЛІ ЯК ХАРАКТЕРИСТИКА ОБРОБЛЮВАНОСТІ ДЕТАЛІ З АУСТЕНІТНОГО НІКЕЛЬ-МАРГАНЦЕВОГО ЧАВУНУ

Розглядається можливість для аустенітних чавунів виразити оброблюваність через силу відриву магніту від деталі. Це дозволить провести розподіл деталей за властивостями оброблюваності.

Вступ

Аустенітні чавуни з вмістом нікелю до 12…14 % характеризуються цілим рядом позитивних властивостей, а саме: низькою магнітною проникністю, збільшеною хімічною стійкістю, високим електричним опором тощо, але не завжди мають достатньо добру оброблюваність. Зауважимо, що оброблюваність матеріалу деталі є комплексною характеристикою і залежить, в основному, від мікроструктури та твердості матеріалу. До таких чавунів давно прикута увага дослідників та виробничників. Обробка різанням є і на далеке майбутнє залишиться основним технологічним переходом виготовлення точних деталей машин та механізмів. Оброблюваність виливок – це властивість матеріалу виливка оброблятися зніманням стружки різцем для одержання виробів із заданими розмірами та якістю поверхні. При оптимальних режимах різання оброблюваність виливок в основному залежить від мікроструктури металу. Тому кожна деталь має проходити контроль на відповідність попередньо відомому критерію, який характеризує поступливість цієї деталі обробці різанням.

Аналіз літературних джерел

В роботі [1] приведено хімічний склад та інші характеристики ряду аустенітних чавунів із вмістом нікелю близько 10 %. А в роботі [2] вивчаються властивості не тільки чавунів з невисоким вмістом нікелю, а і без нікелю з виплавкою аустенітного чавуну у вагранці. Однак, в них не розглядаються питання, пов’язані з їх оброблюваністю. У роботі [3] показано, від яких факторів залежить рівень механічних властивостей аустенітних чавунів та їх механічна обробка. В роботі [4] та багатьох інших показано, що твердість металу є однією з основних характеристик оброблюваності деталей. Але вимірювання твердості кожної деталі вимагає значних витрат праці. Таким чином, розподіл деталей за властивостями оброблюваності є актуальною науково-технічною задачею.

Мета статті

Показати, що характеризувати механічну обробку може сила відриву постійного магніту від деталі, якщо матеріалом деталі є аустенітний нікель-марганцевий чавун.

Визначення оброблюваності аустенітних чавунів за силою відриву магніту від деталі

Під час впровадження у виробництво деталей насосного агрегату заглибного випробовувалися аустенітні чавуни, які мали різні величини твердості. Використовуючи металографічний мікроскоп, визначали структуру чавуну по: графіту (оцінювалися форма, розподілення, розміри та кількість включень графіту), металевій основі (визначали аустеніт) та цементиту (оцінювався % зайнятої площі). При цьому вимірювалася твердість

чавуну, а також величина сили відриву магніту від поверхні деталі. Величини значень для чавуну різних плавок, після відповідної математичної обробки, наведені у табл. 1.

Основною складовою мікроструктури, яка визначає оброблюваність, є цементит, а з фізичних характеристик – твердість. З метою простежити залежність та утвердитися в тому, що така залежність є достовірною, між величинами твердості чавуну та кількістю цементиту, а також між силою відриву магніту від деталі та кількістю цементиту, побудовано графіки (рис. 1). На графіку твердість чавуну та сила відриву магніту як числа, близькі по абсолютній величині, відкладені на одній осі.

Для обробки експериментально одержаних даних використана методика апроксимації лінійних та нелінійних багатофакторних залежностей. При розгляді графіка витікає наступне. Залежність між величинами, які розглядаються, є достовірною (коефіцієнт кореляції дорівнює 1,0 та 0,908). При відсутності цементиту у структурі (x = 0) твердість чавуну відповідає НВ139,58 (приймаємо НВ 140). При збільшенні цементиту понад 30 % площі – твердість чавуну значно збільшується по кривій другого порядку. Сила відриву змінюється по прямій і при 0 % цементиту має величину 50 mN. Окремо побудовано графік зв`язку твердості металу з силою відриву магніту від деталі (рис. 2).

Таблиця 1

*Металографічні дослідження, твердість чавуну та сила відриву магніту від деталі**

N п/п	Параметр / № плавки	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Графіт	Пластинчатий								
2	Форма включ. графіту,ПГф.	1	1	1	2	1	1			
3	Розмір включень, ПГд	90	90	90	25	135	90			
4	Розподіл включень, ПГр.	3	3	3	9	3	3			
5	Кількість включень, ПГ	4	4	4	6	4	4			
6	Металева основа	Аустеніт								
7	Цементит, % площі	30	25	25	20	15	7	10	5	0
8	Твердість чавуну, НВ	269	217	229	170	143	137	133	136	134
9	Сила відриву, mN			300	250	200	120	150	100	50

**У плавках №№ 7…9 металева основа, графіти (ПГф, ПГд, ПГр, ПГ) не визначалися. Передбачається, що графіт пластинчатий, а металева основа – аустеніт. Сила відриву у плавках №1 та №2 не визначалися, тому що деталі з твердістю, більшою* НВ 190, *піддаються механічній обробці зі складністю.*

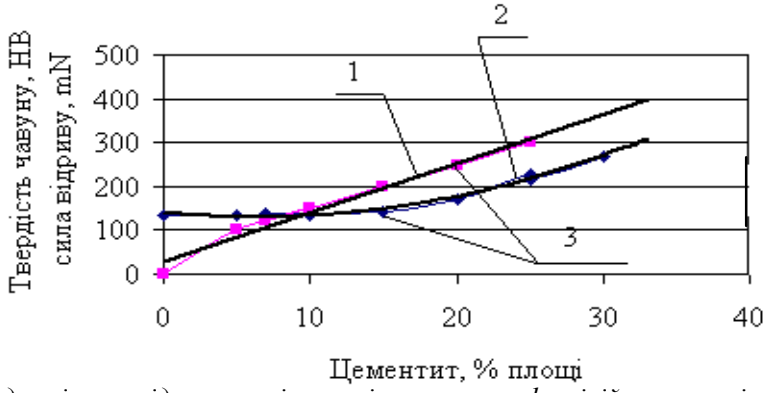


Рис. 1. Зв'язок твердості, сили відриву та кількості цементиту: 1 – лінійна залежність між силою відриву F та кількістю цементиту Ц: $F = 10Ц + 50$, $R^2 = 1$; *2 – поліноміальна залежність між твердістю* НВ *та кількістю цементиту:* $НВ = 0{,}249 \cdot Ц^2 - 3{,}0965 \cdot Ц + 139{,}58$; $R^2 = 0{,}9842$; *3 – криві побудовано за даними досліду*

Для оцінювання оброблюваності деталей використовується, крім інших, поправочний швидкісний коефіцієнт $К_М$ [5], який враховує твердість або міцність матеріалу, що обробляється. Якщо твердість аустенітного чавуну НВ 140, то коефіцієнт $К_М$

$$K_M = (140/HB)^{nv}, \quad (1)$$

де НВ – твердість по Брінелю; nv = 1,5 або 2,2 для чавунів відповідно з кулястим та пластинчатим графітом при точінні деталей різцем з твердого сплаву ВК6.

Якщо вимірювати не твердість, а силу відриву F магніту від деталі, то у формулу (1) необхідно підставити значення НВ, показані на рис. 2, тобто

$$K_{M1} = [140 / (0{,}3375F + 98{,}158)]^{nv}, \quad (2)$$

$$K_{M2} = [140 / (0{,}0027F - 0{,}6368F^2 + 165{,}99)]^{nv}. \quad (3)$$

Відзначимо, що більш точні значення будуть одержані при використанні формули (3). Формулу (2) допустимо використовувати під час приблизних розрахунків.

Відомо, що аустеніт через виникнення поверхневого наклепу погіршує оброблюваність деталей з чавуну. Крім того, лінія апроксимації поліноміальної кривої (рис. 2), коли сила відриву магніту дорівнює нулю, показує збільшення твердості чавуну. В цьому випадку поверхневий наклеп набирає визначального значення. Сила відриву магніту від 50 до 200 mN відповідає найменшій твердості чавуну та найкращій його оброблюваності. Зменшення сили відриву від 50 mN та її збільшення понад 200 mN характеризує збільшення твердості і, відповідно, погіршення оброблюваності деталей.



Рис. 2. Зв'язок сили відриву магніту з твердістю чавуну: 1 – лінійна залежність між твердістю та силою відриву. $HB_1 = 0{,}3375 \cdot F + 98{,}158$; $R^2 = 0{,}7083$; *2 – поліноміальна залежність між твердістю та силою відриву.* $HB_2 = 0{,}0027 \cdot F^2 - 0{,}6368 \cdot F + 165{,}99$; $R^2 = 0{,}9599$; *3 – крива побудована за даними досліду*

Практика обточування деталей підтвердила, що краще всього обробляються деталі, у яких сила відриву магніту від деталі складає 50–200 mN. Як відомо, твердість аустеніту складає НВ 170– 200. Більш низька твердість від зазначеної при вмісті цементиту менше 20 % площі виникає під впливом значно розгалужених включень графіту. Зв`язок твердості з розподілом включень графіту, з кількістю включень графіту, з розміром включень, з формою включень графіту має низьку величину достовірності апроксимації (R^2 змінюється від 0,0508 до 0,3347), і тому в роботі не розглядаються як такі, що можуть характеризувати оброблюваність чавуну. Графіки показані на рис. 3-6.

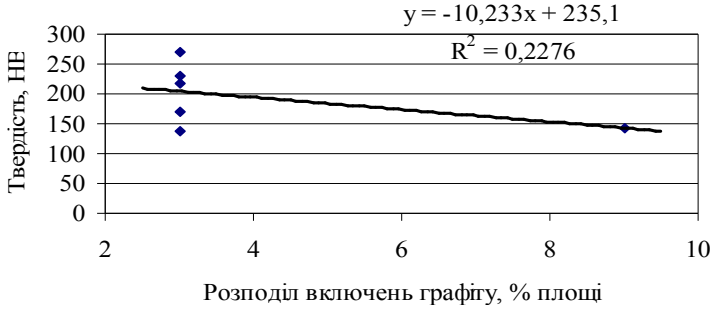


Рис. 3. Зв'язок твердості з розподілом включень графіту



Рис. 4. Зв'язок твердості з кількістю включень графіту

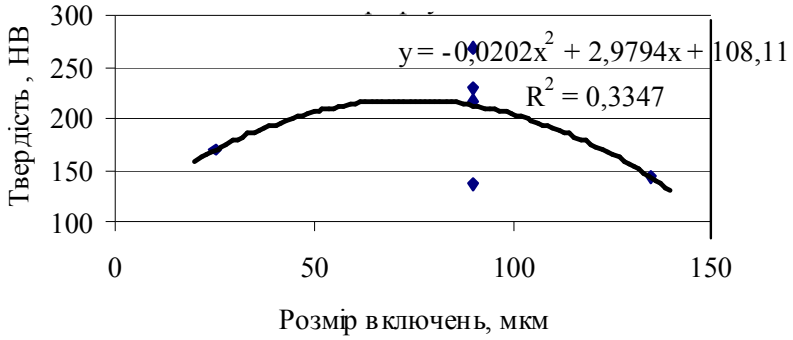


Рис. 5. Зв'язок твердості чавуну з розміром включень графіту

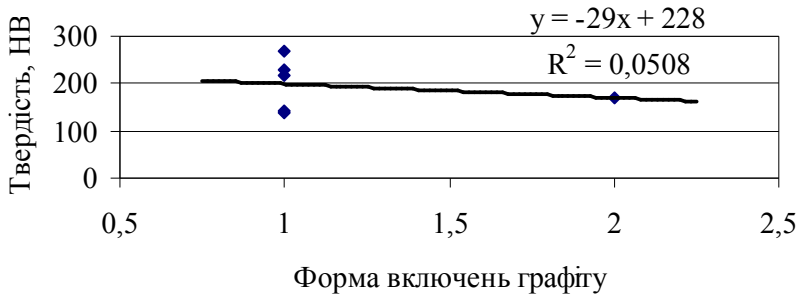


Рис. 6. Зв'язок твердості чавуну з формою включень графіту

Висновки

Доведено, що величина сили відриву магніту від деталі дозволяє визначати таку властивість як оброблюваність аустенітного нікель-марганцевого чавуну, що дозволяє швидко і без значних витрат праці провести розподіл деталей за характеристикою оброблюваності.

Список літературних джерел

1. Аптекарь А.И. Аустенитные чугуны с повышенным содержанием марганца / А.И Аптекарь, Ю.Е. Абраменко – М.: ЦНТИ, 1977. – 22 с.
2. Меськин В.С. Электротехнические чугуны / В.С. Меськин, Б.Е. Сомин – Л. – М.: ОНТИ. НКТП, 1935. – 136 с.
3. Шейко А.А. Влияние никеля, марганца, меди и кремния на механические свойства аустенитного высокопрочного чугуна «Номаг» / А.А. Шейко, Б.Г. Зеленый, В.Н. Бондаревский и др. // Материалы VI Международной научно-практической конференции «ЛИТЬЕ-2010». Запорожье. Украина. 2010. С. – 100 – 101.
4. Збільшення твердості металу виливок з нікель-марганцевого високолегованого чавуну / А.М. Ярута, І.І. Білоконь, О.О Радченко і ін. – Харків. ХЦНТЕІ, 2010, № 02. – 4 с.
5. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. / В.Ф. Бобров – М.: Машиностроение, 1975. – 344 с.

УДК 621.923

В.И. Венжега, канд. техн. наук

ОЦЕНКА ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА ДВУСТОРОННИХ ТОРЦЕШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКАХ

Представлены обобщенные результаты исследований, позволяющие определять погрешности геометрической формы и линейных размеров деталей, обработанных на двусторонних торцешлифовальных станках.

Вступление

На машиностроительных предприятиях параметры точности и качества обработки деталей машин традиционно формируются при окончательном шлифовании. В полной мере это относится к шлифованию ответственных деталей с торцевыми рабочими поверхностями, к которым предъявляются высокие требования по точности и качеству обработки: корпусных деталей, полумуфт, цилиндрических роликов, поршневых пальцев, крестовин карданных валов, винтовых пружин, колец подшипников, многогранных неперетачиваемых твердосплавных пластин и других.

При двусторонней обработке возможны некоторые погрешности обработки, вызванные неточной наладкой и подналадкой станка, неправильным выбором режимов резания, припуска на шлифование, характеристики шлифовальных кругов, потерей режущей способности и несвоевременной правкой, загрязненностью смазочно-охлаждающей жидкости, недостаточным количеством и неправильным выбором ее, а также износом отдельных узлов или деталей станка.

К таким погрешностям относятся непараллельность, неплоскостность, и неперпендикулярность обработанных деталей, отклонение расстояния между торцами от номинала, срезы плоскостей деталей, прижоги шлифуемой поверхности.

Анализ исследований и публикаций

Авторы [1] считают, что при шлифовании на двусторонних торцешлифовальных станках неперпендикулярность деталей по сравнению с исходной увеличивается. Происходит это в связи с возникновением двусторонних сил резания, тангенциальные составляющие которых создают вращающий момент. В процессе шлифования вращающий момент вызывает перекос деталей, что увеличивает исходную неперпендикулярность образующей к торцу.

В работе [2] автором разработана методика определения точности формообразования торцов цилиндрических деталей, которые не вращаются вокруг своей оси при круговой подаче их в зону шлифования профилированными и ориентированными кругами. Разработаны схемы и приведены уравнения, позволяющие определять торцевое биение Δ_1, непрямолинейность профиля Δ_2, неплоскостность Δ_3 и неперпендикулярность к оси детали Δ_4.

При нахождения координат точек реальной поверхности торца детали решаются совместно векторные уравнения поверхности детали и круга. Для этого радиус-вектор поверхности детали $\bar{r}_q$ переводится в систему координат инструмента:

$$\bar{r}_{uq} = A_{uq} \cdot \bar{r}_q(r, \theta_q),$$

где A_{uq} – матрица перехода из системы координат детали в систему координат инструмента, которая определяется обобщенным формообразующим кодом станка.

Решив уравнение, получают $\bar{r}_{uq}$ – радиус-вектор точек поверхности детали в системе координат инструмента и $\bar{r}_и$ – радиус-вектор точек поверхности круга.

Для точек касания поверхностей детали и инструмента

$$\overline{r}_u = \overline{r}_{uq}$$

Из этого условия находятся координаты Z_q точек торцевой поверхности детали и определяется ее погрешность.

Постановка задания

Целью работы является разработка модели и составление программы расчета в пакете MathCAD, позволяющей определять отклонения от плоскостности и перпендикулярности торцов обработанных деталей

Изложение основного материала

Для получения оценок точности размера, расположения и формы обработанной поверхности нужно построить метрологическую базу, с помощью и относительно которой можно найти эти оценки. Такой базой являются базовые поверхности. Принципиальная структура системы оценок точности обработанной поверхности следующая: погрешности размера и расположения обработанной поверхности принимаются равными погрешностям размера и расположения базовой поверхности, погрешности формы определяются как функции отклонений реальной поверхности от базовой.

Размеры и расположение базовой поверхности зависят как от отклонений точек обработанной поверхности от номинальной, так и от вида базовой поверхности. Наиболее важным видом базовой поверхности является среднеквадратичная базовая поверхность, имеющая ту же форму, что и номинальная; определяется по точкам реальной поверхности таким образом, что средний квадрат расстояния между точками базовой и реальной поверхностей минимален.

Номинальная поверхность задается уравнением обрабатываемой поверхности. Геометрическая точность торцов обработанных деталей оценивается точностью линейных размеров, отклонением от плоскостности, отклонением от параллельности плоскостей, отклонением от перпендикулярности плоскости относительно оси и торцевым биением.

В работе предложена методика для определения отклонения от перпендикулярности торца относительно оси и отклонения от плоскостности торца.

Получены координаты N точек $M_1, M_2, M_3, \ldots, M_N$ обработанной поверхности по профилограмме или иным способом. Данные точки, как правило, расположены на окружности, радиусом r, равным траектории движения измерительного наконечника. Тогда координаты произвольной точки траектории

$$x_u = r \cdot \cos\varphi; \quad y_u = r \cdot \sin\varphi; \quad z_u = 1,$$

где φ – угол, измеряемый от условного направления;

u – индекс точки торца с комбинацией координат x_u, y_u.

Функциональная зависимость, описывающая положение среднеквадратичной плоскости торца для проведенных измерений, имеет вид

$$z(x, y) = a \cdot x + b \cdot y + d,$$

где a, b, d – искомые параметры уравнения регрессии плоскости.

Поскольку результаты опытов содержат случайные погрешности, то для повышения точности и надежности определения оценок параметров заданной кривой следует выполнить количество измерений N, которое бы превышало количество искомых параметров, то есть N> 3.

В этом случае систему условных уравнений можно решить, используя принцип Лежандра для нахождения минимума суммы квадратов ошибок:

$$S = \sum_{u=1}^{N} \left[a \cdot x + b \cdot y + d - Z_m(x, y) \right]^2 = \min.$$

Считая уравнение равноточным, из условия минимизации выходит, что

$$\frac{\partial S}{\partial a} = \frac{\partial S}{\partial b} = \frac{\partial S}{\partial d} = 0.$$

Получаем систему нормальных уравнений, содержащую количество уравнений, равное количеству искомых параметров. Запишем ее в развернутом виде

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial a} = 2 \cdot \sum_{u=1}^{N} \left[x_u \cdot \left(a \cdot x + b \cdot y + d - Z_m(x, y) \right) \right] = 0, \\ \frac{\partial S}{\partial b} = 2 \cdot \sum_{u=1}^{N} \left[y_u \cdot \left(a \cdot x + b \cdot y + d - Z_m(x, y) \right) \right] = 0, \\ \frac{\partial S}{\partial c} = 2 \cdot \sum_{u=1}^{N} \left[z_u \cdot \left(a \cdot x + b \cdot y + d - Z_m(x, y) \right) \right] = 0. \end{cases}$$

Или после преобразований

$$\begin{cases} a \cdot \sum_i x_i \cdot x_i + b \cdot \sum_i x_i \cdot y_i + d \cdot \sum_i x_i = \sum_i x_i \cdot Z_m, \\ a \cdot \sum_i x_i \cdot y_i + b \cdot \sum_i y_i \cdot y_i + d \cdot \sum_i y_i = \sum_i y_i \cdot Z_m, . \\ a \cdot \sum_i x_i + b \cdot \sum_i y_i + d \cdot N = \sum_i Z_m. \end{cases}$$

Эту систему уравнений можно решить относительно неизвестных коэффициентов с помощью матричного метода:

$$A \cdot K = \Delta,$$

где $A = \begin{bmatrix} \sum_i x_i \cdot x_i & \sum_i x_i \cdot y_i & \sum_i x_i \\ \sum_i x_i \cdot y_i & \sum_i y_i \cdot y_i & \sum_i y_i \\ \sum_i x_i & \sum_i y_i & N \end{bmatrix}$ – матрица, строки которой составлены из суммы координат и сумм произведений координат точек обработанной поверхности $M_u(X_i, Y_i, Z_i)$;

$K = \begin{bmatrix} a & b & d \end{bmatrix}^T$ – искомый вектор коэффициентов, описывающий положение среднеквадратичной плоскости;

$\Delta^T = \begin{bmatrix} \sum_i x_i \cdot Z_m & \sum_i y_i \cdot Z_m & \sum_i \cdot Z_m \end{bmatrix}$ – вектор, содержащий сумму отклонений положений точек от номинального (принимают из профилограммы).

Решая матричное уравнение, определяют искомый вектор коэффициентов плоскости и находят её уравнение.

$$K = A^{-1} \cdot \Delta.$$

Отклонение от перпендикулярного положения среднеквадратичной плоскости по отношению к оси детали (ось Z) будет равно углу между нормалью к плоскости и осью Z:

$$\cos(n, Z) = \frac{c}{\sqrt{a^2 + b^2 + 1}}.$$

Или с учетом тригонометрических соображений

$$\alpha \approx \sin\alpha = \sqrt{1 - \cos^2\alpha} = \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{a^2 + b^2 + 1}}.$$

Отклонение от плоскостности торца определяют, развернув систему координат дета-

ли до совпадения ее оси с положением нормали к среднеквадратичной плоскости по разности наибольшего и наименьшего значений координат Z. Подобным образом можно определить непараллельность торцов при базировании в процессе измерения по противоположному торцу. Составлена программа расчета отклонения от плоскостности и перпендикулярности в пакете программ MathCAD, позволяющая производить расчеты и построить среднеквадратичную плоскость с измеренными точками (рисунок 1).

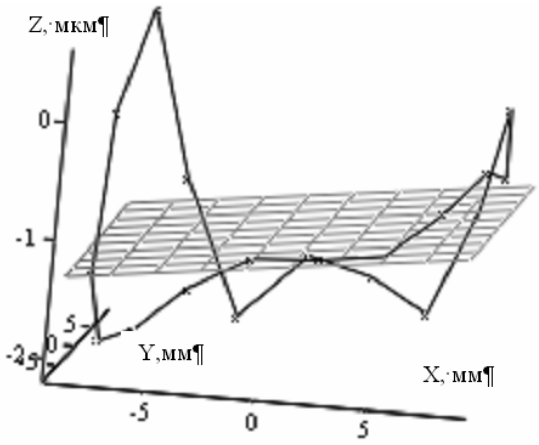


Рис. 1. Среднеквадратичная плоскость с измеренными точками на торцевой поверхности

Выводы

В работе предложена методика для определения отклонения от перпендикулярности торца относительно оси и отклонения торца от плоскостности. Составлена программа расчета отклонения от плоскостности и перпендикулярности в пакете программ MathCAD, позволяющая производить расчеты и построить среднеквадратичную плоскость с измеренными точками.

Список литературных источников

1. Шахновский С.С. Погрешности торцев колец подшипников при двустороннем плоском шлифовании / С.С. Шахновский // Станки и инструмент.– 1983.– №1.–С 27-30.
2. Кальченко В.В. Підвищення ефективності двостороннього шліфування торців циліндричних деталей орієнтованими абразивними кругами: Дис. канд. техн. наук: 05.03.01 – Харків, 1998.- 203с.
3. Кальченко В.В., Пасов Г.В. Формоутворення торців циліндричних деталей, що не обертаються під час обробки, профільованими і орієнтованими кругами. //Вісник Чернігівського державного технологічного університету: Сборник научных трудов.–Чернигов: ЧДТУ.– 1999.–№9.–С. 11–17.
4. Кальченко В.И., Кальченко В.В., Рудик А.В., Венжега В.И. Дослідження процесу однопрохідного двостороннього шліфування. //Вісник Чернігівського державного технологічного університету: Сборник научных трудов.–Чернигов: ЧДТУ.– 2006.–№28.–С. 35–44.
5. Венжега В.І. Підвищення ефективності шліфування торців при схрещених осях деталі та круга з калібрувальною ділянкою: Дис. канд. техн. наук: 05.03.01 – Харків, 2009.- 214с. .

УДК 621.833:621.914.5

А.А. Клочко, канд. техн. наук

Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск, Украина

ТЕХНОЛОГИЯ ЧИСТОВОЙ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКИ КРУПНОМОДУЛЬНЫХ ЗАКАЛЕННЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Разработаны новые технологические направления формообразования чистовой зубообработки крупномодульных колес методом непрерывной обкатки с использованием дисковых немодульних фрез, размеры которых не зависят от модуля, и способы их реализации. При методе непрерывной обкатки частота вращения инструмента не связана кинематически с частотой вращения заготовки, что позволяет использовать как режущие материалы керамику и сверхтвердые материалы, т.е. увеличить скорость резания в 3-4 раза (до 5-8 м / с) и обеспечить повышение качества обработки обработанной зубчатой поверхности.

Введение

Технологические особенности обработки крупномодульных закаленных зубчатых колес твердосплавным инструментом базируются прежде всего на выборе рациональных схем формообразования и выборе режимов резания. Тяжелые зубофрезерные станки, изготовленные на ОАО “Коломенский ЗТС” (г. Коломна), по жесткости и быстроходности не предназначены для работы методом обкатки твердосплавными червячными фрезами, а также из-за сравнительно невысокой стойкости используемых отечественных твердых сплавов. Производственный опыт ряда заводов показал, что точность обработки крупномодульных и закаленных до $HRC_э$ 50…55 колес модулем m>12мм червячными твердосплавными фрезами по нормам плавности и контакта не превышает 9-10-ой степеней точности по ГОСТ1643- 81.

Поэтому для чистовой зубообработки колес крупного модуля предложен технологический метод прерывистого обката с использованием дисковых немодульных фрез (размеры фрезы не зависят от модуля), оснащенных керамическими пластинками, и специальных фрезерных суппортов [1]. Метод прерывистого обката используется на зубострогальных и зубошлифовальных станках и обладает тем преимуществом, что в момент рабочего хода инструмента заготовка колеса либо неподвижна, или совершает незначительный поворот, т.е. обработка протекает, по сравнению с методом обкатки, в более жестких условиях.

Кроме того, при этом методе частота вращения инструмента не связана кинематически с частотой вращения заготовки, что позволяет использовать в качестве режущих материалов керамику и сверхтвердые материалы, т.е. увеличить скорость резания в 3-4 раза (до 5-8 м/сек) и обеспечить повышение производительности обработки при высоком качестве обработанной поверхности зубьев. Обработка проходит при увеличенном, по сравнению с червячной фрезой, количестве резов, профилирующих эвольвентную поверхность зубьев, что формирует высокую их точность и низкую шероховатость.

Впервые идея чистовой обработки закаленных колес методом прерывистого обката, спецсуппорт к зубострогальному станку и дисковые твердосплавные фрезы (рис. 1) были предложены фирмой “MAAG,” Швейцария.

При реализации технологии лезвийной обработки закаленных колес инструментами дискового типа рассмотрены следующие схемы резания. Схема I (рис. 1) предложена фирмой “MAAG”. Согласно этой схеме резания используются две дисковые фрезы, оснащенные твердым сплавом и расположеные с охватом одного зуба обрабатываемого колеса.

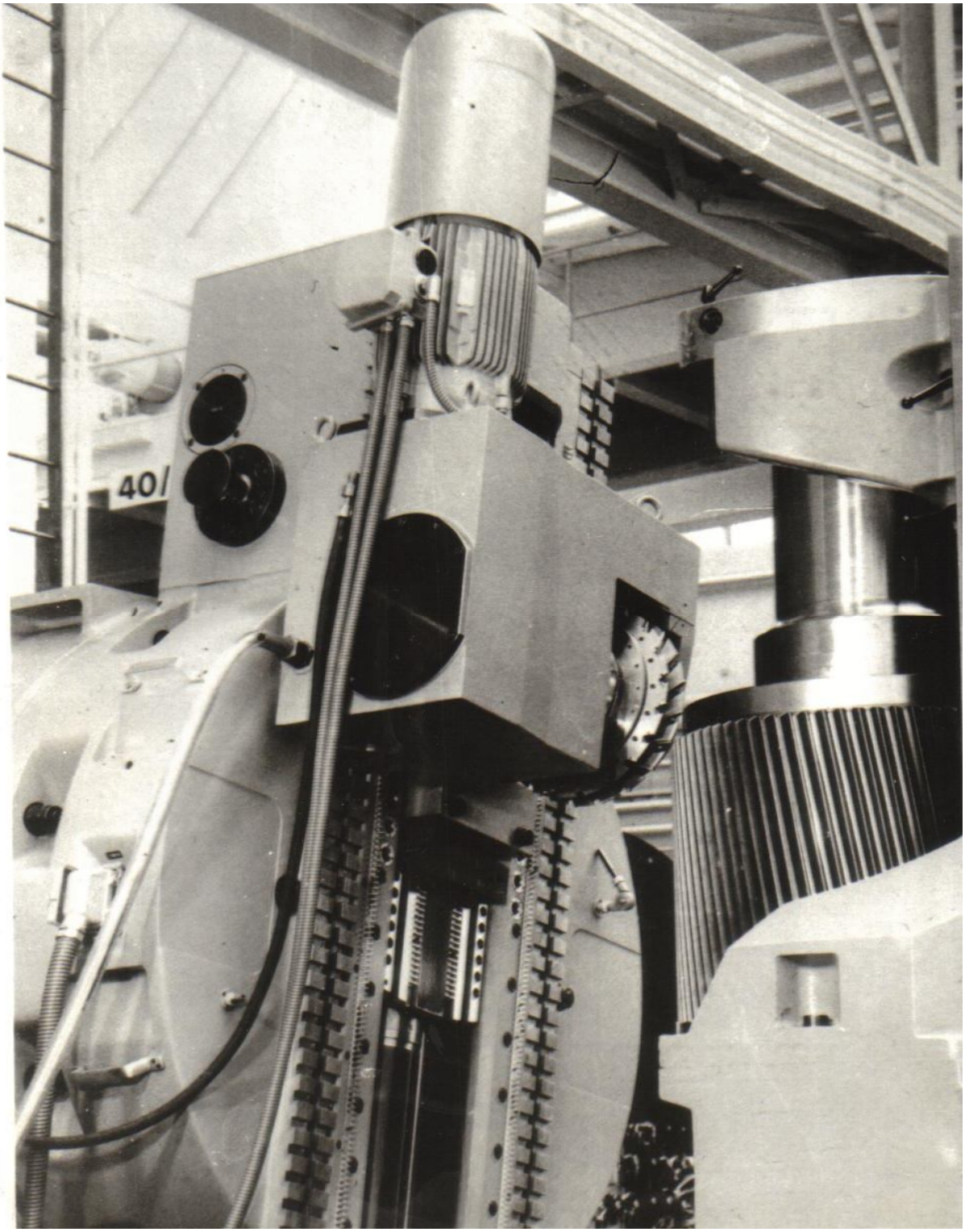


Рис. 1. Спецсуппорт к зубострогальному станку с дисковыми твердосплавными фрезами фирмы «МААГ» (Швейцария)

Профильный угол зубьев инструментов равен $\alpha_u = 20^o$ (рис. 2 а). Колесо совершает прерывистое вращение в направлении ω_k и линейное перемещение в направлении V_k. Полная обработка обеих боковых поверхностей зубьев осуществляется при повороте колеса из положения 1 в положение 2 . При этом линейное перемещение колеса

или путь обката l_0 определяется отрезком прямой O_1O_2.

Схема резания II (рис. 2, б) также предложена фирмой “MAAG” и реализована на зубошлифовальных станках. Здесь оба инструмента расположены в одной впадине зубьев колеса. Профильный угол зубьев инструментов $\alpha_u = 20^o$. Колесо совершает вращение в направлении ω_k и линейное перемещение в направлении V_k. Полная обработка обеих боковых поверхностей зубьев осуществляется при повороте колеса из положения 1 в положение 2 . При этом линейное перемещение колеса или путь обката l_0 определяется отрезком прямой O_1O_2.

Общим недостатком схем I и II является то, что в обоих случаях размеры режущих кромок зубьев l_{kp} инструмента зависят от размеров (модуля) обрабатываемых зубьев колеса.

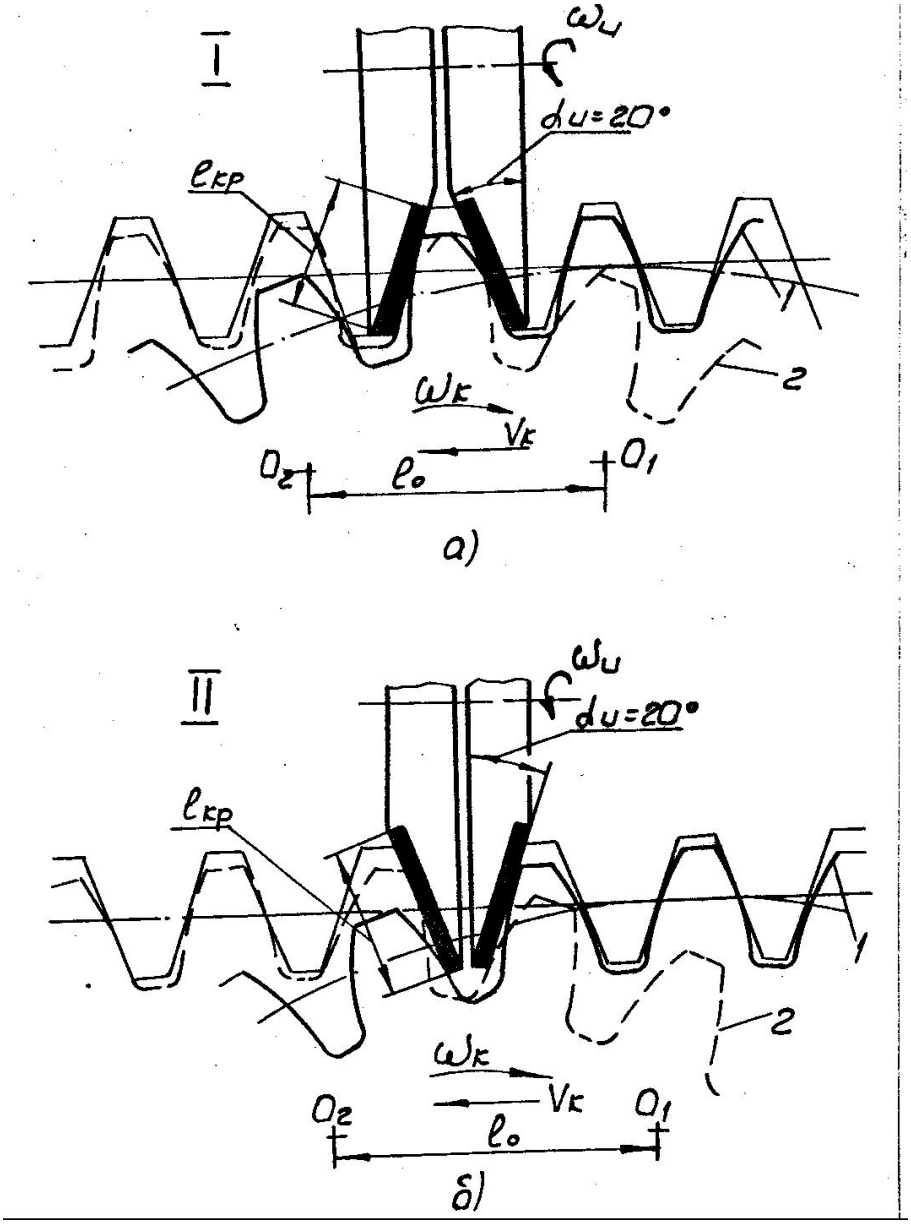


Рис. 2. Технологическая схема резания, предложенная фирмой «МААГ» (Швейцария)

При крупном модуле зубьев m=18-36 мм размеры кромок составляют l_{kp}=45-90 мм.

Это усложняет процесс напайки зубьев твердым сплавом и последующее затачивание инструмента или оснащение его керамикой и сверхтвердыми материалами. Инструмент такой конструкции имеет сравнительно большие периметры резания, что повышает силы резания и способствует возникновению вибраций.

Достоинство схем I и II в том, что оба инструмента расположены на одной и той же оправке, т.е. имеется возможность осуществить привод вращения от одного электродвигателя.

При схеме III (рис. 3, а) в качестве станочной линии зацепления пары инструмент-деталь используется нормаль к эвольвентам РК, расположенная горизонтально. Профильный угол зубьев инструмента — дисковой фрезы близок к $\alpha_u = 0^o$. Фреза в первоначальный момент обработки расположена со смещением относительно оси колеса на расстоянии $l_{см}$, определяемом по следующей зависимости:

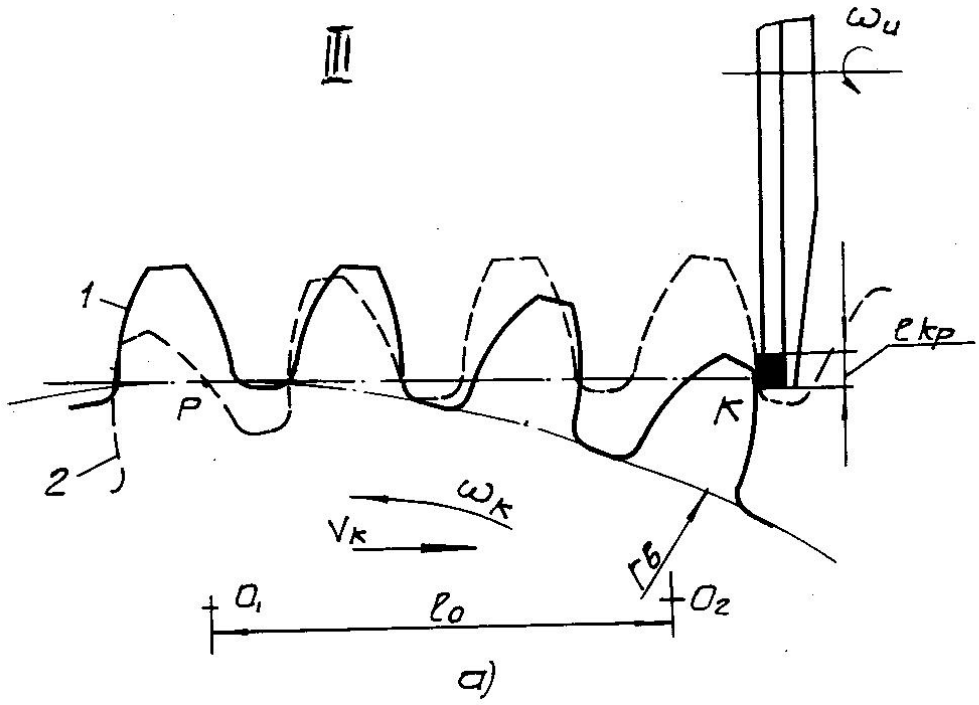
$$l_{см} = r_b \cdot tg\alpha_a , \qquad (1)$$

где r_b — радиус основной окружности зубьев; α_a - угол профиля эвольвенты на вершине зуба.

Обработка правой и левой боковых поверхностей зубьев колеса осуществляется раздельно, обработка ведется за два прохода.

Схема резания IV (рис 3,б) предполагает одновременную обработку обеих боковых поверхностей зубьев колеса с использованием двух дисковых фрез, расположенных с наклоном на угол $\alpha_ш = 20^0$. Профильный угол зубьев фрезы равен $\alpha_u = 0^0$.

Инструменты можно располагать с охватом одного или нескольких зубьев колеса. Однако с ростом числа зубьев в охвате увеличивается и путь обката, что снижает производительность обработки.



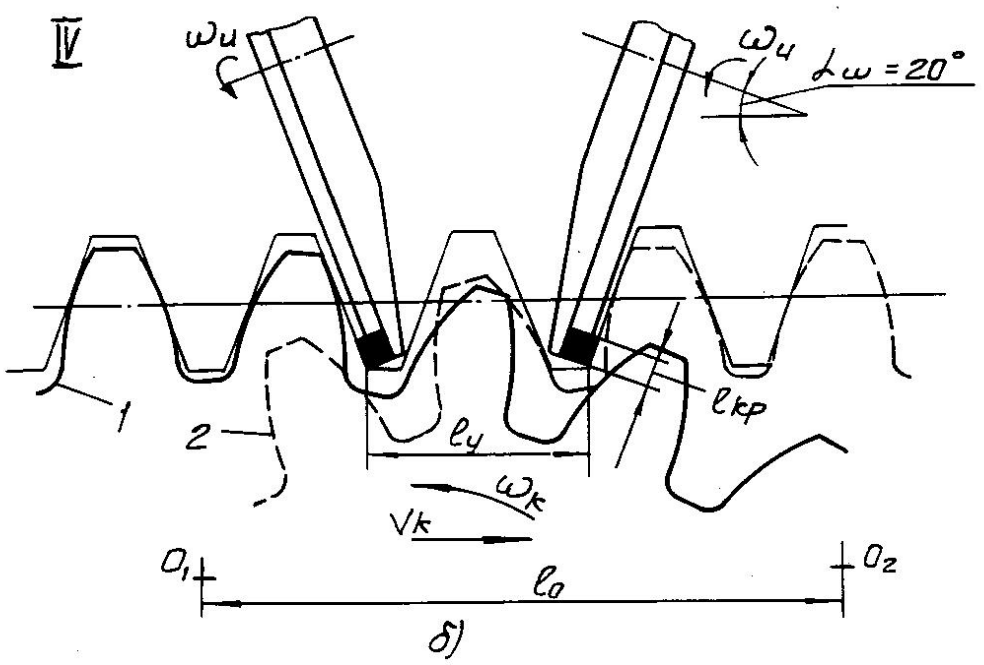


Рис. 3. Технологические схемы резания, предложенные в данной работе

Для обработки зубчатых колес различного модуля необходимо регулировать установочное расстояние l_y между фрезами, которое ориентировочно можно определить по зависимости:

$$l_y = 3{,}98 \cdot m \,. \qquad (2)$$

Возможна разновидность схемы IV, которую назовем схемой V, когда обработка правой и левой поверхностей зубьев производится раздельно путем установки на оправке вначале одной, например, левой фрезы, а затем правой. Обработка колеса производится в два прохода.

Достоинства предложенных в работе [2] схем резания III, IV, V по сравнению со схемами I, II заключаются в возможности использования инструментов, размеры режущих кромок которых не зависят от размеров (модуля) обрабатываемых зубьев колеса и значительно, в 3-7 раз меньше, чем размеры кромок инструментов, предложенных фирмой “MAAG”.

При схемах I и II режущие кромки инструментов полностью задействованы в обработке, точка контакта лезвия и зуба колеса перемещается по всей длине кромки. В этих условиях оснащение всего периметра режущей кромки керамическими пластинками из-за разности их размеров не позволит получить профиль зуба достаточно высокой степени точности.

Применение схем резания III, IV, V позволяет оснастить дисковые фрезы 4^x-гранными керамическими пластинками марки ВОК-71 с размерами 12,7х12,7 мм. Инструмент при этом не требует затачивания и перетачивания, удобен в эксплуатации и ремонте. Так как обработка эвольвентных поверхностей зубьев производится практически одними и теми же участками пластин, то это повышает точность обработки профиля зубьев.

В табл. 1 представлены расчетные значения длины пути обката, полученные для случаев обработки прямозубых зубчатых колес в диапазоне чисел зубьев $Z_k = 25 - 100$

и при модуле $m = 28$ мм.

Таблица 1

Расчетные значения длины пути обката

Схема резания	Путь обката l_0, мм			
	Число зубьев колеса Z_k			
	25	50	75	100
I	218,1	218,1	218,1	218,1
II	213,9	229,0	233,7	239,4
III	296,4	308,2	313,2	316,2
IV	301,8	316,9	321,4	327,3
V	278,4	289,6	294,3	297,1

Как видно из представленных в таблице данных, наименьший путь обката, а следовательно, и наибольшую производительность обработки обеспечивает схема резания I. Для этой схемы путь обката не зависит от числа зубьев обрабатываемых колес. Второй по производительности процесса является схема II. Однако, схемы I и II не позволяют использовать инструмент с уменьшенными размерами режущих кромок.

Из схем резания для керамического инструмента (III, IV, V) наиболее эффективной является схема V. Здесь путь обката наименьший, но необходимо учитывать величину вспомогательного времени, связанного с переустановкой инструмента и подналадкой заготовки колеса.

Схема III является второй по эффективности. Недостаток ее в том, что из-за большого исходного смещения инструмента относительно оси колеса на существующих станках ОАО “КЗТС” (г.Коломна) возможна обработка косозубых колес только с наружным диаметром до 800мм. Схема IV удобна в эксплуатации, т.к. не требует переустановки фрез.

В ОАО “НКМЗ” также параллельно проводились работы по освоению технологии чистовой зубообработки закаленных колес на станках фирмы “MAAG” с использованием спецсуппорта и дисковых фрез оснащенных керамикой. Основной идеей проводимых работ было проектирование, изготовление на ОАО “НКМЗ” и внедрение специального зубофрезерного станка для чистовой обработки закаленных колес, однако идея была реализована только на уровне рабочего проекта станка.

В данной работе были приняты два направления. Первое заключалось в разработке несложных по конструкции специальных фрезерных суппортов, устанавливаемых на зубострогальных станках фирмы “MAAG” и реализующих схему резания III (рис 4,3 а). Второе учитывало крайне малое число заводов, имеющих станки фирмы “MAAG”, и поэтому предусматривало совместно с ОАО “КЗТС” (г. Коломна) разработку, изготовление и внедрение на заводах отрасли специальных фрезерных суппортов к широкораспространенным вертикально-зубофрезерным станкам. При этом реализовывались технологические схемы резания III и IV [3].

Для технологии чистовой обработки закаленных колес на станках фирмы “MAAG” разработаны две конструкции специальных фрезерных суппортов: одношпиндельная, реализующая схему III, и двухшпиндельная, реализующая схему резания IV.

Одношпиндельный суппорт (рисунки 4, 5) состоит из опорной плиты 1, шпинде-

ля 2, оправки 3, шпонки торцевой 4, крепежных винтов 5, электродвигателя 7, клиноременной передачи 8. Дисковая фреза закрепляется консольно на оправке 3.

Фрезерный суппорт устанавливается на ползуне станка взамен суппорта, несущего зубострогальную гребенку. В зависимости от того, какую сторону зубьев необходимо обработать, на суппорте устанавливают фрезу леворежущую или праворежущую.

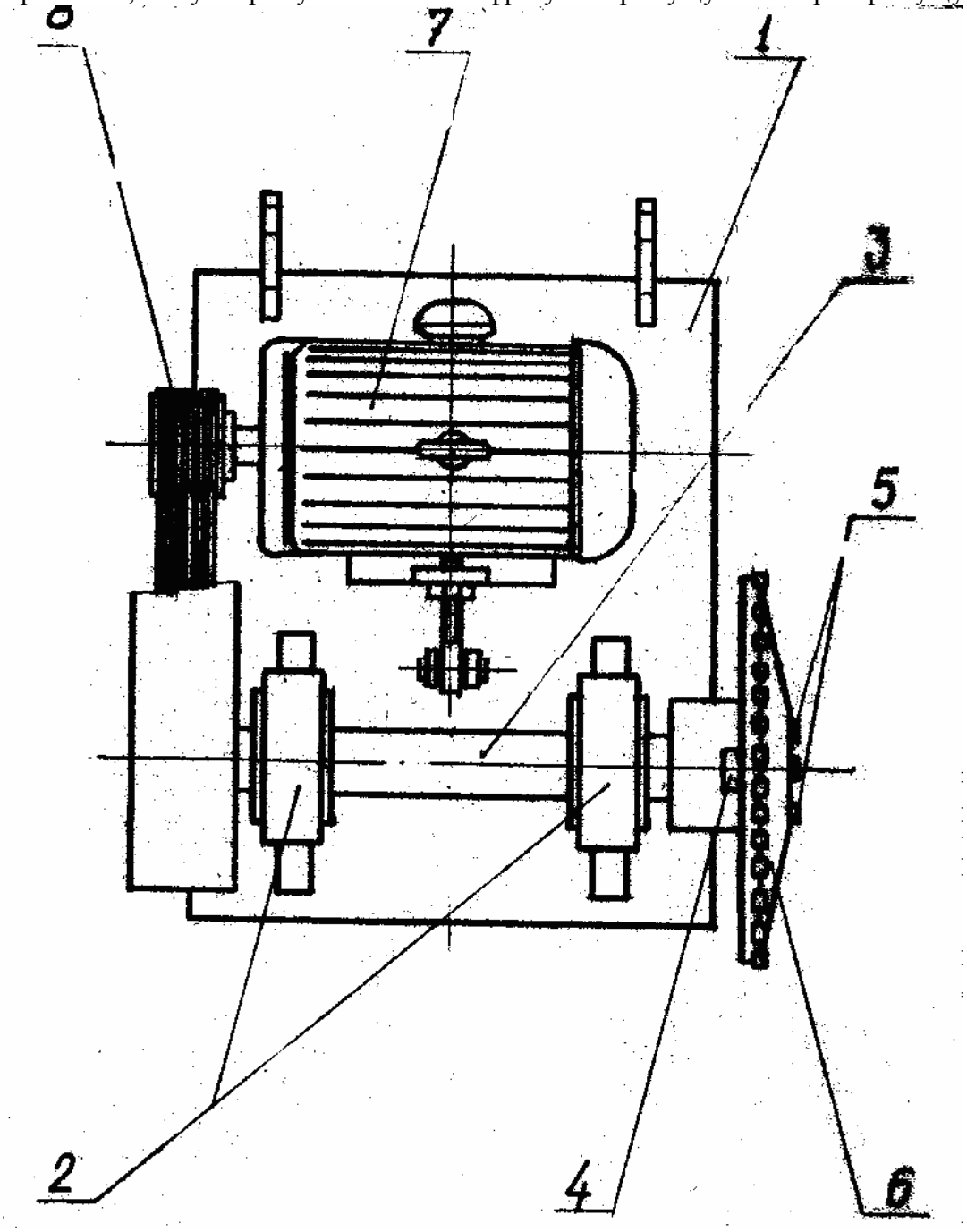
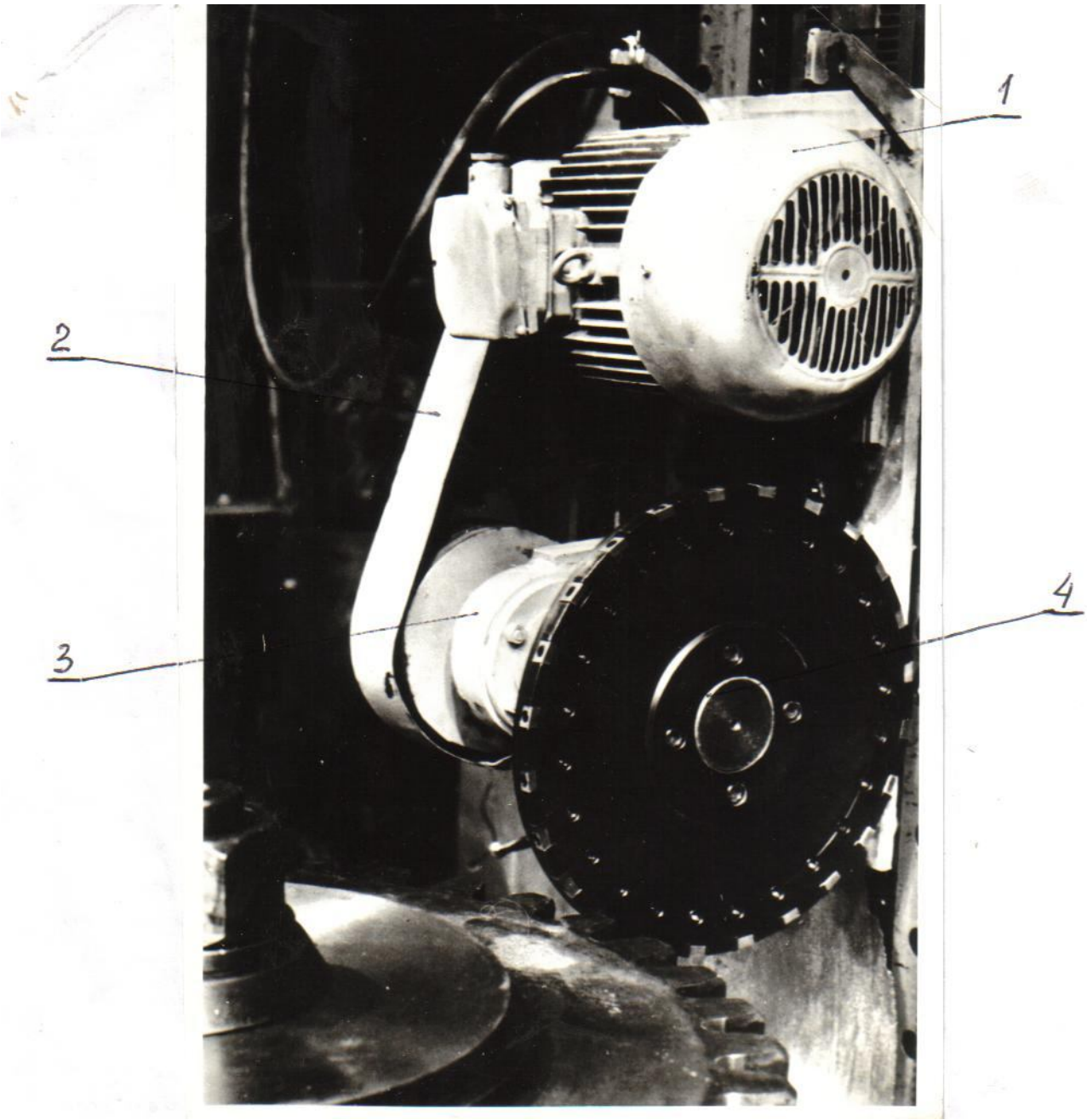


Рис. 4. Принципиальная схема одношпиндельного спецсуппорта к зубострогальному станку фирмы «МААГ»

В процессе обработки дисковая фреза совершает возвратно-поступательное движение вверх-вниз аналогично движению зубострогальной гребенки.



1 - электродвигатель; 2 - клиноременная передача; 3 - шпиндель; 4 - дисковая фреза, оснащенная керамикой

Рис. 5. Рабочая конструкция одношпиндельного спецсуппорта к зубострогальному станку фирмы «МААГ»

После обработки одной боковой поверхности всех зубьев колеса на суппорте меняется, например, леворежущая фреза на праворежущую, изменяется направление вращения и ход колеса на обратные и производится обработка другой боковой поверхности зубьев.

Двухшпиндельный суппорт состоит из двух шпиндельных головок (рис. 6), каждая из которых имеет независимый привод и наклонена на угол $\alpha_ш = 20^0$. Левая головка неподвижно закреплена на установочной плите. Правая головка перемещается в направляющих при помощи ходового винта в направлении, параллельном движению заготовки.

Дисковые фрезы диаметром 400мм приводятся во вращение электродвигателями

мощностью Р=1,5кВт посредством червячных пар с передаточным отношением $u = 4,75$. Частота вращения дисковых фрез составляет 300 об/мин. Расстояние между дисковыми фрезами выбирается в зависимости от модуля обрабатываемого зубчатого колеса и изменяется в пределах от 75 мм до 150 мм. В качестве смазки червячной пары применяется нелегированное масло цилиндровое марки 52 по ГОСТ 6411-76.

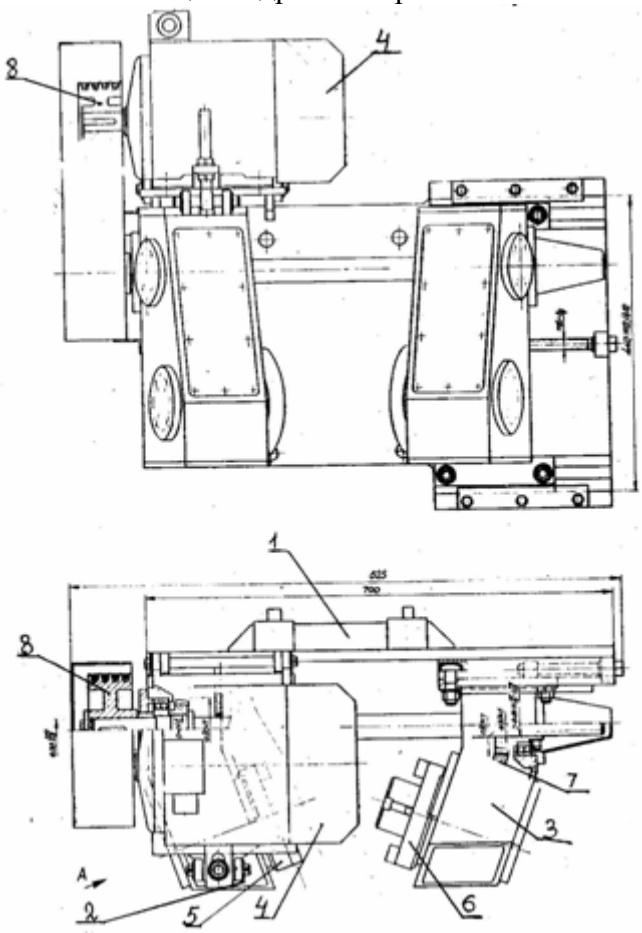


Рис. 6. Принципиальная конструкция двухшпиндельного спецсуппорта

ОАО "Коломенский ЗТС" разработал техническую документацию и освоил производство специальных фрезерных суппортов к серийным вертикально-зубофрозерным станкам моделей 5А342 и 5343[3, 4]. На рис. 7 показана принципиальная конструкция одношпиндельного спецсуппорта к станку мод. 5А342 [3]. Суппорт состоит из основания 1, присоединяемого к колонне станка, поперечной траверсы 2, на которой размещена инструментальная каретка 3 с индивидуальным приводом 4 и дисковой фрезой 5.

Тангенциальное перемещение V_m траверсы 2 осуществляется с помощью ходового винта 6, а возвратно-поступательные перемещения вверх-вниз V_{1u} каретки 3 с инструментом осуществляются с помощью высокомоментного электродвигателя и шариковой винтовой пары (ШВП) 8.

Отличительными особенностями спецсуппорта к станку мод. 5343 [3] являются (рис. 8) наличие двух шпинделей 1 и 2, расположенных по отношению к основанию 3 под углом $\alpha_ш = 20^0$, и увеличенная длина направляющих траверсы 4, позволяющая обработать зубчатые колеса с длиной зуба b=1500 мм.

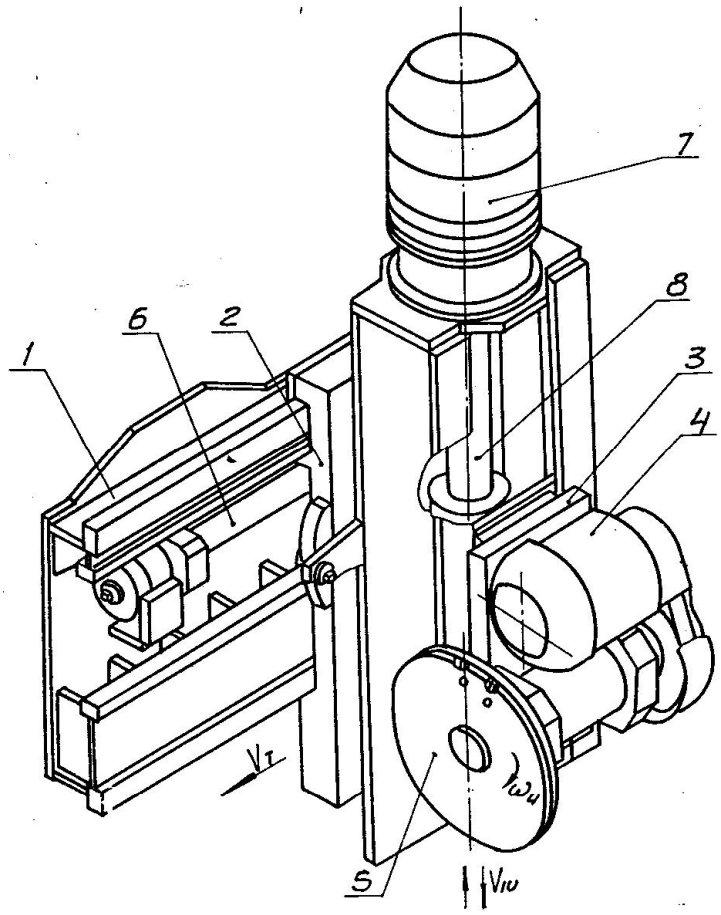


Рис. 7. Принципиальная конструкция одношпиндельного спецсуппорта к вертикально-зубофрезерному станку мод. 5А342

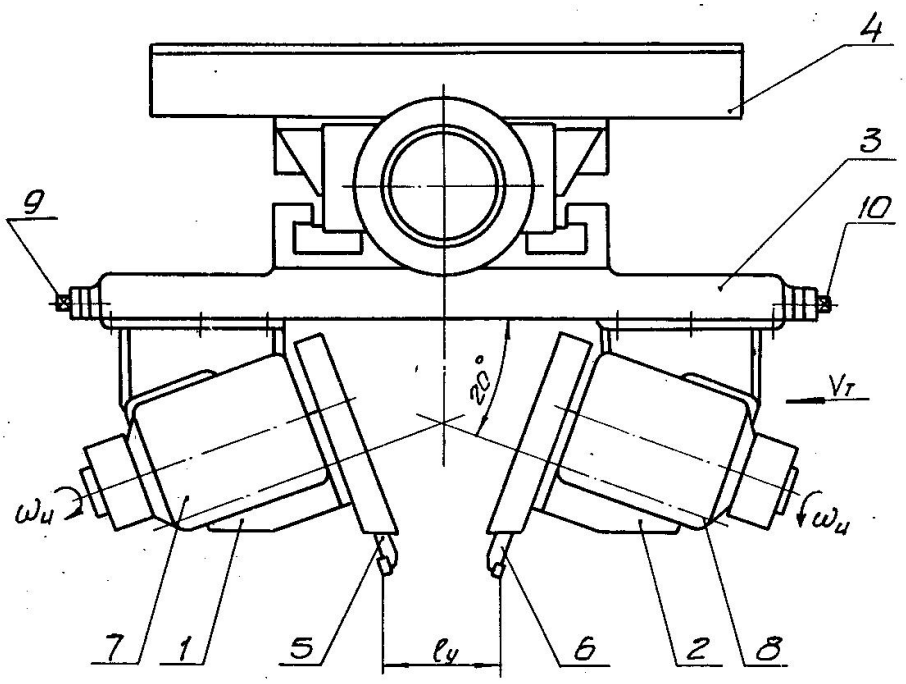


Рис. 8. Принципиальная конструкция двухшпиндельного спецсуппорта к зубофрезерному станку мод. 5343

Каждая из двух дисковых фрез 5 и 6 имеет индивидуальные приводы 7 и 8, а расстояние l_u между ними регулируется с помощью установочных винтов 9 и 10. Суппорт позволяет обрабатывать улучшенные и закаленные зубчатые колеса с модулем зубьев до $m = 50$ мм, углом наклона зубьев до $\beta = 15^0$ и наружным диаметром до $D_a = 3000$ мм.

Оба суппорта предполагалось использовать на АО "СЗТМ" (г. Сызрань), в первую очередь для чистовой обработки закаленных колес и приводных шестерен рудо- и углеразмольных мельниц взамен зубошлифования и с целью исключения кооперации производства или приобретения импортного дорогостоящего зубошлифовального оборудования.

Список литературных источников:

1. Тимофеев Ю.В., Мироненко Е.В., Клочко А.А., Шаповалов В.Ф. Мироненко О.Е. Технологические аспекты обработки крупномодульных закаленных зубчатых колес.- Надежность инструмента и оптимизация технологических систем. Сборник научных трудов. -Краматорск, *ДГМА,* вып. №26, 2010.- С. 183-190.

2. Тимофеев Ю.В., Мироненко Е.В., Клочко А.А., Шаповалов В.Ф. Мироненко О.Е. Технологические способы повышения точности зубофрезерования универсальными червячными фрезами.-Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні.-Харків: НТУ «ХПІ».- 2010.- №25. - С. 134-141.

3. 23.Пат. 2082567 RU, МКИ B23 F 5/00. Зубообрабатывающий станок /В.Ф.Шаповалов, В.И.Печеный, А.А.Клочко, Г.Н.Руин, С.П.Налетов, Н.И.Аристархов, В.Д.Коротков, Н.А.Лобанов, А.В.Кузнецов - № 92009350; Заявлен. 01.12.92; Опубл. 27.06.97; Бюл. N18.-6 с. ил.

4. Тимофеев Ю.В., Клочко А.А., Шаповалов В.Ф. Технология зубофрезерования закаленных крупномодульных колес специальными червячными фрезами с минимизирующими параметрами главных режущих кромок. Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за напрямом "Інженерна механіка"), м.Луцьк. Випуск 29. - 2010, С. 209-216.

УДК 62.50

В.А. Крамарь, канд. техн. наук

Севастопольский национальный технический университет, г. Севастополь, Украина

ЧАСТОТНЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ УСТОЙЧИВОСТИ МНОГОМЕРНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В ФОРМЕ СИСТЕМЫ С ЕДИНИЧНОЙ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Рассматривается методика построения математической структурированной модели многомерной системы автоматического управления. Изложен подход к построению характеристического многочлена многомерной системы и частотный критерий анализа устойчивости многомерной системы управления.

Введение

Линейные многомерные системы управления являются частью класса линейных стационарных систем. Поэтому их теория основывается, по существу, на том же фундаменте, что и теория одномерных систем. Вместе с тем класс многомерных систем по сравнению с классом одномерных систем требует дальнейшего развития теории линейных систем в связи с особыми математическими проблемами исследования, которые отсутствуют в классе одномерных систем. Такой общей и специфической проблемой является проблема характеристического многочлена системы, определяющего вместе с другими элементами описания динамику множества процессов на ее выходах. Суть проблемы состоит в том, что многочлен должен быть построен так, чтобы определять множество значимых полюсов изображения выходов системы.

В работе [1] фундаментально рассматривается вопрос построения моделей многомерных линейных систем управления и методы анализа устойчивости. При этом построение математической модели, в т.ч. и характеристического многочлена системы автоматического управления осуществляется в явном виде, что на наш взгляд значительно усложняет процедуру автоматизированного анализа системы.

В настоящей статье рассматривается подход к построению характеристического многочлена многомерной системы управления в случае наличия неструктурированной модели и с его помощью применение частотного анализа устойчивости рассматриваемой системы.

Модель системы

Проанализируем математическую модель многомерной системы автоматического управления, которую можно представить структурированной моделью в изображениях.

Рассмотрим замкнутую систему, вход–выходное описание которой представлено в виде

$$y(s) = \Phi(s)u(s), \tag{1}$$

где $y \in R^n$, $u \in R^n$ – векторы выходов и входов соответственно, а $\Phi(s)$ – рациональная передаточная матрица (матрица передаточных функций) системы.

Пусть матрица системы $\Phi(s)$ для вход–выходного соотношения (1) задана в виде

$$\Phi(s) = \left[I + W(s)\right]^{-1} W(s) \tag{2}$$

т.е. в форме системы, показанной на рис. 1.

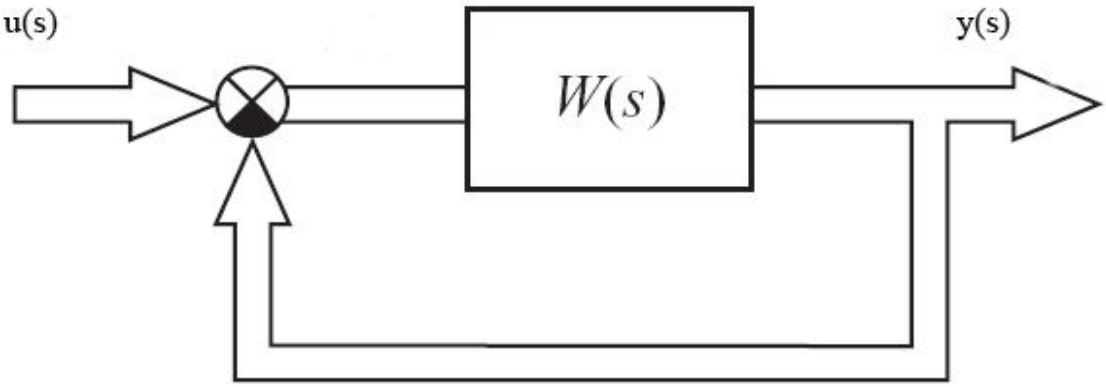


Рис. 1. Структурная схема

В «прямой» цепи системы W(s) – передаточная матрица размера $n \times n$.

$$W(s) = \{w_{ij}(s)\}, \tag{3}$$

элементами которой являются рациональные передаточные функции вида

$$w_{ij}(s) = \frac{p_{ij}(s)}{q_{ij}(s)},\ i, j = 1,2,\ldots n, \tag{4}$$

где $p_{ij}(s),\ q_{ij}(s)$ – взаимно простые многочлены, т.е. наибольший общий делитель (НОД) указанных многочленов равен единице.

$$НОД\{p_{ij}(s), q_{ij}(s)\} = 1. \tag{5}$$

В то же время справедливо [1] и выражение вида

$$\Phi(s) = W(s)\left[I + W(s)\right]^{-1}. \tag{6}$$

Действительно,

$$W(s) = I + W(s) - I, \tag{7}$$

а значит из соотношения (5) имеем

$$\begin{aligned} \Phi(s) &= \left[I + W(s)\right]^{-1}\left[I + W(s) - I\right] = \\ &= \left[I + W(s)\right]^{-1}\left[I + W(s)\right] - \left[I + W(s)\right]^{-1} = \\ &= I - \left[I + W(s)\right]^{-1}. \end{aligned} \tag{8}$$

Значит,

$$\Phi(s)\left[I + W(s)\right] = W(s). \tag{9}$$

Из равенства (9) следует соотношение (6).

Пусть матрица $W(s)$ представляется в виде:

$$W(s) = Q^{-1}(s)\Pi(s). \tag{10}$$

$Q(s)$ – матрица вида:

$$Q(s) = \begin{bmatrix} q_1(s) & & & 0 \\ & q_2(s) & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & q_n(s) \end{bmatrix}, \tag{11}$$

где $q_i(s),\ i = 1,...,n$ – наименьшее общее кратное характеристических многочленов $q_{ij}(s),\ j = 1,...,n$.

$$q_i(s) = c_{ij}(s)q_{ij}(s),\quad i, j = 1,...,n. \tag{12}$$

Матрица $\Pi(s)$ имеет вид

$$\Pi(s) = \begin{bmatrix} \pi_{11}(s) & \pi_{12}(s) & \dots & \pi_{1n}(s) \\ \pi_{21}(s) & \pi_{22}(s) & \dots & \pi_{2n}(s) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \pi_{n1}(s) & \pi_{n2}(s) & \dots & \pi_{nn}(s) \end{bmatrix}, \tag{13}$$

где

$$\pi_{ij}(s) = c_{ij}(s)p_{ij}(s),\quad i, j = 1,...,n. \tag{14}$$

Тогда,

$$\begin{aligned} \Phi(s) &= \left[I + Q^{-1}(s)\Pi(s)\right]^{-1} Q^{-1}(s)\Pi(s) = \\ &= \{Q(s)\left[I + Q^{-1}(s)\Pi(s)\right]\}^{-1}\Pi(s) \end{aligned} \tag{15}$$

и для матрицы $\Phi(s)$ справедливо представление

$$\Phi(s) = \left[Q(s) + \Pi(s)\right]^{-1}\Pi(s). \tag{16}$$

Если матрица $W(s)$ – правильная, т.е. $W(\infty) \neq \infty$, и

$$det\left[I + W(\infty)\right] \neq 0, \tag{17}$$

то матрица $\Phi(s)$ также правильна и многочлен

$$\Delta(s) = det\left[Q(s) + \Pi(s)\right] \tag{18}$$

является характеристическим многочленом рассматриваемой системы.

Частотный критерий устойчивости

Запишем характеристический многочлен системы $\Delta(s)$(18) в виде

$$\Delta(s) = det\, Q(s)\, det\left[I + W(s)\right]. \tag{19}$$

Рассмотрим многочлен

$$q(s) = det\, Q(s). \tag{20}$$

Многочлен $q(s)$ из соотношения (20) можно рассматривать как аналог характеристического многочлена разомкнутой системы.

Пусть многочлен $q(s)$ не имеет чисто мнимых корней, т.е. $q(j\omega) \neq 0, \forall\omega$, а r - число всех правых корней многочлена $q(s)$.

Частотное условие гурвицевости многочлена $\Delta(s)$ имеет вид:

1. $\Delta(j\omega) \neq 0, \ \forall\omega$;
2. $\Delta arg\, \Delta(j\omega)\Big|_{-\infty}^{+\infty} = \pi N$.

В приведенных условиях $N = deg\, \Delta(s)$. Учитывая, что

$$\Delta(s) = q(s)\, det\left[I + W(s)\right], \tag{21}$$

и

$$\lim_{s\to\infty} \frac{\Delta(s)}{q(s)} = \lim_{s\to\infty} det\left[I + W(s)\right] = det\left[I + W(\infty)\right], \tag{22}$$

получаем, учитывая, что $W(\infty) \neq \infty$, т.е. $W(s)$ – правильная и $det\left[I + W(\infty)\right] \neq 0$:

$$deg\, q(s) = deg\, \Delta(s) = N. \tag{23}$$

Второе соотношение частотного условия можно переписать в силу соотношения (21) в виде

$$\Delta arg\, q(j\omega)\Big|_{-\infty}^{+\infty} + \Delta arg\, det\left[I + W(j\omega)\right]\Big|_{-\infty}^{+\infty} = \pi N. \tag{24}$$

Первое слагаемое последнего соотношения дает значение

$$\Delta arg\, q(j\omega)\Big|_{-\infty}^{+\infty} = \pi N - 2\pi r. \tag{25}$$

Таким образом, получаем достаточное условие устойчивости рассматриваемой системы в частотной форме.

Если выполняются условия:

1. $det\left[I + W(j\omega)\right] \neq 0, \ \forall \omega$;
2. $\Delta arg\, det\left[I + W(j\omega)\right]_{-\infty}^{+\infty} = 2\pi r$,

то рассматриваемая система (1), (2), (3) является устойчивой.

Заметим, что при выполнении условия

$$\Delta(j\omega) \neq 0 \tag{26}$$

число всех правых корней многочлена $\Delta(s)$ равняется

$$k = r - \frac{1}{2\pi} \Delta arg\, det\left[I + W(j\omega)\right]_{-\infty}^{+\infty}. \tag{27}$$

Выводы

Предлагаемый в статье подход позволяет получить математическую модель структурированной многомерной системы автоматического управления, представленной в виде системы с единичной отрицательной обратной связью, пригодную для анализа устойчивости системы при помощи частотного подхода.

Список литературных источников

1. Gasparjan O.N. Linear and Nonlinear Multivariable Feedback Control: A Classical Approach/ O.N. Gasparjan.- John Wiley & Sons, 2008.- 341p.
2. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц/ Ф.Р. Гантмахер.- М.:Наука,1977.-576с.
3. Doyle, J.C. Feedback Control Theory/ J.C. Doyle, B. Francis and A. Tannenbaum.- Macmillan Publishing Company, New York, 1992.- 673p.

УДК 62–522.2

І.П. Гречка, канд. техн. наук

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ГІДРОАГРЕГАТУ ВЕРСТАТА ДЛЯ НАМОТУВАННЯ ОБМОТОК ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

Розроблено інженерну методику проектування гідроагрегату верстата для намотування обмоток електродвигунів, яка дозволяє покращити показники технічного рівня та підвищити ефективність експлуатації гідроагрегатів.

Постановка проблеми

Технічний рівень і подальший розвиток гідроагрегатів (ГА) обертання нерозривно пов'язані з поліпшенням їх динамічних характеристик. Застосування існуючих ГА обертання в технологічних машинах, зокрема, верстатах для намотування обмоток електродвигунів не дозволяє забезпечити постійну силу натягу дроту, яка суттєвим чином впливає на коефіцієнт заповнення пазу, від якого залежить потужність та ККД електродвигуна. Існуючі конструкції ГА обертання у верстатах, методи їх розрахунку та проектування мають ряд особливостей, без врахування яких неможливо поліпшити їх динамічні характеристики, такі як: комплексне урахування при математичному описі ГА нестаціонарності гідромеханічних процесів і характеристик робочої рідини (РР), що змінюються в процесі його функціонування; підвищення точності розрахунку витоків у рухомих елементах ГА; сила тертя на осцилюючому золотнику гідророзподільника (ГР), які підвищують точність математичної моделі ГА, а також удосконалення схемних рішень ГА та компоновки його елементів.

Аналіз методів розрахунку і проектування ГА обертання

Виконано аналітичний огляд тенденцій розвитку, технічного рівня та принципів проектування ГА обертання, який показав, що одним з перспективних напрямків поліпшення статичних і динамічних характеристик таких ГА є використання при їх побудові дроселюючого ГР з гідравлічним керуванням і гідравлічного зворотного зв'язку по тиску. Це забезпечить постійну силу натягу дроту і є актуальною та складною задачею, яка існує в промисловості.

Значний внесок у дослідження цієї проблеми внесли роботи Є.І. Абрамова, Г.А. Авруніна, П.М. Андренка, Т.М. Башти, В.П. Бочарова, М.С. Гаминіна, О.П. Губарева, Ю.А. Данілова, Г.Й. Зайончковського, Ю.М. Захарова, М.І. Іванова, Б.Л. Коробочкіна, В.А. Лещенка, З.Я. Лур'є, Б.Ф. Лямаєва, К.Л. Навроцького, Д.М. Попова, В.М. Прокоф'єва, О.М. Скляревського, В.Б. Струтинського, Д.О. Сьоміна, Е.М. Хаймовича, В.А. Хохлова, Ю.І. Чупракова, З.Л. Фінкельштейна, О.М. Яхна й ін.

Установлено, що існуючі ГА обертання мають складну конструкцію та містять електрогідравлічну чи електромеханічну системи керування. Конструкції гідравлічного вібраційного контуру (ГВК) апаратів з гідравлічною осциляцією не забезпечують високого коефіцієнта підсилення та мають складну конструкцію. Визначено, що врахування газовмісту при визначенні густини РР дозволить підвищити точність розрахунку нестаціонарних гідродинамічних процесів, що відбуваються у ГА та ГР з осциляцією.

Визначено ряд особливостей, без врахування яких неможливо отримати ГА з суттєво поліпшеними статичними і динамічними характеристиками, а саме:

– нестаціонарних гідродинамічних процесів;

– підвищення точності розрахунку пружини вдосконаленого ГВК;

– реальної траєкторії руху осцилюючого золотника ГР та параметрів його осциляції, які забезпечують відсутність кавітації, виконання нерозривності РР і стійкість ГА;

– обґрунтування вибору методів для дослідження математичних моделей ГА;

– необхідність багатокритеріального підходу до проблеми підвищення показників технічного рівня ГА та поліпшення динамічних характеристик ГР з ГВК.

Вирішення цих задач знайшло своє відображення в статтях [1 – 3].

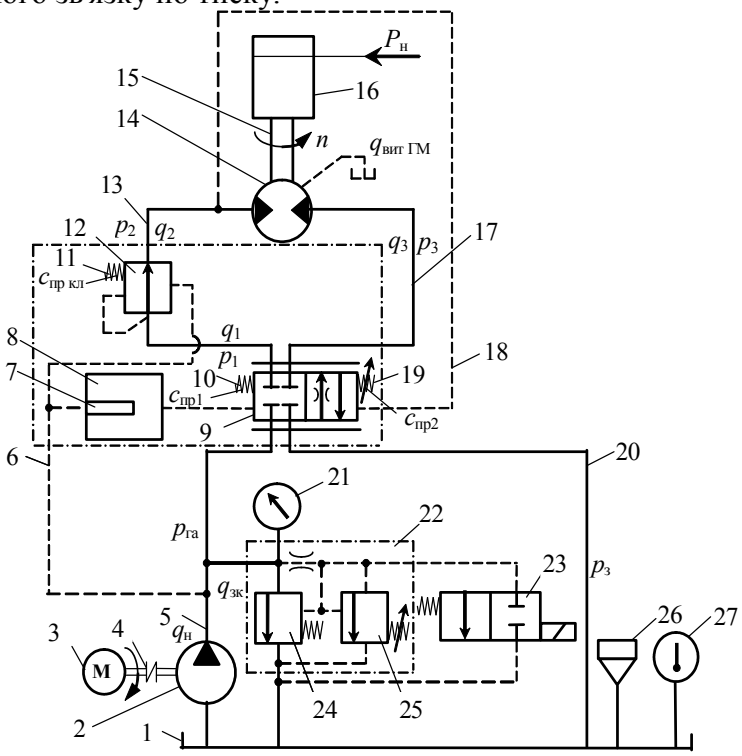
Мета статті

Метою даної статті є розробка методики розрахунку і проектування гідроагрегату верстата для намотування обмоток електродвигунів.

Гідроагрегат верстата для намотування обмоток електродвигунів

Розроблено схемне рішення ГА верстата для намотування обмоток електродвигунів (рис. 1) [4]. Схема ГА обертання містить з'єднані послідовно ГР із ГВК, що дозує витрату, та клапан тиску 12, який складається з дроселюючого золотника, під торці якого підведені тиски – до ГР із ГВК (тиск на виході насоса $p_н$) і після ГР 9 p_1 і пружини 11, розташованої в камері більш низького тиску (за ГР 9), що забезпечує постійний перепад тиску на дроселюючій щілині ГР 9. Клапан тиску 12 виконує функцію керуючого дроселя (компенсатора тиску) і одночасно елемента порівняння в системі замкнутого зворотного зв'язку, а ГР із ГВК – компенсатора витоків за рахунок введення зворотного зв'язку по тиску із входу ГМ 14.

Таким чином, забезпечується значення витрати, яка підводиться до ГМ 14, та постійна частота обертання, незалежно від зовнішнього навантаження й витоків ГМ 14, завдяки наявності двох дроселів – дроселюючої щілини ГР 9, клапана тиску 12 й гідравлічного зворотного зв'язку по тиску.



1 – бак; 2 – насос; 3 – електродвигун; 4 – муфта; 5, 6, 13, 17, 20 – трубопроводи; ГВК: 7 – внутрішній патрубок, 8 – камера; 9 – слідкуючий ГР; 10 і 19 – пружини ГР 9; 11 – пружина клапана тиску; 12 – клапан тиску; 14 – гідромотор (ГМ); 15 – вал ГМ; 16 – котушка для намотування дроту; 18 – трубопровід (гідравлічний зворотний зв'язок по тиску); 21 – манометр; 22 – запобіжний клапан: 24 – основний; 25 – допоміжний; 23 – ГР; 26 – заливна горловина; 27 – термометр

Рис. 1. Гідравлічна принципова схема ГА верстата для намотування обмоток електродвигунів

Регулювання рівня тиску в ГА здійснюється запобіжним клапаном 22 та контролюється манометром 21. Запобіжний клапан непрямої дії 22 містить пілотний ГР 23 для

розвантаження насоса 2 від тиску, наприклад, в «паузі» роботи ГА, коли вимикати живлення від електродвигуна 3 недоцільно, а зниження втрат потужності може бути досягнуте за рахунок налаштування клапана 22 на мінімальне значення тиску. ГР 23 з електромагнітним керуванням установлений на ділянці між основним клапаном 24 і допоміжним клапаном 25. При вмиканні електромагніту ГР 23 він перекриває лінію зливу РР із камери керування клапана 25, і запобіжний клапан 22 працює у звичайному режимі доти, поки тиск РР не створює зусилля, достатнє для подолання сили пружини клапана 25, золотник клапана 24 не відірветься від свого сідла й РР не буде надходити на злив у гідробак 1. При підвищенні тиску в камері керування клапана 24 до значення, при якому долається сила пружини клапана 25, клапани 24 і 25 послідовно відкриваються й починається переливання РР із лінії нагнітання 5 насоса 2 у гідробак 1 під тиском налаштування клапана 25. При вимиканні електромагніту ГР 23 лінія керування клапана 24 сполучається з гідробаком 1 і на дроселі клапана 24 виникає перепад тиску, внаслідок якого золотник клапана 24 відривається від сідла й починається режим розвантаження насоса – РР під мінімальним тиском (достатнім тільки для подолання зусилля пружини основного клапана 24) зливається з лінії нагнітання насоса 2 у гідробак 1.

При роботі ГА пульсації тиску з виходу об’ємного насосу 2 подаються каналом 6 через внутрішній патрубок 7 до камери 8 – резонатора, де відбувається підсилення амплітуди пульсацій тиску, а далі – до лівої камери керування ГР 9. На золотник ГР 9 з одного боку діють: змінна в часі сила, обумовлена пульсаціями тиску з виходу об’ємного насосу, які підсилюються в резонаторі, та сила пружини 10, а з іншого – сила пружини 19. Завдяки цьому золотник здійснює осцилюючий зворотно-поступальний рух з великою частотою та малою амплітудою, усуваючи, таким чином, силу тертя спокою та підвищуючи чутливість ГР 9 до гідравлічного керуючого сигналу.

На клапані тиску відбувається порівняння тиску з виходу насоса $p_н$ і тиску з виходу ГР 9 p_1, що забезпечує внутрішній постійний перепад тиску на ГР 9, викликаний зміною зовнішнього навантаження $P_н$, тобто забезпечує постійну витрату через ГМ 14. РР з виходу клапана тиску 12 трубопроводом 13 надходить до каналу живлення ГМ 14, який починає обертатися. РР із каналу зливу ГМ 14 трубопроводом 17 надходить до слідкуючого ГР 9 з гідравлічним керуванням та через його другу дроселюючу щілину трубопроводом 20 відводиться на злив в бак 1. Канал живлення 13 ГМ 14 трубопроводом 18 з’єднаний з правою камерою керування ГР 11. Таким чином, реалізується гідравлічний зворотний зв’язок по тиску.

Методика розрахунку і проектування гідроагрегату верстата для намотування обмоток електродвигунів

ЇЇ подано у вигляді загальної послідовності розрахунку конструктивних та робочих параметрів з наступною перевіркою динамічних властивостей та показників технічного рівня. Розроблена методика (рис. 2) містить вихідні дані та усі операції, які необхідно виконати в процесі розрахунку та проектування, показані взаємозв’язки між ними.

На першому етапі аналізують схемні рішення ГА верстата для намотування обмоток електродвигунів, визначають його схемну реалізацію, вибирають РР, проводять вибір типів насоса, ГМ, розподільчої та регулюючої апаратури, визначають розміри трубопроводів та підвідних каналів. Це виконують згідно відомих методик [5] та ін.

На другому етапі проводять попередній розрахунок робочих параметрів насоса, ГМ, клапана тиску, запобіжного клапана, ГР, тепловий розрахунок ГА, визначають діапазон зміни температури РР і її газовміст. При проведенні цього етапу враховують, що усі елементи ГА повинні мати стандартні з’єднувальні розміри та працювати у визначеному діапазоні тиску. Проводять аналіз вимог щодо статичних та динамічних

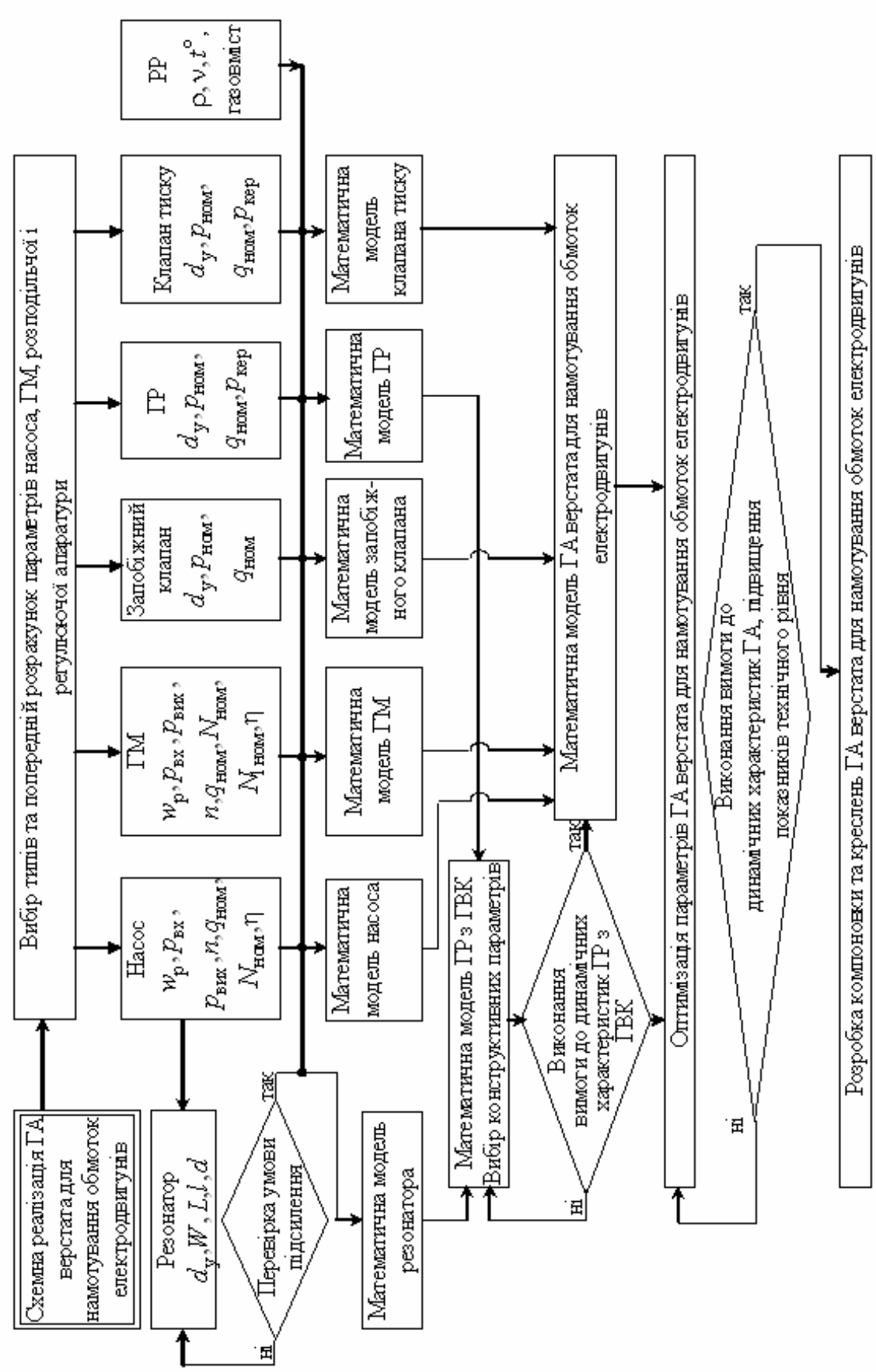


Рис. 2. Методика розрахунку і проектування ГА верстата для намотування обмоток електродвигунів

характеристик елементів ГА. При проведені цього етапу використовують дані, отримані під час аналітичних досліджень параметрів ГА та ГР з ГВК [1 – 3]. Під час виконання третього етапу визначають межу квазістаціонарності гідродинамічних процесів, що враховують при обчисленні коефіцієнтів витрат та втрат, гідравлічного опору, тертя. Проводять перевірку умови працездатності ГВК (умови підсилення в ньому пульсацій тиску), в разі потреби корегують його конструктивні розміри. Ці дії повторюють доти, доки умова підсилення пульсацій тиску не буде виконана.

На четвертому етапі, використовуючи математичні моделі робочих процесів насоса, ГМ, запобіжного клапана, ГР, ГВК та клапана тиску, проводять вибір конструктивних та робочих параметрів ГВК, визначають параметри пружини і критичну швидкість осциляції золотника ГР. Проводять перевірку умови відсутності застою золотника ГР. Якщо ця умова не виконується, корегують параметри пружини. Виконують розрахунок статичних та динамічних характеристик ГР з ГВК та їх відповідність заданим. Якщо дана умова не виконується, корегують конструктивні та робочі параметри ГР з ГВК.

На п’ятому етапі використовують математичну модель робочого процесу ГА верстата для намотування обмоток електродвигунів та проводять оптимізацію його конструктивних та робочих параметрів.

Шостий етап передбачає перевірку вимог щодо статичних та динамічних характеристик ГА верстата для намотування обмоток електродвигунів, показників їх технічного рівня. Якщо ці вимоги виконані не в повному обсязі, то повертаються до виконання оптимізації параметрів ГА верстата для намотування обмоток електродвигунів. Проводять повторну оптимізацію параметрів ГР з ГВК.

При виконанні вимог щодо статичних та динамічних характеристик ГА верстата для намотування обмоток електродвигунів, показників його технічного рівня, на сьомому етапі виконують розробку креслень загального вигляду ГА верстата для намотування обмоток електродвигунів, окремих його елементів та вузлів. При цьому враховують технологічність конструкції та можливості заводу-виробника.

Висновки

Розроблено комплекс програм та інженерну методику розрахунку і проектування ГА верстата, включаючи і багатокритеріальну оптимізацію параметрів, яка суттєво доповнює існуючі та, на відміну від них, враховує змінні характеристики РР, нестаціонарні гідродинамічні процеси, що дозволяє отримати робочі характеристики ГА, адекватні натурному зразку. Розроблена методика дозволяє пришвидшити створення і впровадження нових і модернізованих зразків ГА.

Список літературних джерел

1. Гречка І.П. Математична модель гідророзподільника з новим вібраційним контуром // Автоматизація виробничих процесів. – К. – 2004. – Вип. 2(19). – С. 16 – 23.
2. Гречка І.П. Розрахункові дослідження параметрів осциляції гідророзподільника з гідравлічним вібраційним контуром / П.М. Андренко, І.П. Гречка // Промислова гідравліка і пневматика. – 2005. – № 1 (7). – С. 68 – 74.
3. Гречка І.П. Побудова математичної моделі нового гідравлічного вібраційного контуру / П.М. Андренко, І.П. Гречка // Вісник Сумського державного університету. – Суми: СумДУ. – 2005. – № 12(84). – С. 78 – 86.
4. Пат. 45554 Україна, МПК F15B 9/00. Гідроагрегат верстата для намотки обмоток електродвигунів / Андренко П.Н., Гречка І.П., Білокінь І.І., Стеценко Ю.М.; заявник і патентовласник Андренко П.Н., Гречка І.П., Білокінь І.І., Стеценко Ю.М. – № u 2009 07102; заявл. 07.07.09; опубл. 10.11.09, Бюл. № 21.
5. Навроцкий К.Л. Теория и проектирование гидро- и пневмоприводов: учебник для вузов / К.Л. Навроцкий. – М.: Машиностроение, 1991. –384 с.

УДК 658.516
А.М. Єрошенко, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ПРОБЛЕМА КОМПЕТЕНТНОСТІ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СУЧАСНОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

Проведено аналіз міжнародного стандарту ISO/IEC 17025. Визначені особливості впровадження його на машинобудівних підприємствах. Проаналізована проблема компетентності і атестації вимірювальних і калібрувальних лабораторій в умовах системи управління якістю.

Постановка проблеми

Науково-технічний прогрес потребує інтенсивного розвитку метрологічного забезпечення сучасного виробництва, що необхідно для створення нових технологій та вдосконалення засобів технічного контролю. На сучасному етапі перед метрологією стоїть ряд важливих і невідкладних завдань.

У галузі одиниць вимірювань одним з важливих завдань є уніфікація їх на базі широкого впровадження Міжнародної системи одиниць (СІ). Незважаючи на універсальність цієї системи, ще багато одиниць вимірювання є позасистемними і потребують систематизації та уніфікації.

Значно підвищуються вимоги до засобів вимірювання найвищого рівня — еталонів. Точність вимірювання у промисловості у багатьох випадках наближається до граничних технічних меж. На черзі — використання знань фундаментальних наук, атомних сталих (енергетичних переходів, випромінювань та ін.), які характеризуються високою стабільністю, для розробки нових, більш досконалих і точних еталонів, а також засобів вимірювальної техніки.

Зросли вимоги до самої системи передачі розміру одиниці фізичної величини від еталона зразковим засобам вимірювання, а від них — технічним засобам за умови найменшої втрати точності, особливо у промислових процесах. Сучасні еталони і способи передачі розміру одиниці фізичної величини мають бути бездоганними і відповідати вимогам еталона.

Розвиток інформаційно-вимірювальних систем на базі електронно-обчислювальних машин потребує розробки нового метрологічного забезпечення таких систем і розробки теорії вимірювання такими системами.

Актуальною сьогодні є проблема розробки інтелектуальних датчиків і на їх базі систем автоматичного контролю, прогнозування та діагностики складних технологічних процесів та наукових досліджень.

Як наукова основа вимірювальних систем метрологія повинна забезпечувати надійність, достовірність і правильність вимірювальної інформації, а також законодавчо регламентувати єдність вимірювань у державі, єдність методів і одноманітність засобів контролю за технологічними процесами і продукцією. Метрологія, узагальнюючи практичний досвід вимірювань, регулює розвиток вимірювальної техніки та методів вимірювань.

Одним з важливих завдань метрології є впровадження методів кваліметрії для контролю за якістю виготовлюваної продукції [1].

Згадані проблеми є загальними для всіх суб’єктів метрологічної діяльності незалежно від державної приналежності. З точки зору держави актуальним є впровадження регламенту міжнародного стандарту ISO/IEC 17025 — «Загальні вимоги до компетентності випробувальних і калібрувальних лабораторій», який встановлює загальні вимоги до компетентності лабораторій в проведенні випробувань або калібрувань, включаючи

відбір зразків, випробування і калібрування, що проводяться за стандартними і нестандартними методиками, і методи, розроблені лабораторією.

Аналіз досліджень і публікацій

Проблема впровадження стандарту ISO/IEC 17025, компетенції метрологічного забезпечення, атестації вимірювальних і калібрувальних лабораторій, визнання результатів їх роботи широко обговорюється в середовищі метрологів і науковців, які досліджують проблеми стандартизації, сертифікації та якості. Роботу з впровадження стандарту очолює Національне агентство з акредитації України, яке регулярно проводить науково-практичні семінари і виставки. Значну увагу проблемі приділяє Асоціація "Українські акредитовані органи з оцінки відповідності", яка розробляє рекомендації з впровадження стандарту і метрологічного забезпечення випробувальних і калібрувальних лабораторій. Науковці пропонують свої шляхи розв'язання проблеми і проводять критичний аналіз процесу впровадження, в якості прикладу варто згадати роботи проф. В. Новікова і А. Коцюби [2].

Мета статті

Метою роботи є аналіз проблеми впровадження стандарту ISO/IEC 17025 в умовах вимірювальних і калібрувальних лабораторій машинобудівних підприємств України і визначення особливостей атестації метрологічного забезпечення сучасних технологій.

Виклад основного матеріалу

Згаданий стандарт застосовується для всіх організацій, що здійснюють випробування та калібрування. До їх числа входять, наприклад, лабораторії, що є першою, другою або третьою стороною, а також лабораторії, де проводяться випробування та калібрування, що становлять частину контролю і сертифікації продукції.

Стандарт ISO/IEC 17025 розповсюджується на всі лабораторії незалежно від чисельності персоналу або видів їх діяльності в області випробувань і калібрувань. В тому випадку, якщо лабораторія не здійснює один або більше видів діяльності, встановлених стандартом, таких як відбір зразків і проектування або розробка нових методів, вимоги відповідних розділів на них не розповсюджуються.

Стандарт є результатом великого досвіду впровадження Керівництва ISO/IEC 25 і EN 45001, замість яких він тепер діє. У ньому містяться всі вимоги, яким випробувальні та калібрувальні лабораторії повинні відповідати, якщо вони мають намір показати, що в них діє система якості, що вони технічно компетентні і здатні отримувати технічно обґрунтовані результати.

Органам з акредитації, що визнають компетентність випробувальних та калібрувальних лабораторій, слід засновувати свою діяльність на цьому стандарті.

Розділи стандарту містять вимоги до розумного управління і до технічної компетентності в галузі випробувань або калібрування, які проводить лабораторія.

Запровадження систем якості в цілому посилило необхідність упевнитися в тому, що лабораторії, що входять до складу різноманітних підприємств, можуть використовувати системи якості, що вважаються відповідними ISO 9001 або ISO 9002 і згаданому стандарту (ISO/IEC 17025). Особлива увага зверталася на включення всіх вимог ISO 9001 та ISO 9002, які відносяться до випробувань і калібрування, що проводяться у відповідності з системою якості лабораторії.

Таким чином, випробувальні та калібрувальні лабораторії, що виконують вимоги цього стандарту, будуть діяти і відповідно до вимог ISO 9001 або ISO 9002. Сертифікація за ISO 9001 та ISO 9002 ще не демонструє компетентності лабораторії отримувати технічно обґрунтовані дані та результати.

Визнанню результатів випробувань і калібрувань різними країнами слід сприяти в тому випадку, якщо діяльність лабораторії регламентується цим стандартом і має акредитацію з органів, які уклали угоди про взаємне визнання з подібними органами в інших країнах на основі цього стандарту.

Застосування цього стандарту має сприяти співпраці між лабораторіями та іншими органами, а також обміну інформацією, досвідом та гармонізації стандартів і процедур [3].

Одна з умов визнання результатів роботи українських випробувальних і калібрувальних лабораторій на міжнародному рівні є підписання угоди про визнання між Національним агентством з акредитації України (НААУ) та Європейською асоціацією з акредитації (ЕА). На жаль, таку угоду до сьогодні не укладено, що спонукає лабораторії, яким потрібно визнання результатів за межами України, акредитуватись в органах з акредитації інших країн.

Згаданий стандарт дозволяє атестувати систему управління якістю, діяльність якої регламентується ISO 9001 та ISO 9002. Управління якістю продукції встановлює, забезпечує й підтримує необхідний рівень якості продукції під час її розробки, виробництва й експлуатації або споживання, що забезпечується шляхом систематичного контролю якості й цілеспрямованого впливу на умови й фактори, які впливають на якість продукції.

Існування продукції починається з її розробки (проектування) і навіть з передпроектної стадії — складання технічного завдання на проектування. На цій же стадії починає формуватися якість продукції [4].

Технічне завдання встановлює службове призначення, технічні характеристики, показники якості й техніко-економічні вимоги, пропоновані до розроблювального виробу, виконання необхідних стадій розробки конструкторської документації і її склад, а також спеціальні вимоги до виробу.

Система управління якістю примушує виробника проводити ретельний аналіз технічного завдання. Крім того, технічна пропозиція (сукупність конструкторських документів, що містять, як правило, кілька різних варіантів можливих рішень виробів, порівняльної оцінки їх з обліком конструктивних й експлуатаційних особливостей розроблюваних й існуючих виробів, а також патентних матеріалів) повинна відповідати вимогам ISO 9001 та ISO 9002.

На підставі технічного проекту створюється робоча конструкторська документація на виріб. На стадії проектування закладаються всі основні показники якості майбутнього виробу з урахуванням необхідного оптимального рівня якості й технічних можливостей виробництва. Варто прагнути заздалегідь оцінити й задати виконавцям чисельні значення не тільки показників призначення, але й показників надійності, рівня стандартизації й уніфікації, патентно-правові й інші показники якості.

На стадії виготовлення намічені при проектуванні властивості продукції здобувають реальне втілення у виробі. І чим точніше й повніше фактичні показники якості виготовленого виробу збігаються з показниками, зафіксованими в проектно-конструкторській документації, тим ефективніше діє система управління якістю. Контроль фактичних показників якості проводять лабораторії і спеціалісти, які атестовані згідно стандарту ISO/IEC 17025.

Однак, далеко не всі властивості продукції формуються в процесі її виготовлення. Так, більшість показників призначення (універсальність, продуктивність, вага й габаритні розміри), показники стандартизації й уніфікації, патентно-правові й технологічні показники, частина ергономічних й естетичних показників (досконалість форми, зусилля на органі керування) і ряд інших не залежать від технологічного процесу.

Навпроти, більшість показників надійності (термін служби, імовірність безвідмовної

роботи, середній термін зберігання), стабільність властивостей виробів у партії, відсоток дефектних виробів, якість обробки й інші практично повністю залежать від досконалості технологічного процесу.

На підставі вищезгаданого пропонується схема формування якості продукції в процесі виробництва (рис. 1), яка показує, що в самому загальному вигляді якість виготовленої продукції залежить від якості моделі (представленої в металі або у вигляді комплекту конструкторської документації) і від якості виготовлення продукції.

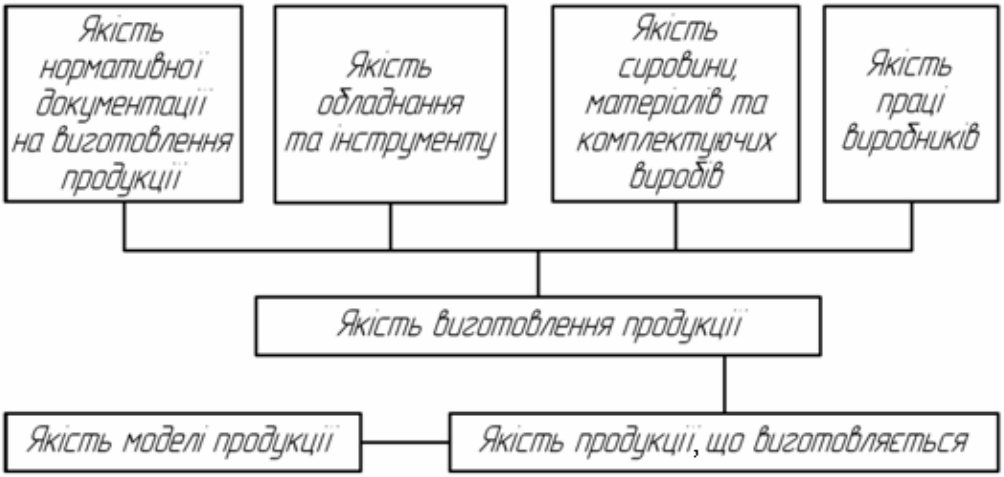


Рис. 1. Складові елементи якості виготовлення продукції

Тому можна визначити основні характеристики технологічного процесу з точки зору його впливу на якість продукції:

- оснащеність виробництва новими і сучасними видами технологічного устаткування, інструмента й обладнання;
- стан технічної оснащеності й організації служб контролю якості продукції;
- якість використовуваних матеріалів, напівфабрикатів і комплектуючих виробів;
- рівень автоматизації технологічних процесів і контрольних операцій;
- кваліфікація працівників;
- рівень стандартизації, уніфікації й типізації технологічних процесів і технологічної документації.

Визначну роль у підвищенні якості машин відіграє вимірювальна техніка. У машинобудуванні майже 90 % всіх вимірів складають лінійні й кутові [4].

Зростання продуктивності складальних операцій і підвищення якості виготовлення машин потребують невпинного підвищення точності засобів для лінійних вимірювань. При цьому для сучасного виробництва характерно використання прецизійних вимірювальних приладів в умовах цеху на кожному робочому місці, що, в свою чергу, потребує підвищення їх надійності, скорочення термінів створення і освоєння та значного підвищення випуску нових приладів. Тому впровадження стандарту ISO/IEC 17025 ускладнюється тим, що велика чисельність засобів вимірювань і метрологічних процедур проводиться не в лабораторіях, а на робочих місцях.

Стандарт ISO/IEC 17025 передбачає можливість вимірювань поза лабораторіями. Система управління лабораторією повинна охоплювати роботи, що виконуються на основній території, у віддалених місцях, а також на тимчасових або пересувних точках. Якщо лабораторія входить до складу підприємства, що здійснює діяльність, відмінну від випробувань або калібрування, обов'язки керівництва підприємства, що приймає участь або має вплив на діяльність лабораторії, повинні бути чітко визначені, щоб іден-

тифікувати потенційні конфлікти інтересів.

Організаційні заходи на підприємстві повинні бути такими, щоб підрозділи, інтереси яких знаходяться в конфлікті з діяльністю метрологічної лабораторії, такі як виробництво, комерційний маркетинг або фінансовий відділ, не чинили негативного впливу на відповідність лабораторії цьому стандарту.

Якщо лабораторія хоче бути визнана лабораторією третьою стороною, вона повинна бути здатною продемонструвати, що вона неупереджена і що ні вона, ні її співробітники не відчувають ніякого комерційного, фінансового або іншого тиску, який міг би вплинути на їх технічну діяльність. Функціонування лабораторії повинно регламентуватися лише стандартом і їй не слід займатися діяльністю, яка може поставити під загрозу віру в незалежність їх судження і чесність у зв'язку з їх діяльністю з проведення випробувань і калібрувань [3].

Під час підготовки до акредитації не усі лабораторії можуть користуватися рекомендаціями визнаних європейських фахових організацій — EA, EUROLAB , EURACHEM , ILAC тощо. Тому для полегшення впровадження стандарту ISO/IEC 17025 Асоціацією «Українські акредитовані органи з оцінки відповідності» (УкрАО) розроблені рекомендації СТУ-Р УкрАО 913.12:2006 «Рекомендації з впровадження стандарту ISO/IEC 17025» і СТУ-Р 913.15:2007 «Рекомендації з метрологічного забезпечення випробувальних і калібрувальних лабораторій». Але ці рекомендації мають ряд зауважень від науковців і практичних метрологів. Ряд авторів відзначають некоректність окремих пунктів Рекомендацій і невідповідність їх до чинного законодавства України [2].

Висновки

1. Впровадження стандарту ISO/IEC 17025 дозволить регламентувати єдність вимірювань, що проводяться в Україні, з діяльністю міжнародних метрологічних організацій. Таким чином, результати вимірювань, що проведені в українських лабораторіях, які акредитовані відповідно до згаданого стандарту, будуть визнаватися на міжнародному рівні.

2. Особливістю впровадження стандарту в машинобудуванні полягає в тому, що виникає необхідність проводити не лише атестацію компетентності випробувальних і калібрувальних лабораторій, а й різноманітних пунктів у цехах, а також вимірювань, які проводяться на робочих місцях.

3. Атестація вимірювальних лабораторій дозволить підвищити статус метрологічного забезпечення і метрологічної служби, оскільки стандарт вимагає значного рівня незалежності таких лабораторій в структурі машинобудівного підприємства.

4. Впровадження згаданого стандарту потребує особливої уваги органів законодавчої метрології для узгодження вимог стандарту і законодавства України.

Список літературних джерел

1. Цюцюра С.В., Цюцюра В.Д. Метрологія, основи вимірювань, стандартизація та сертифікація. – К.: Знання, 2005. – 242с.

2. Новіков, В. Рекомендації УкрАО з метрологічного забезпечення лабораторій: невідповідності вимогам ISO/IEC 17025 та чинного законодавства / В. Новіков, А. Коцюба. - // Стандартизація, сертифікація, якість : Науково-технічний журнал. - 2007. - № 2. - С. 37-41.

3. ISO/IEC 17025:2006. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Загальні вимоги до компетентності випробувальних і калібрувальних лабораторій.

4. Контроль качества продукции машиностроения / Под ред. А.Э. Артеса. – М.: Издательство стандартов, 1974. – 448с.

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 СИЛ РІЗАННЯ ПРИ ЗАТОЧЦІ ГОЛЧАСТОЇ ПОВЕРХНІ БАРАБАНІВ ТЕКСТИЛЬНИХ МАШИН ЗІ СХРЕЩЕНИМИ ОСЯМИ ІНСТРУМЕНТА І ДЕТАЛІ

Пропонується методика розрахунку складових сил різання при заточці голчастої поверхні барабанів та валиків текстильних машин, що сприяє вибору оптимальних режимів обробки.

Вступ

При заточці чесальної гарнітури велике значення має твердість кінців голок, точність і рівномірність їх установки на верстаті. Якщо невірно підібрані режими заточування, відбувається деформування кінців голок з утворенням задирок. Вірно підібрані абразивні інструменти і оптимальні режими заточки забезпечують підтримання необхідної гостроти голок гарнітури.

При заточці голчастої поверхні барабанів і валиків текстильних машин циліндричним інструментом (рис. 1) робочий елемент – її кінчик має форму еліпса. Розміри більшої півосі залежать від кута нахилу голки при заточці, який залежить від режимів обробки, зокрема, від виникаючих сил різання.

Аналіз досліджень і публікацій

Існує два методи визначення складових сил різання під час шліфування: емпіричний і розрахунково-експериментальний [1]. Перший метод базується на вимірюванні сил різання динамометрами під час шліфування зразків з подальшим отриманням емпіричних залежностей від тих змінних факторів, які варіювались під час проведення експериментів. Однак отримані залежності придатні для розрахунків тільки в умовах, близьких до експериментальних, що обмежує область їх використання. Розрахунково-експериментальний метод більш універсальний, але в деяких випадках менш точний, оскільки в якості вихідних параметрів вимагає визначення ряду експериментальних даних, які складно виміряти з достатньою точністю. Суть розрахунково-експериментального методу полягає в наступному. Спочатку визначають силу різання, яка діє на одну різальну кромку круга, потім знаходять кількість робочих в межах контакту круга і деталі різальних кромок і визначають силу різання як суму сил кожної різальної кромки.

Методи визначення сил різання, представлені в роботах [1, 2], не враховують вплив деформуючих зерен, коливання сил на локальних ділянках плями контакту, жорсткість обробляючої системи і переривчастість поверхні круга. Розрахований об’єм матеріалу, який знімається однією різальною кромкою, не відповідає об’єму, який підводиться в зону різання. Це пояснюється тим, що при визначенні сил різання розраховується середня величина об’єму, який зрізається, і таким чином не враховується матеріал, який знімається на локальній ділянці плями контакту. В роботі [3] визначено локальні і сумарні сили різання, виходячи з рівності об’ємів, які підводяться в зону обробки і які зрізаються, з врахуванням податливості системи і переривчастості поверхні інструмента для деталей з криволінійним профілем.

Мета статті

Метою даної роботи є розробка методики розрахунку складових сил різання під час обробки голчастої поверхні барабанів і валиків текстильних машин.

Виклад основного матеріалу

Схема заточки голчастої поверхні валика текстильної машини периферією та торцем шліфувального круга зі схрещеними осями інструмента і деталі зображена на рис. 1 [4].

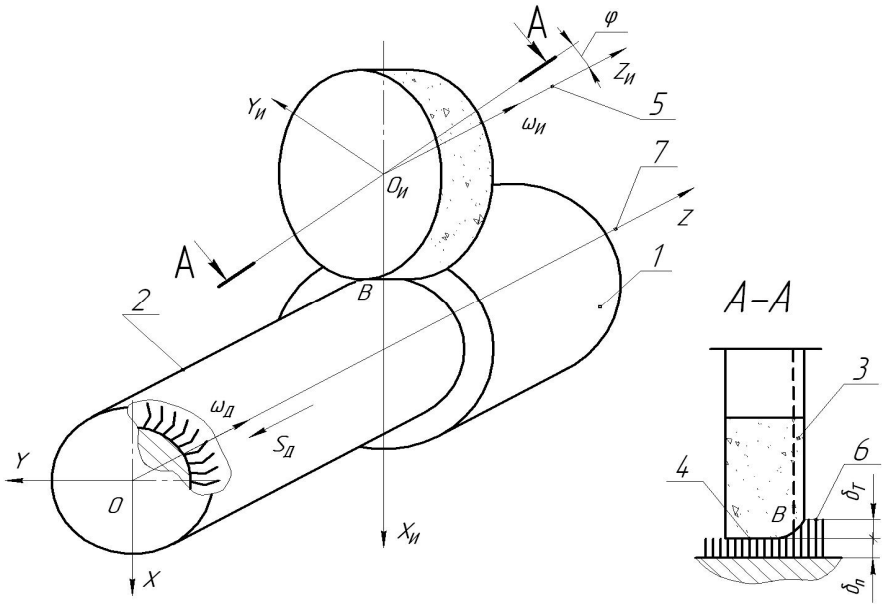


Рис. 1. Схема шліфування голчастої поверхні зі схрещеними осями круга і робочого валика

Для визначення сил різання необхідно визначити товщину шару, що зрізається однією кромкою. Товщина шару, що зрізається, визначає навантаження на зерно, стійкість та максимальну різальну здатність абразивного інструмента, знос абразивних зерен, якість і глибину рисок на оброблюваній поверхні. Товщина зрізів та їх форма визначаються кінематикою процесу, кількістю і формою кромок, які беруть участь у роботі шліфування.

Поширено два підходи до визначення товщини шару, що зрізається: кінематичний та об'ємний підхід [1]. Під час розрахунку товщини шару, що зрізається, необхідно забезпечити зрізання всього матеріалу, що подається в зону обробки. Оскільки розташування зерен на поверхні інструменту хаотичне і вони мають різну форму, то необхідно використовувати об’ємний підхід.

Форма різальної кромки (рис. 2) має форму конуса з кутом при вершні 90º і радіусом заокруглення ρ. Площа зрізу дорівнює площі поперечного перерізу абразивного зерна і залежить від товщини зрізу a_z і радіуса заокруглення різальної кромки ρ.

Під час шліфування на площадку dS (рис. 3) за одиницю часу підводиться $V_n \cdot dS$ матеріалу. За той же час, площадка dS на кругу, на якій розташовано $N_z(a_z) \cdot dS$ різальних кромок, зрізає $N_z(a_z) \cdot dS \cdot V_ш \cdot S(a_z,\rho)$ матеріалу. Тобто, узагальнене рівняння товщини шару, що зрізається, з врахуванням піддатливості системи, має вигляд:

$$(V_n - y_{eyc}) \cdot \left[1 - exp\left(-\frac{\Sigma b(t,\theta)}{b_0}\right)\right] \cdot dS = N_z(a_z) \cdot V_ш(\varphi_{uj}) \cdot S(a_z,\rho), \quad (1)$$

де $N_z(a_z)$ – кількість різальних кромок на заданому рівні a_z та розташованих на одиниці площі круга, які приймають участь у різанні металу; $V_ш$ – швидкість шліфування; $S(a_z,\rho)$ – площа поперечного перерізу абразивного зерна; $\left[1 - exp\left(-\frac{\Sigma b(t,\theta)}{b_0}\right)\right]$ – коефіцієнт, який враховує переривчастість поверхні інструмента; y_{eyc} – податливість системи.

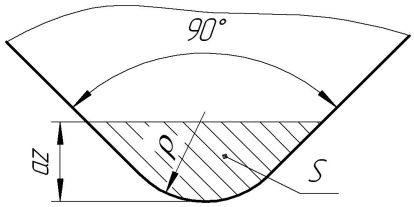


Рис. 2. Форма абразивного зерна

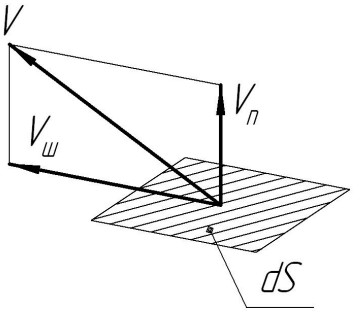


Рис. 3. Схема для визначення товщини шару, що зрізається

Абразивне зерно, яке розташоване на робочій поверхні круга, прийнято характеризувати рядом параметрів. Так, відповідно до сучасних уявлень [3], необхідно вказувати:

- розташування рівня вершини зерна щодо рівня найбільш виступаючих зерен;
- радіус заокруглення вершини зерна ρ.

Густину імовірності розташування різальної кромки f_N на рівні z від зовнішньої поверхні круга можна описати законом бета-розподілу:

$$f_N(x) = A \cdot t^{\gamma-1} \cdot (1-t)^{\eta-1}, \tag{2}$$

де $x = \dfrac{z}{h_n}$ – приведений рівень шліфувального круга, на якому визначається f_N, A, n, γ, η – параметри бета-розподілу; h_n – повна висота профілю шліфувального круга.

Загальну кількість різальних кромок на рівні x можна визначити:

$$N_z(x) = N_n \cdot A \cdot \int_0^{z/h_n} t^{\gamma-1} \cdot (1-t)^{\eta-1} dt, \tag{3}$$

де $N_z(x)$ – кількість різальних кромок на $1мм^2$ на рівні x; N_n – повна кількість різальних кромок на всій висоті профілю h_n на $1мм^2$.

Густина імовірності розподілу радіусів округлення різальних кромки ρ також описується законом бета-розподілу:

$$f_p(x) = A \cdot t^{\gamma-1} \cdot (1-t)^{\eta-1}, \tag{4}$$

де $x = \dfrac{\rho}{\rho_{max}}$ – відносний радіус округлення різальної кромки; ρ_{max} – максимальний радіус округлення різальних кромок.

Однак, не всі різальні кромки безпосередньо видаляють метал. Частина з них пружно або пластично деформує (диспергує) метал. Прийнято вважати [1] критерієм різання відношення z/ρ. Для визначення мінімального значення вказаного відношення використана експериментальна залежність [1], що описує мінімальну товщину зрізаного шару в залежності від радіуса заокруглення вершини зерна і швидкості різання. При цьому мінімальному значенні відношення процес різання ще відбувається. Експериментальна залежність, яка була отримана методом шліфування похилої пластини, дозволяє зробити висновок про можливість апроксимувати її ступеневою функцією:

$$\frac{z}{\rho} = B \cdot \rho^{-\alpha} \cdot V_ш^{-\beta}(\varphi_{uj}), \tag{5}$$

Враховуючи (5), можна отримати залежність, яка служитиме нижньою границею при визначенні імовірності різання зерном на глибині z:

$$z = B \cdot \rho^{1-\alpha} \cdot V_ш^{-\beta}(\varphi_{uj}), \tag{6}$$

Побудуємо на координатній площині область (рис. 4), на якій показано розподіл всіх кромок в залежності від рівня z і радіуса округлення кромки ρ. Кромки, які розташовані

нижче рівня проникнення металу в шліфувальний круг *z*, приймають участь в обробці металу. Рівень *z* залежить від відношення $V_n/V_ш$ і приймає різні значення для кожної точки плями контакту. Тобто, дана схема приведена для певної точки плями контакту, а точніше для певного відношення $V_n/V_ш$. Лінія $z(\rho, V_ш)$ ділить працюючі кромки на різальні і деформуючі.

Зі схеми (рис. 4) зрозуміло, що при збільшенні швидкості різання мінімальна товщина зрізаного шару зменшується. Починаючи з деякого значення глибини *z*, доля зерен, що приймають участь у різанні металу, значно зростає. Ця доля визначається відношенням кількості різальних кромок, які мають відповідне відношення, до кількості всіх різальних кромок, що розташовані на глибині не більшій, ніж *z*. На малих глибинах різання частка тих зерен, що приймає участь у різанні, повинна мати лише найменші значення радіуса заокруглення різальної кромки. Після деякого часу роботи через виникнення площинок зносу ця доля скорочується.

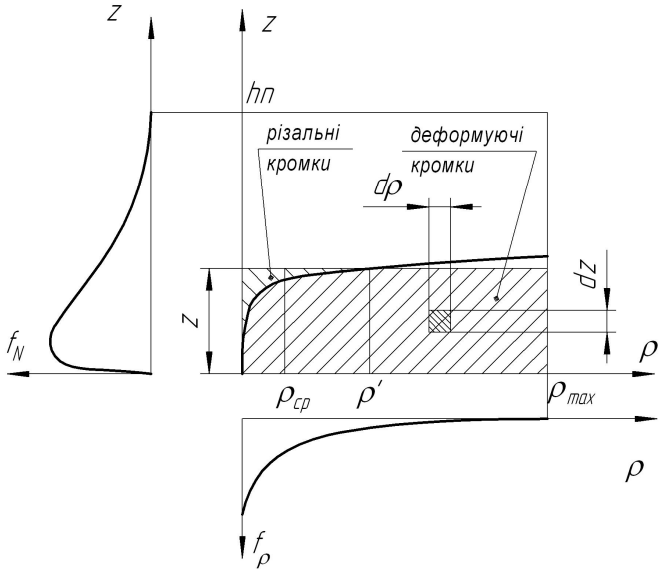


Рис. 4. Розподіл різальних і деформуючих кромок в точці плями контакту

Кількість різальних і деформуючих кромок, які припадають на одиницю поверхні круга, можна визначити за наступними залежностями:

$$N_z^p = \iint\limits_{S_p} N_n \cdot f_N(z) \cdot f_\rho(\rho) \cdot ds, \tag{7}$$

$$N_z^\partial = \iint\limits_{S_\partial} N_n \cdot f_N(z) \cdot f_\rho(\rho) \cdot ds, \tag{8}$$

де S_p і S_∂ – площі на рисунку, які відповідають різальним і деформуючим кромкам відповідно.

Видалення металу забезпечують саме різальні кромки, тому саме від їх кількості буде залежати товщина шару, що зрізається. Тому рівняння 1 необхідно записати у вигляді:

$$\frac{\left(V_n - y_{eyc}\right)}{V_ш\left(\varphi_{ij}\right)} = \frac{N_z^p(a_z) \cdot S(a_z, \rho)}{\left[1 - exp\left(-\frac{\Sigma b(t,\theta)}{b_0}\right)\right] \cdot dS}. \tag{9}$$

Для визначення товщини шару, що зрізається, необхідно знати середній радіус округлення кромок тих зерен, які приймають участь у різанні у даній точці плями контакту. Для спрощення розрахунків приймемо:

$$\rho_{ср} = \frac{\rho'}{3}, \tag{10}$$

де ρ` – координата перетину рівня $z$ з лінією $z(\rho, V_ш)$ або $\rho_{max}$ при $\rho$`>ρ_{max}.

Залежність товщини шару, що зрізається a_z, від відношення $V_п/V_ш$ можна визначити сумісним рішенням рівнянь (2), (4), (6), (7), (9), (10).

Прийнято вважати [1], що на окрему ріжучу кромку діють сили зсуву $P_{сд}$, тертя $P_{тр}$, і інерції $P_{ин}$:

$$P^{\tau} = P^{\tau}_{сд} + P^{\tau}_{тр} + P^{\tau}_{ин} = \frac{\tau_s \cdot az \cdot b \cdot \sin(\beta + \varphi_s)}{\sin(\beta) \cdot \sin(\varphi_s)} + \frac{\pi \cdot \tau_s \cdot b^2 \cdot \mu}{12 \cdot \mu_s} + az \cdot b \cdot \rho_t \cdot V_ш^2 \cdot \left(1 - \frac{\sin(\beta) \cdot \sin(\gamma)}{\cos(\beta - \gamma)}\right), \quad (11)$$

$$P^{n} = P^{n}_{сд} + P^{n}_{тр} + P^{n}_{ин} = \frac{\tau_s \cdot az \cdot b \cdot \cos(\beta + \varphi_s)}{\sin(\beta) \cdot \sin(\varphi_s)} + \frac{\pi \cdot \tau_s \cdot b^2}{12 \cdot \mu_s} + az \cdot b \cdot \rho_t \cdot V_ш^2 \cdot \left(1 - \frac{\sin(\beta) \cdot \cos(\gamma)}{\cos(\beta - \gamma)}\right), \quad (12)$$

де P^{τ}, P^{n}– тангенціальна і нормальна сили мікрорізання одиничним зерном; τ_s – напруження зсуву; b – ширина площини врізання; β – кут зсуву оброблюємого матеріалу; φ_s – кут тертя в площині зсуву μ_s, μ – коефіцієнти тертя в площині зсуву і на задній поверхні кромки; ρ_t – густина матеріалу заготовки; $V_ш$ – швидкість шліфування; γ – передній кут ріжучої кромки.

Сумарна сила різання знаходиться інтегруванням сил мікрорізання по поверхні плями контакту.

Розрахунок лінії контакту деталі і шліфувального круга проводився за методикою, описаною в роботі [6]. Пляма контакту представляє собою область, обмежену лінією контакту і лінією перетину шліфувального круга, зміщеного на величину подачі, з заготовкою. Під час обробки валиків та барабанів текстильних машин шліфуються голки діаметром *0,3 мм* (розташовані по *55* штук на одному квадратному сантиметрі поверхні), тобто, для визначення реальної площі контакту необхідно знайдену площу помножити на *0,02*.

Висновки

Запропонована методика розрахунку, яка дозволяє визначати складові сили різання, які виникають під час шліфування голчастої поверхні барабанів та валиків текстильних машин, з врахуванням переривчастості поверхні інструмента і податливості системи, що сприяє вибору оптимальних режимів заточування.

Список літературних джерел

1. Филимонов Л.Н. Высокоскоростное шлифование. Л.: Машиностроение, ленинградское отделение, 1979. – 248 с.
2. Маслов Е.Н. Теория шлифования материалов.–М.: Машиностроение, 1974.– 320 с.
3. Кальченко В.И., Кальченко В.В., Ерошенко А.М. Определение сил резания при шлифовании со скрещивающимися осями инструмента и детали с профилем в виде дуги окружности // Сучасні технології в машинобудуванні: зб. наук. праць. Вип. 3. – Харків: НТУ «ХПІ», 2009. – С. 20-33.
4. Деклараційний патент України на винахід (корисну модель) № 14240 B24B19/00 “Спосіб заточування голчастої поверхні периферією і торцем орієнтованого круга” /В.В. Кальченко, – Опубл. 15.05.2006р. Бюл. № 5.
5. Корчак С.Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей. М.: Машиностроение, 1974. – 280 с.
6. Єрошенко А.М. Теоретичні та експериментальні дослідження процесу шліфування зі схрещеними осями інструмента і деталі з профілем у вигляді дуги кола//Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – Чернігів, 2008, №35. С.5-24.

УДК 378: 371.333

Погиба Н.М, магістрант
Пасов Г.В, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

КОМП'ЮТЕРНА ОБРОБКА ПОМИЛКОВИХ ДОСЛІДІВ

Розглянуто комп'ютерні програмні продукти перевірки дослідних даних за методами Греббса, Ірвіна, Романовського, які дозволяють використовувати їх в дослідницькому процесі та більш ефективно проводити лабораторні заняття.

Вступ

Комп'ютеризація, що бурхливо вторгається у всі сфери людської діяльності, багато в чому змінила і характер сьогоднішньої системи освіти. Останніми роками в освіті все більшого поширення набувають сучасні комп'ютерні технології. Однією з нових областей застосування персональних комп'ютерів в освітньому процесі стало використання комп'ютерів для виконання лабораторних робіт по різних дисциплінах, в тому числі і для інженерно-технічних спеціальностей, де необхідно працювати з великими потоками інформації.

Аналіз досліджень і публікацій

В сучасній інженерії проводиться велика кількість різноманітних експериментів, оскільки експериментальне дослідження дає більш точну відповідність між вивчаємими параметрами. Як правило, будь-які вимірювання в ході дослідного експерименту супроводжуються помилками. Коли отриманий результат вимірювання різко відрізняється від інших, виникає підозра, що допущено грубу помилку через порушення умов експерименту або вимірювання. Тому треба одразу проконтролювати відповідність реальних умов заданим. Якщо вони порушуються, то отриманий результат не враховують. Якщо таку перевірку виконати неможливо, питання про виключення результату, що відрізняється, вирішується за допомогою статистичних оцінок. При цьому використовуються різні критерії, які мають громіздкий характер математичного апарату, який однак, як правило, не відрізняється особливою складністю і зводиться до шаблонного використання ряду формул. Проте, велика кількість складних рутинних розрахунків, в яких легко можна заплутатися, призводить до того, що виконання подібних завдань викликає труднощі у студентів. Тому для сучасного інженера комп'ютер стає необхідним робочим інструментом саме в силу того, що з його допомогою збільшується в десятки та сотні мільйонів разів швидкість виконання арифметичних і логічних операцій, колосально підвищуючи тим самим продуктивність та точність інтелектуальної праці студента. Складнощі математичної обробки даних експерименту можна вирішити за допомогою, наприклад, прикладної програми Microsoft Excel або пакету MathCAD, які дозволяють вирішувати чисто математичні задачі, уникаючи громіздких і втомлюючих розрахунків. Але для цього необхідно проводити попередні заняття для ознайомлення з основними можливостями вказаних програм. Навчальні програми практично по всіх дисциплінах математичного циклу в теперішній час у ВУЗзах передбачають активне використання персональних комп'ютерів та пакетів прикладних програм під час вивчення таких дисциплін, починаючи з перших семестрів. Для того, щоб студент встигав, наприклад, по дисципліні з числових методів, рівень його базової підготовки по інформатиці повинен бути достатньо високим. Студенти починають проводити наукові дослідження на перших курсах, але спеціальних знань ще не мають, тому було розроблено рототабельне програмне забезпечення "Exception of flagrant errors", яке дозволяє студентам проводити дослідження без проведення попередніх занять для ознайомлення з його принципами роботи [1-10].

Мета статті

Основною метою статті є опис комп'ютерної програми, яку можна використовувати для визначення грубих помилок із великої кількості експериментальних даних.

Виклад основного матеріалу

В Чернігівському державному технологічному університеті (ЧДТУ) на кафедрі "Інтегровані технології машинобудування і автомобілі" для вивчення навчальних дисциплін: "Математичне моделювання процесів та металорізальних верстатів", "Експериментальні методи дослідження", "Основи наукових досліджень" розроблено програму "Exception of flagrant errors" в пакеті Microsoft Visual CSharp 2008 [11], яка дозволяє обчислювати статистичні характеристики досліджуваної величини та розрахункове значення критеріїв для оцінювання помилковості перевіряємого значення трьома методами – Греббса, Ірвіна, Романовського. Розглянемо її структуру та принцип роботи.

Перевірка помилковості експерименту за методом Греббса

Даний метод дозволяє зробити висновок про помилковість експерименту на основі порівняння величин розрахункового та табличного значень критерію Греббса.

Порядок розрахунку наступний.

1. Обчислюють середнє арифметичне значення досліджуваної величини за дослідними даними:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} x_i}{n-1}, \qquad (1)$$

де $\bar{x}$ – середнє арифметичне значення досліджуваної величини за дослідними даними, які не містять значення x', що відрізняється;

x_i – результати $(n-1)$ – го вимірювання;

n – загальна кількість експериментів.

2. Обчислюють дисперсію досліджуваної величини.

При кількості експериментів $n < 25$ дисперсію досліджуваної величини обчислюють за формулою:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}, \qquad (2)$$

де S^2 – дисперсія досліджуваної величини за дослідними даними.

При кількості експериментів $n > 25$ дисперсію обчислюють за формулою:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{n}. \qquad (3)$$

3. Обчислюють корінь квадратний із дисперсії досліджуваної величини за формулою:

$$S = \sqrt{S^2}. \qquad (4)$$

4. Розрахункове значення критерію Греббса обчислюють за формулою:

$$t_Г = \frac{|x' - \bar{x}|}{S}, \qquad (5)$$

де x' – перевіряємий результат.

Якщо $t_Г > t_{Гтабл}$, то оцінюваний результат x' виключається як груба помилка. Якщо $t_Г \le t_{Гтабл}$, то x' не є грубою помилкою й не виключається з подальших розрахунків.

В програмному продукті "Exception of flagrant errors" розрахунки проводить програ-

ма. Початкове вікно програми представлено на рис. 1.

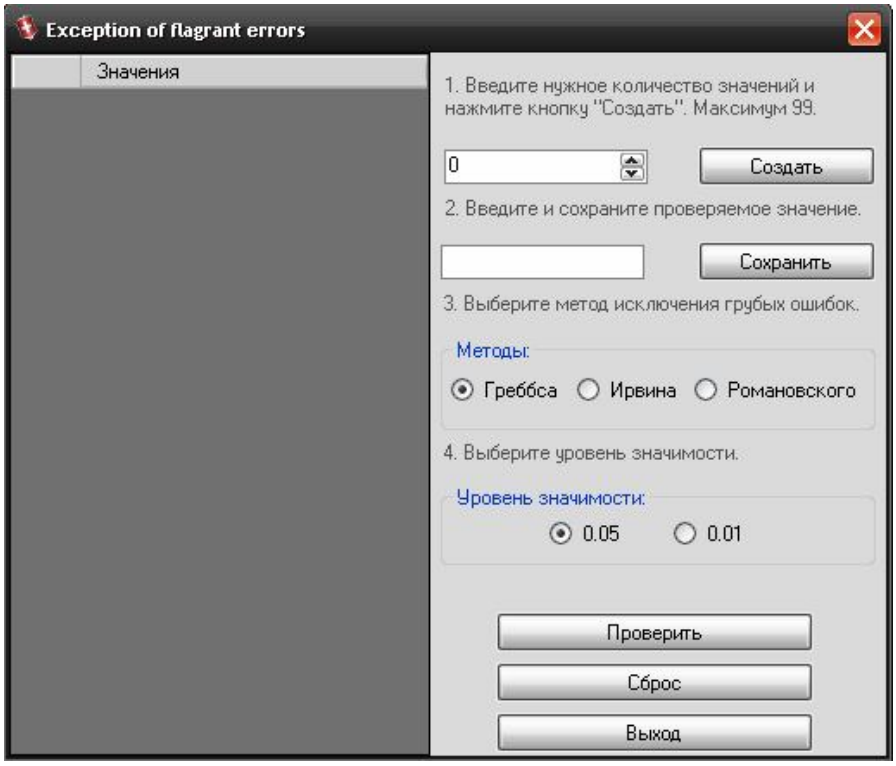


Рис. 1. Вікно програми без занесених даних

Далі заносять значення кількості даних без врахування перевіряємого значення (рис. 2) та натискають "Создать".

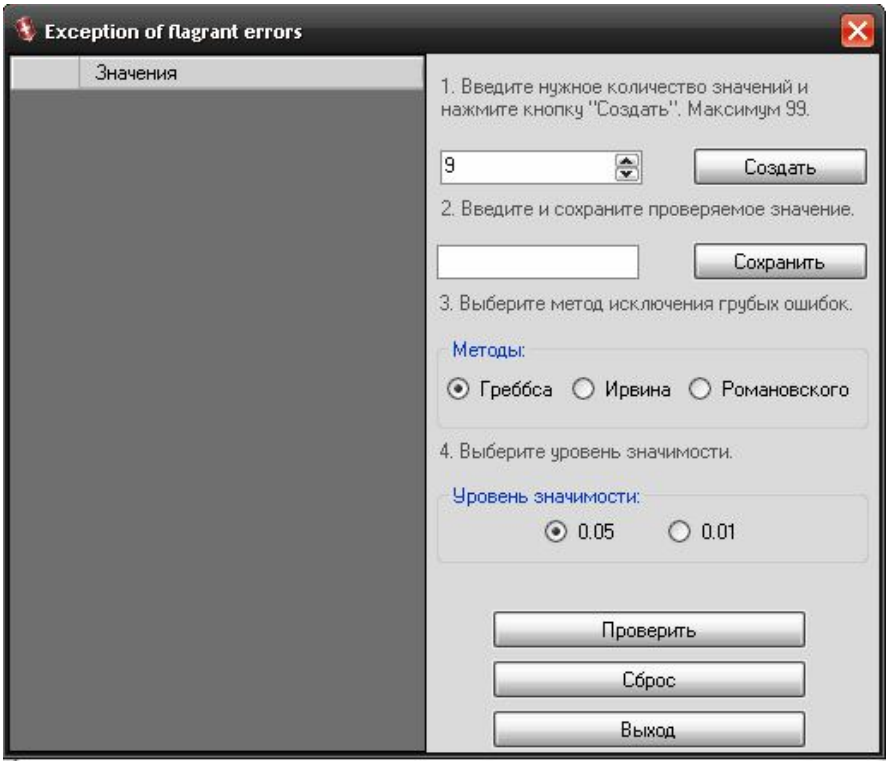


Рис. 2. Вікно програми з занесеною кількістю результатів

З'являється вікно (рис. 3), куди вводять результати вимірювань без перевіряємого значення.

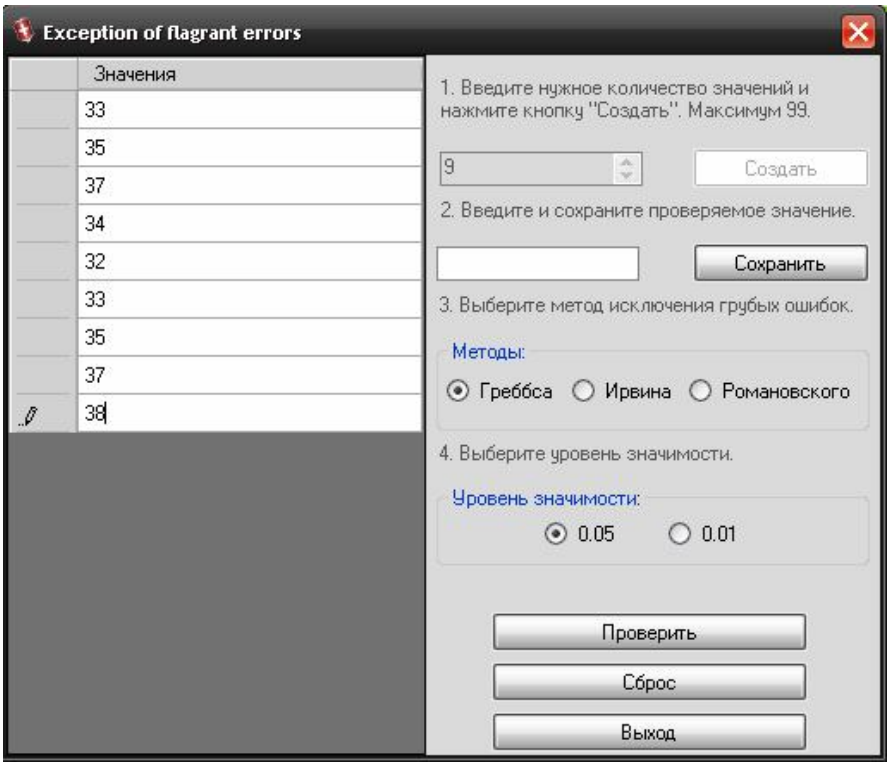


Рис. 3. Вікно програми з введеними результатами експериментів

Далі вводять перевіряєме значення (рис. 4) та натискають "Сохранить".

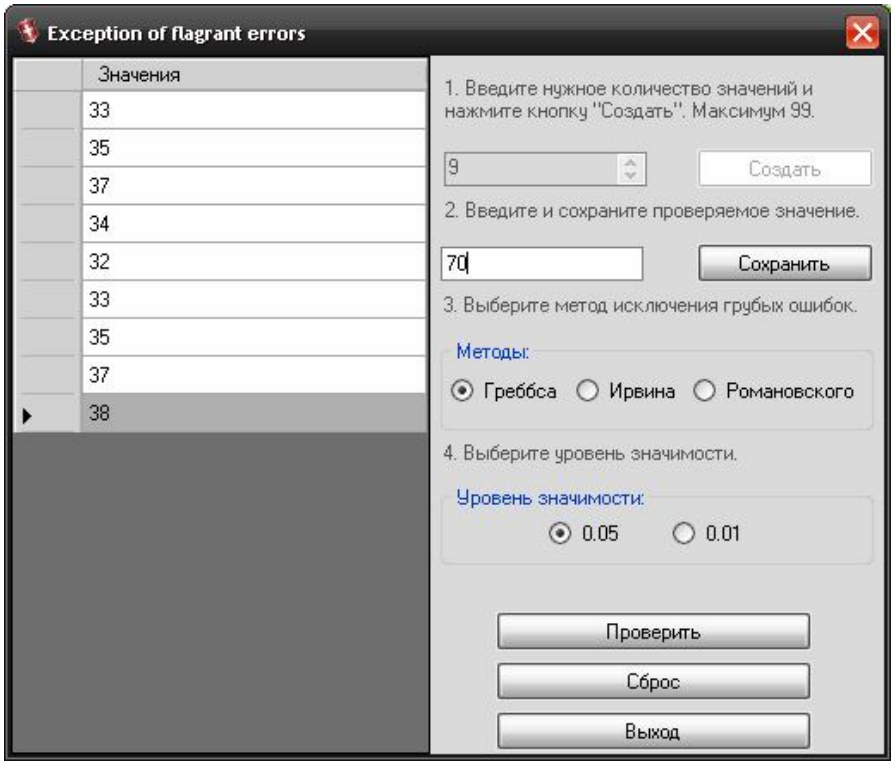


Рис. 4. Вікно програми з введеним перевіряємим значенням

Вибирають метод перевірки та рівень значущості (рис. 5) і натискають "Проверить".

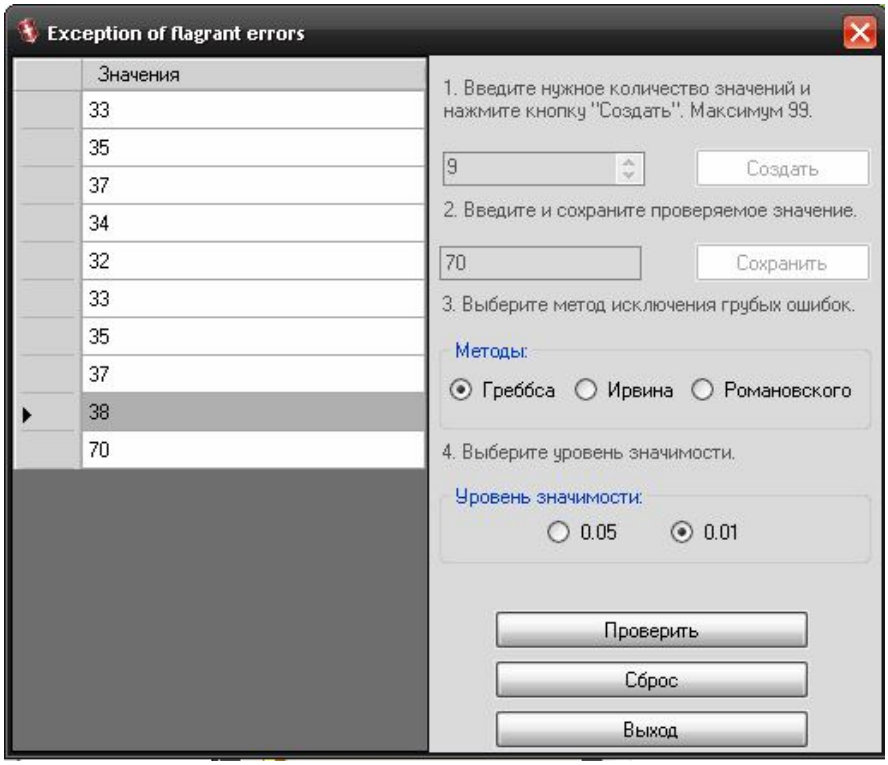


Рис. 5. Вікно програми з вибраним методом перевірки та рівнем значущості

З'являється вікно з результатами розрахунку та висновком про помилковість перевіряємого результату (рис. 6).

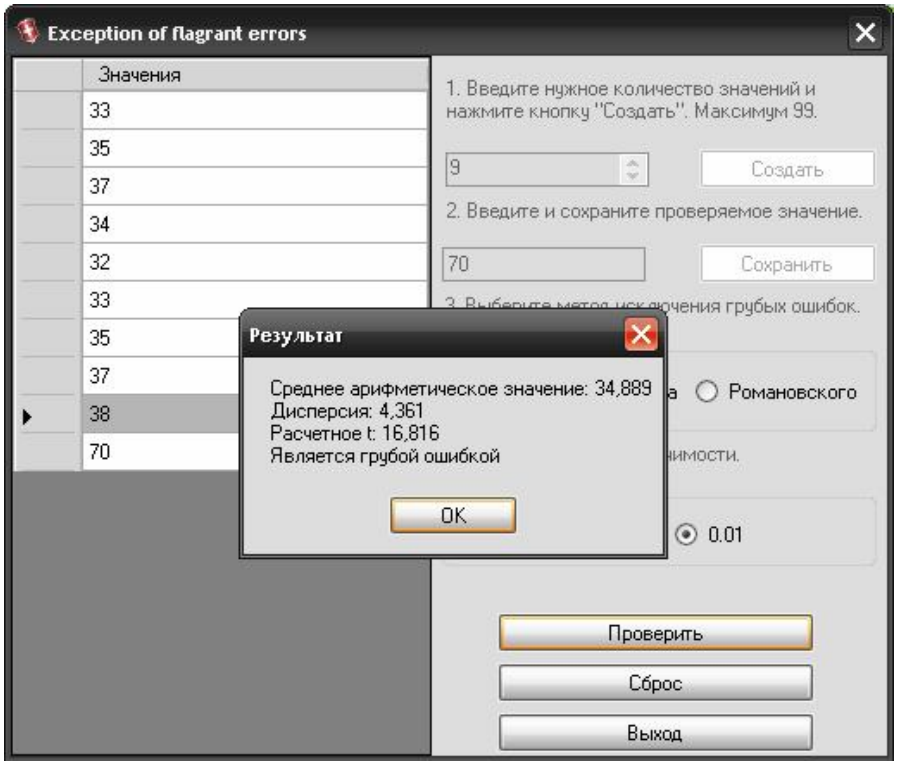


Рис. 6. Вікно програми з результатами перевірки методом Греббса

Перевірка помилковості експерименту за методом Ірвіна

Даний метод дозволяє зробити висновок про помилковість експерименту на основі

порівняння величин розрахункового та табличного значення критерію Ірвіна, при цьому результати вимірювань упорядковуються в ряд (зростаючий або спадаючий).

Порядок розрахунку наступний.

1. Обчислюють середнє арифметичне значення досліджуваної величини за формулою (1).

2. Обчислюють дисперсію досліджуваної величини за формулою (2) або (3).

3. Обчислюють корінь квадратний із дисперсії досліджуваної величини за формулою (4).

4. Розрахункове значення критерію Ірвіна обчислюють за формулою:

$$t_I = \frac{|x_n - x_{n-1}|}{S}, \qquad (6)$$

де $|x_n - x_{n-1}|$ – абсолютне значення різниці двох крайніх членів.

Якщо $t_I > t_{Iтабл}$, то значення x_n є помилковим і виключається з подальших розрахунків. Якщо $t_I \le t_{Iтабл}$, то оцінюваний результат x_n є випадковим відхиленням і відкидати його не можна.

В програмному продукті "Exception of flagrant errors" розрахунки проводить програма. Початкове вікно програми представлено на рисунку 1. Порядок введення перевіряємих значень аналогічний порядку, викладеному в методі Греббса (рис. 2 – 4), при цьому результати вимірювань програма самостійно упорядковує в зростаючий ряд. Вибраний метод перевірки та рівень значущості представлено на рис. 7. Після натискання "Проверить" з'являється вікно з статистичними характеристиками та висновком про помилковість перевіряємого результату (рис. 8).

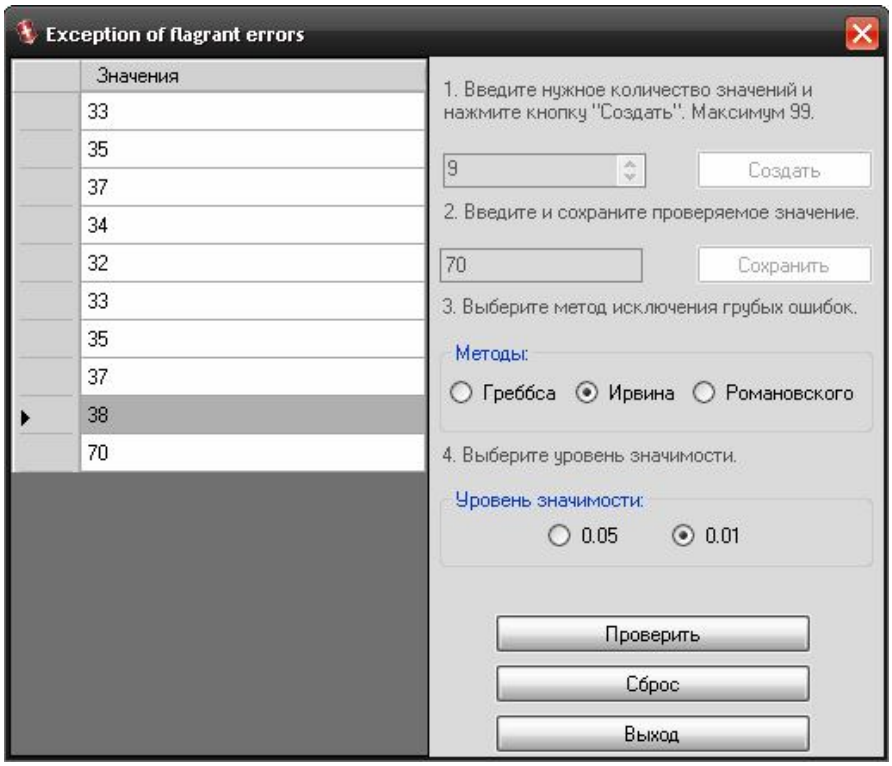


Рис. 7. Вікно програми з вибраним методом перевірки та рівнем значущості

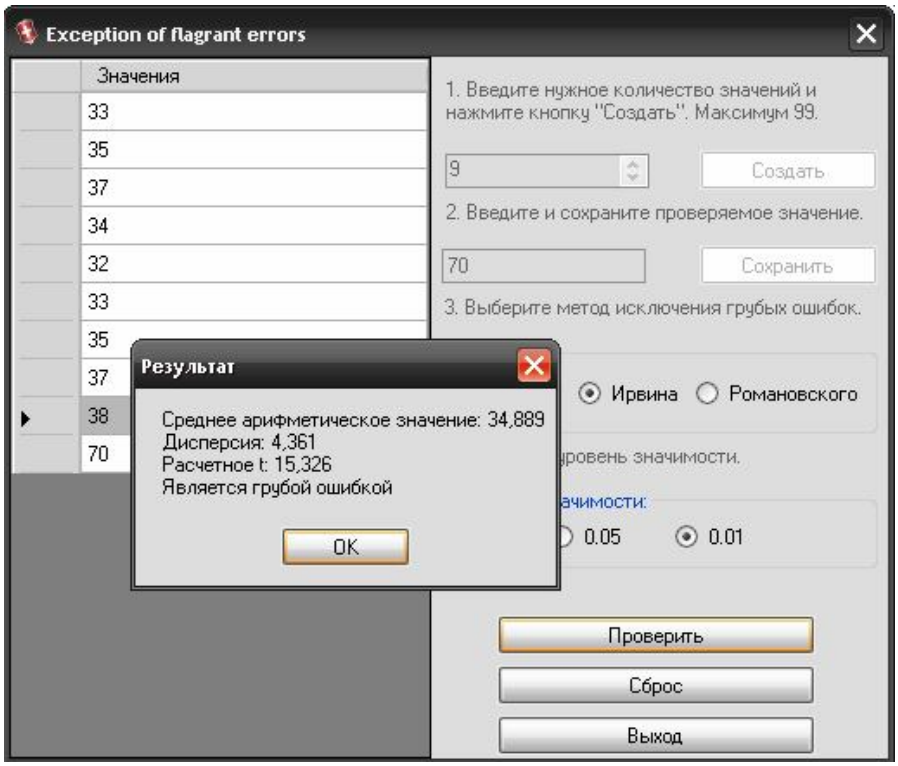


Рис. 8. Вікно програми з результатами перевірки методом Ірвіна

Перевірка помилковості експерименту за методом Романовського

Даний метод дозволяє зробити висновок про помилковість експерименту на основі порівняння величин розрахункового та табличного значення критерію Романовського, при цьому на основі попереднього аналізу результатів вимірювань виключають значення x', що різко відрізняється, визначають статистичні характеристики за (n – 1) вимірюванням.

Порядок розрахунку наступний.

1. Обчислюють середнє арифметичне значення досліджуваної величини за формулою:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n-1}, \qquad (7)$$

де n – кількість експериментів без експерименту, що різко відрізняється.

2. Обчислюють дисперсію досліджуваної величини за формулою (2) або (3).

3. Обчислюють корінь квадратний із дисперсії досліджуваної величини за формулою (4).

4. Розрахункове значення критерію Романовського обчислюють за формулою:

$$t_P = \frac{|x' - \bar{x}|}{S}, \qquad (8)$$

де x' – виключене значення, що різко відрізняється.

Якщо $t_P > t_{Ртабл}$, то значення x' є грубою помилкою та виключається з подальших розрахунків. Якщо $t_P \le t_{Ртабл}$, то оцінюваний результат x' є випадковим відхиленням і має враховуватися в подальших розрахунках.

В програмному продукті "Exception of flagrant errors" розрахунки проводить програма. Початкове вікно, порядок введення перевіряємих значень, вибір методу перевірки та рівня значущості аналогічний порядку, викладеному в методі Греббса (рис. 1 – 5). Після натиснення "Проверить" (рис. 9) з'являється вікно з статистичними характерис-

тиками та висновком про помилковість перевіряємого результату (рис. 10).

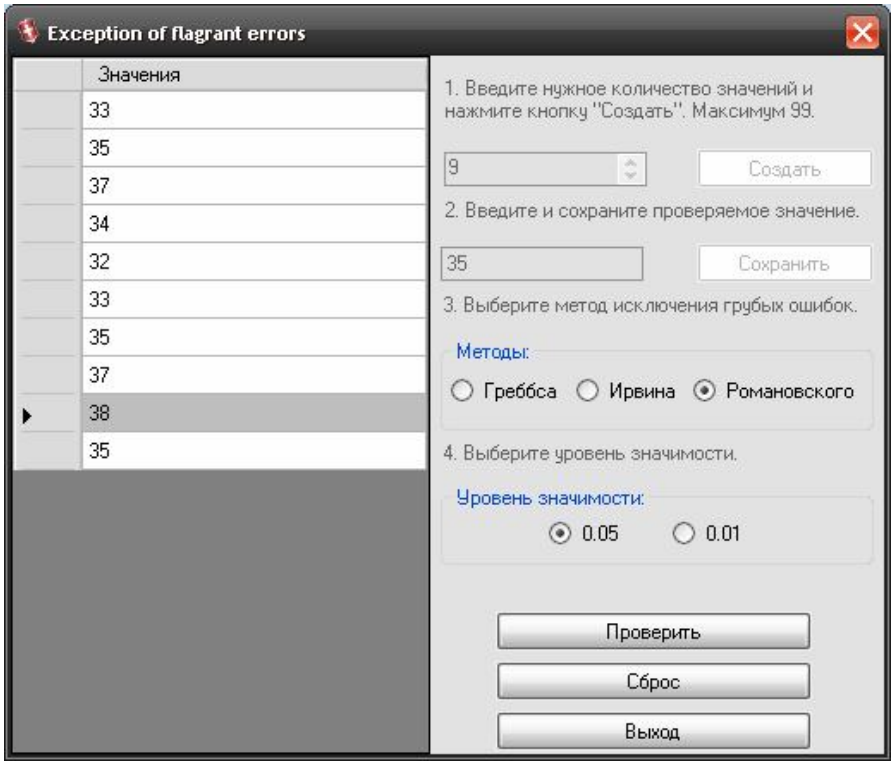


Рис. 9. Вікно програми з вибраним методом перевірки та рівнем значущості

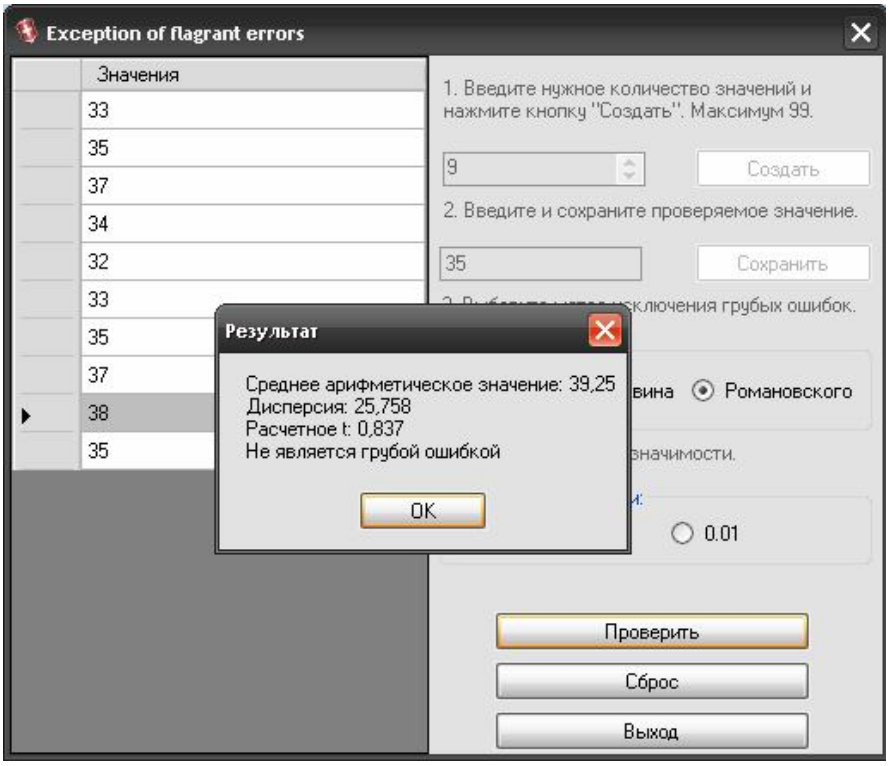


Рис. 10. Вікно програми з результатами перевірки методом Романовського

Висновки

Розроблений програмний продукт може ефективно використовуватись при вивченні дисциплін: "Математичне моделювання процесів та металорізальних верстатів", "Експериментальні методи дослідження", "Основи наукових досліджень". Даний програм-

ний продукт дозволяє обчислювати статистичні характеристики досліджуваної величини та робити висновок про помилковість перевіряємого значення за трьома методами – Греббса, Ірвіна та Романовського, а також працювати незалежно від встановленої операційної системи Windows. Дані програмні продукти не потрібно інсталювати, вони портабельні.

Список літературних джерел

1. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий – М.: Наука, 1971. – 28 с.
2. Белый И.В. и др. Основы научных исследований и технического творчества / И.В. Белый, К.П. Власов, В.Б. Клепиков. – Х.: Выща шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1989. – 200 с.
3. Душинський В.В. Основи наукових досліджень. Теорія та практикум з програмним забезпеченням: Навч. посібник – К.: НТУУ “КПІ”, 1998. – 408 с.
4. Кане М.М. Основы научных исследований в технологии машиностроения: Учеб. пособие для вузов. – Мн.: Выш. шк., 1987. – 231 с.
5. Лудченко А.А., Лудченко Я.А., Примак Т.А. Основы научных исследований: Учеб. пособие / Под ред А.А. Лудченко. – К.: О-во “Знання”, КОО, 2000. – 114 с.
6. Математическое планирование эксперимента. Методические указания для студентов спец. 05.01. Составитель Полозок Н.Д. – К.: КПИ, 1981. – 55 с.
7. Новик Ф.С. Планирование экспериментов в металловедении – М.: Машиностроение, 1974. – 40 с.
8. Оптимизация технологических процессов в машиностроении. Душинский В.В., Пуховский Е.С., Радченко С.Г. / Под общей редакцией С.Э. Таурита – К.: Техника, 1977. – 176 с.
9. Чкалова О.Н. Основы научных исследований – К.: Вища школа, 1978. – 120 с.
10. Радченко С.Г. Математичне моделювання та оптимізація технологічних систем: Навчально-методичний посібник. – К.: Політехніка, 2002. – 88 с.
11. Глушков С.В., Коваль А.В., Смирнов С.В. Язык программирования С++, учебный курс – Харьков: Фолио, 2001. – 505 с.

УДК 62–82:62–83

П.М. Андренко, д-р. техн. наук
А.Ю. Лебедєв, студент

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна

ПОЛІПШЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБ'ЄМНИХ ГІДРОАГРЕГАТІВ

Наведено результати аналітичного огляду схемних рішень сучасних об'ємних гідроагрегатів технологічних і мобільних машин. Запропоновано перспективну структуру та апаратну реалізацію гідроагрегату, яка забезпечить поліпшення його енергетичних характеристик.

Вступ

Однією з основних тенденцій розвитку об'ємних гідроагрегатів (ГА) стаціонарних та мобільних машин є підвищення їх технічного рівня за рахунок підвищення ККД, розширення функціональних можливостей, зменшення собівартості. В процесі проектування таких ГА необхідно виконати низку суперечливих вимог, пов'язану із забезпеченням високих енергетичних характеристик та малою собівартістю при заданому алгоритмі функціонування. На сьогодні існує два шляхи розв'язання цієї задачі, а саме застосування ГА з регульованим об'ємним насосом, що дозволяє забезпечити на його виконавчому механізмі постійну потужність, тиск або витрату, та застосування привідних асинхронних електродвигунів з частотним регулюванням. Зауважимо, що для оцінки технічного рівня ГА, в тому числі і енергетичних характеристик, використовують показники, наведені в роботі [1]. Новітньою тенденцією розвитку технологічних та мобільних машин є використання при їх побудові мехатронних систем. Основною рушійною силою широкого впровадження їх в промисловість є розвиток обчислювальної техніки, мікропроцесорів та мікроконтролерів, що призвело до нового осмислення процесів передачі і перетворення інформації в електромеханічних системах.

Аналіз літературних джерел

У загальному випадку, ГА або мехатронний ГА містить сукупність пристроїв з одним або декількома об'ємними гідравлічними двигунами для приведення в рух механізмів і машин за допомогою рідини під тиском (рис. 1.), а його технічний рівень залежить від схемного рішення та технічного рівня окремих його складових.



Рис. 1. Структурна схема ГА

Питанням проектування ГА стаціонарних та мобільних машин присвячена достатньо велика кількість наукових робіт, наприклад [2 – 4]. В значній частині з них розглядаються ГА з регульованим об'ємним насосом. Однак, такі ГА мають обмежений діапазон регулювання витратою чи потужністю насоса при зміні навантаження від нуля до номінального значення. Не забезпечене його діагностування в процесі роботи, не сформульовані вимоги до їх апаратурної реалізації. Це не дозволяє будувати ГА з поліпшеними енергетичними характеристиками.

Перспективною тенденцією схемного розв'язання ГА є використання систем з адаптацією, збудованих з використанням модулів LS (load sensing – чутливий до навантаження) [5, 6]. Такі системи містять об'ємний насос, що регулюється, та мають кращі енергетичні показники. Зазвичай пристрої регулювання таких насосів – механічні та

складаються з гідравлічного циліндру, в штоковій камері якого розміщено пружину, характеристики якої змінюються в процесі експлуатації, на рухомі елементи пристроїв регулювання діють сили тертя та вони мають люфти. Це не дозволяє забезпечити високу точність. Крім того, діапазон регулювання таких насосів обмежений.

Мехатронний ГА керування виконавчим механізмом, в якому реалізовано сучасну тенденцію їх побудови – застосування частотного керування, описано в статті [7]. Однак, розглянутий в ній мехатронний ГА нездатний забезпечити видаток нерегульованого насосу, більшого від його максимального значення, крім того, він повинен постійно працювати для компенсування витоків в регулюючо-розподільчому пристрої. Це призводить до зливу надлишку робочої рідини з мехатронного ГА через запобіжний клапан, внаслідок чого відбувається її нагрівання. Крім того, встановлення датчиків тиску і переміщення та крокового електродвигуна ускладнює його конструкцію та значно підвищує собівартість мехатронного ГА.

Описаний в статті [8] мехатронний ГА, відмінною особливістю якого є те, що запропоноване схемне розв'язання дозволяє у широкому діапазоні змінювати частоту обертання асинхронного електродвигуна в залежності від навантаження на виконавчому механізмі та здійснювати його реверс, що забезпечує регулювання видатком нерегульованого насосу від нуля до двох номінальних значень в обох напрямках, ліквідувати витоки в розподільчому пристрої, зупиняти асинхронний електродвигун, а отже і насос при відсутності зовнішнього сигналу керування на переміщення гідроциліндра, ліквідуючи, таким чином, злив надлишку робочої рідини з мехатронного ГА через запобіжний клапан, внаслідок чого відбувається її нагрівання, зменшити енергоспоживання, проводити діагностування мехатронного ГА під час його роботи. А виконання мехатронного ГА за замкнутою схемою циркуляції робочої рідини дозволяє зменшити його габарити. Однак, недоліком такого схемного виконання є те, що він не забезпечує керування одночасно двома і більше виконавчими механізмами, а для компенсації витоків в ньому додатково встановлено насос.

Таким чином, можна констатувати важливу науково-технічну задачу – поліпшення енергетичних характеристик об'ємних ГА шляхом розробки його перспективної схеми і вибору гідравлічних компонентів для її реалізації.

Мета статті

Метою даної статті є розробка перспективного схемного рішення об'ємного ГА та формулювання вимог для забезпечення його високих енергетичних характеристик.

Схемна реалізація перспективного ГА

Вимоги високої точності регулювання та високої швидкодії, що пред'являються до об'ємних ГА, обумовлюють застосування замкнутих систем, які дозволяють здійснити реалізацію двох основних принципів:

1. Вихідна величина, що регулюється (швидкість, момент, кут тощо), повинна з максимальною точністю відтворювати вхідний (керуючий) сигнал.

2. Вихідна величина, що регулюється, по можливості не повинна залежати від збурень, що діють на систему. При цьому збуреннями можуть бути напруга живлення, температура, момент навантаження, часові залежності параметрів тощо.

Таким чином, основним принципом керування сучасних об'ємних ГА є принцип зворотного зв'язку, який дозволяє здійснювати контроль якості регулювання за відхиленням керованого параметра від заданого. У ідеальному для користувача варіанті об'ємний ГА, отримавши на вхід інформацію про мету керування, буде виконувати з бажаними показниками якості та точності заданий функціональний рух.

Отже, об'ємний ГА, по суті, повинен мати якості системи, що самоналаштовується. Застосування мехатронного підходу при створенні машин з комп'ютерним керуванням

визначає їх основні переваги в порівнянні з традиційними засобами автоматизації [9]: відносно невелику ціну завдяки великому ступеню інтеграції, уніфікації і стандартизації усіх елементів та інтерфейсів; високу якість реалізації складного та точного руху виконавчих механізмів внаслідок застосування методів інтелектуального керування; високу надійність, довговічність та захищеність від збурень; конструктивну компактність модулів (аж до мініатюризації в мікромашинах); покращення масогабаритних та динамічних характеристик машин внаслідок спрощення кінематичних і комунікаційних ланок; можливість інтегрування функціональних модулів в складні системи і комплекси під конкретні задачі замовника.

Сучасною тенденцією проектування і виробництва промислового устаткування є використання блочно-модульного принципу. Для сучасних об'ємних ГА такими модулями є мехатронні модулі руху – синенергетична сукупність механічних (гідромеханічних, пневмомеханічних), електротехнічних, електронних компонентів та інформаційних і програмних засобів, які реалізують досягнення заданого керованого руху. Це дозволяє проводити декомпозицію складних ГА, зменшуючи кількість ступенів свободи, отримати їх ієрархічну структуру. За результатами структурного синтезу спростити схемну реалізацію ГА за рахунок мінімізації внутрішніх зворотних зв'язків, які можна отримати з інформаційної моделі, підпорядкувати структуру об'єкта до процесу функціонування. Використовувати типові модулі при його побудові.

Однією з основних вимог, що ставиться до сучасних ГА, є покращення їх шумових характеристик – зменшення шуму та вібрації, які досить жорстко регламентовані відповідними ДСТУ. На сьогодні існує два шляхи вирішення цієї проблеми. Перший – використання новітньої серії насосів, які мають кращу компоновку блоків керування і систему керування від ПК, та забезпечують: безступінчасте регулювання тиску та подачі; можливість обмеження потужності; високу точність завдяки наявності замкнутого контуру регулювання з датчиками тиску та кута повороту похилої шайби; високу швидкодію; дозволяють пристосовувати параметри під конкретні вимоги замовника [10]. Другий – застосування гідравлічних гасителів пульсацій тиску робочої рідини з автоматичним підстроюванням параметрів [11].

Поліпшення енергетичних характеристик ГА за рахунок використання гідропневмоаккумуляторів, які використовують у якості основних, додаткових чи аварійних джерел енергії, що дозволяє забезпечити надійність роботи ГА, знизити потужність насоса рекуперацією потужності у машинах циклічної дії, зменшити розміри та вартість елементів гідросистеми, суттєво підвищити ККД тощо.

Підвищення показників технічного рівня, енергетичних характеристик та ефективності функціонування і експлуатації ГА за рахунок використання гідроапаратів з суттєво поліпшеними статичними і динамічними характеристиками, в тому числі і з осциляцією [12]. Використовувати апарати вкручуваного монтажу, у тому числі з пропорційним керуванням, наприклад, розробленого компанією Argo Hytos [11]. Використовувати для виготовлення ущільнень нового термопластичного поліуретану P6000, який стійкий до екструзії та високих температур, хімічно стійкий та має малий коефіцієнт тертя.

Поліпшенню енергетичних характеристик ГА сприяє використання: високо інтегрованих фільтрувальних модулів, у тому числі об'єднуючих функції зливних та фільтрів, що всмоктують, які одночасно фільтрують робочу рідину в декількох контурах ГА, що дозволяє зменшити довжину з'єднуючих трубопроводів і спростити обслуговування; спеціальних фільтрів, які працюють по принципу випарювання води під дією вакууму та дозволяють видалити з мастила вільну, емульговану та розчинену воду, вільні і розчинені гази, а також механічні забруднення розміром до 1 мкм [11].

Таким чином, підвищення показників технічного рівня, поліпшення енергетичних характеристик та ефективності функціонування і експлуатації в промисловості об'ємних ГА лежить в площині застосування мехатронного підходу, замкнутих систем з комп'ютерним керуванням, використання при їх побудові блочно-модульного принципу, новітньої серії насосів та гідропневмоаккумуляторів, гідравлічних компонентів з суттєво поліпшеними статичними і динамічними характеристиками. Це є актуальною і складною проблемою, яка існує в промисловості. Її розв'язання дозволить підвищити показники технічного рівня об'ємних ГА, в тому числі і енергетичні характеристики, розширити область застосування та ефективність функціонування.

Висновки

На підставі аналітичного огляду літературних джерел встановлено, що основними тенденціями поліпшення енергетичних характеристик об'ємних ГА є застосування мехатронного підходу, будова за замкнутою схемою, використання гідравлічних компонентів з суттєво поліпшеними статичними і динамічними характеристиками.

Список літературних джерел

1. Система показателей качества продукции. Гидроприводы объемные, пневмоприводы и смазочные системы. Номенклатура показателей: ГОСТ 4.37–90. [Введен в действие 1990–06–09] – М.: Издательство стандартов, 1990. – 39 с.
2. Электрогидравлические следящие системы / [Хохлов В.А., Прокофьев В.Н., Борисова Н.А. и др.]; под ред. В.А. Хохлова. – М.: Машиностроение, 1971. – 431 с.
3. Аврунін Г.А. Основи об'ємного гідропривода і гідропневмоавтоматики: [нав. посібник] / [Г.А. Аврунін, І.Г. Кириченко, І.І. Мороз]; під ред. Г.А. Авруніна. – Харків: ХНАДУ, 2009. – 424 с.
4. Mobile Hydraulics and Electronics. MANNESMANN REXROTH / Banites – Bauer: Wurzbung, 1990. – 396 p.
5. Pizon A. Stan aktualnu i tendensje rozwojowe hydrauliczych urzadzen automatyki / A. Pizon // XI Krajowa konferencija automatyki. 17–20 wrzesnia, 1991 r. Bialystok – Bialowieza: Referaty – Bialystok: PPB, 1991. Tom 1. – S. 99 – 109.
6. Бондар В.А. Новые решения в гидроприводе тракторов / В.А. Бондар // Промислова гідравліка і пневматика. – 2003. – № 2. – С. 81 – 84.
7. Тихенко В.Н. Разработка гидропривода с регулируемым приводным двигателем насосной установки / В.Н. Тихенко // Промислова гідравліка і пневматика. 2006 № 1 (11). – С. 84 – 86.
8. Федоренко І.М. Розробка мехатронного гідроагрегату з гібридним керуванням виконавчим механізмом / І.М. Федоренко // Вісник НТУ "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ", 2009. – №37. С. – 76 – 80.
9. Подураев Ю.В. Принципы построения и современные тенденции развития мехатронных систем / Ю.В. Подураев, В.С. Кулешов // Мехатроника. – М.: Машиностроение, 2000. – № 1. С. 5 – 10.
10. Свешников В.К. Новейшие гидроприводы стационарных машин / В.К. Свешников // Гидравлика & Пневматика, 2005. – №20. – С. 3 – 11: [Електронний ресурс] // – Режим доступу: http:// www.hap.ru.
11. Андренко П.М. Дослідження робочого процесу у гідравлічному гасителі пульсацій тиску / П.М. Андренко, М.С. Свинаренко // Вісник НТУ "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ". – 2010. – № 4. – С. 45 – 53.
12. Андренко П.М. Динаміка гідросистеми, збудованої з використанням гідроапаратів із гідравлічним вібраційним контуром / П.М. Андренко // Вісник НТУ "ХПІ". – 2005. – № 43. – С. 55 – 63.

УДК 629.3.023

А. П.Фалалеев, канд. техн. наук

Севастопольский национальный технический университет, г. Севастополь, Украина

ОПТИМАЛЬНОЕ ТОРМОЖЕНИЕ ПАССАЖИРА ПРИ ФРОНТАЛЬНОМ СТОЛКНОВЕНИИ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Получена и исследована функция оптимального торможения пассажира транспортного средства при лобовом столкновении. Система пассажир-транспортное средство представлена в виде одномассовой модели. Решение позволяет подбирать параметры сдерживающей системы для реализации оптимального закона торможения по критерию травмирования грудной клетки.

Введение

Одно из основных эксплуатационных свойств современного транспортного средства – это безопасность. Независимо от количества и оснащенности автомобилей активными средствами, предотвращающими ДТП, актуальной остается задача обеспечения пассивной безопасности конструкции транспортного средства, т.е. защита пассажиров и водителя при аварии.

Задача механического расчета конструкции в данном случае осложняется введением в систему биологического объекта – человека и необходимостью обеспечить его безопасность при столкновении.

Вопрос оптимальной кинематики движения пассажира рассматривался в работе [1], где на основе одномассовой модели кривая замедления была представлена в виде кусочно-линейной функции, а оптимальный вид находился последовательно, с помощью итерационного подхода.

В работе [2] предложен энергетический подход для определения оптимального движения пассажира внутри салона. По заключению автора оптимальным является импульс прямоугольной формы.

Большое распространение при исследовании безопасности и поведения конструкции при столкновении получил метод конечных элементов. Несмотря на высокую трудоемкость подготовительного этапа, составление модели и задание свойств элементам, современные программные пакеты типа LS-DYNA (Ansys), Nastran дают высокую точность и адекватность при просчете динамических нагрузок в задачах проверки характеристик будущей конструкции. При определении оптимальных характеристик системы данные методы могут быть использованы только как проверочные.

Существует более 20 критериев повреждения человека при столкновении, но для простоты моделирования можно ограничиться только использованием критерия повреждения грудной клетки. В стандарте FMVSS №208 (Federal Motor Vehicle Safety Standards), который является одним из наиболее жестких для транспортных средств, оговорено максимальное замедление грудной клетки манекена. Согласно стандарта для мужского манекена 50-го перцентиля ускорение грудной клетки не должно превышать 60g (588,6 м/с^2) на протяжении более 3мс при столкновении с полным перекрытием с жестким барьером на скорости 48 км/ч (13,3 м/с). Исследования [2] показывают, что максимальное ускорение грудной клетки хорошо кореллирует со степенью полученных травм и может быть использовано как критерий оценки степени безопасности конструкции.

Изложение основного материала

Функция оптимального торможения пассажира не зависит от массы и прочностных параметров автомобиля, поэтому модель может быть представлена в виде одномассовой системы (рис.1), где пассажир в виде сосредоточенной массы m_p удерживается при столкновении сдерживающей системой (ремнем, подушкой и пр.) и силовым

каркасом автомобиля с общей жесткостью *c* и демпфирующими свойствами *d*. Суммарное перемещение пассажира L_p за время столкновения будет определяться величиной свободного перемещения и величиной пластической деформации фронтальной части автомобиля.

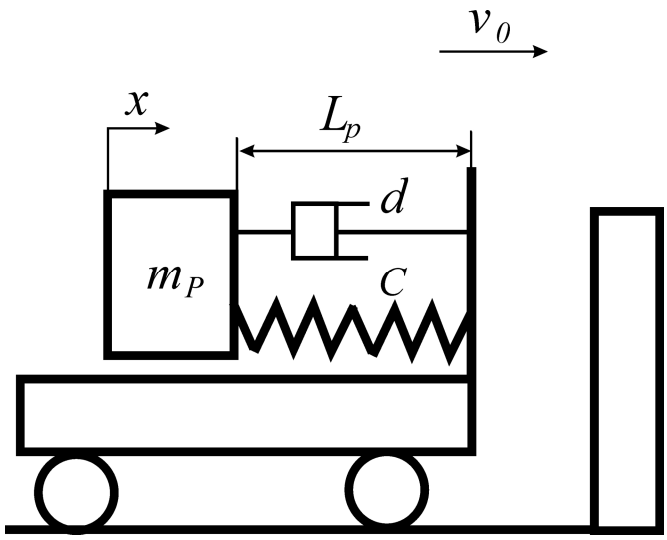


Рис. 1. Модель поведения пассажира при лобовом столкновении транспортного средства

Пассажир, сталкиваясь со сдерживающей системой во время столкновения, смещается в направлении движения *x,* приобретая при этом замедление *a*:

$$a(t) = -\ddot{x}(t) \tag{1}$$

При этом максимальное перемещение пассажира составит:

$$\max_t \{x(t)\} \le L_p \tag{2}$$

В таком случае уравнение движения системы запишем в виде:

$$m(\ddot{x}) + w(x, \dot{x}, t) = 0, \tag{3}$$

где $w(x, \dot{x}, t)$ – управляющая функция силы принудительного торможения пассажира.

Одну из задач оптимального торможения, с учетом критерия травмирования грудной клетки, можно сформулировать следующим образом: для известных скорости столкновения, деформации автомобиля, длины свободного перемещения пассажира найти такой закон оптимального торможения пассажира при столкновении $w_{OPT}(t)$, чтобы перемещение пассажира было минимальным при том, что амплитуда замедления пассажира не превышает заданного биомеханического предела a_{MAX}.

$$w_{OPT}(t) = \min\{x(t) \mid a \le a_{MAX}\} \tag{4}$$

Вторую задачу оптимального управления, которая нацелена на минимизацию ускорений пассажира при столкновении и максимальное уменьшение последствий

столкновении, можно сформулировать следующим образом: для известных скорости столкновения и существующего пространства для смещения пассажира L_p найти такой закон оптимального торможения пассажира $w_{OPT}(t)$, чтобы перемещение пассажира было максимально возможным и использовало для поглощения энергии всю возможную длину L_p.

$$w_{OPT}(t) = \max\{x(t) \mid a \le a_{MAX}, x = L_P\} \tag{5}$$

Движение пассажира от момента начала удара $t = 0$ до первого момента достижения пассажиром нулевой скорости $t = T_0$ можно описать следующим образом:

$$v_0 + \int_0^{T_0} \ddot{x}(t)dt = 0, \tag{6}$$

где v_0 – скорость автомобиля до столкновения.

Смещение пассажира при этом достигает максимального значения при $t = T_0$:

$$\max\{x(t)\} = x(T_0) \tag{7}$$

Отсюда следует, что для минимизации $x(t)$ необходимо минимизировать T_0. Это значит, что для минимизации смещения пассажира его замедление должно быть максимально возможным из условия неполучения травм. Согласно (7) T_0 принимает минимальное значение при $\ddot{x}(t) = -a_{MAX}$:

$$T_0 = \frac{v_0}{a_{MAX}} \tag{8}$$

С другой стороны, замедление ограничено свободным пространством для деформации кузова и смещения пассажира:

$$a_{MAX} \le \frac{v_0^2}{2L_p} \tag{9}$$

Согласно (6) запишем оптимальные параметры торможения пассажира:

$$\ddot{x}(t) = -a_{MAX} \tag{10}$$

$$\dot{x}(t) = v_0 - a_{MAX} \cdot t \tag{11}$$

$$x(t) = v_0 t - \frac{a_{MAX} \cdot t^2}{2} \tag{12}$$

Для реализации оптимального торможения (10), (11), (12) внешняя сила, приложенная через сдерживающую систему согласно (3), должна отвечать условию (13).

$$w(x, \dot{x}, t) = m_p \cdot a_{MAX} \tag{13}$$

Характеризуя сдерживающую систему жесткостью *c* и вязкостью *d,* запишем:

$$c \cdot x + d \cdot \dot{x} = m_p \cdot a_{MAX}. \tag{14}$$

Подставляя в (14) траекторию идеального движения пассажира (11), (12), получим:

$$c(v_0 t - \frac{a_{MAX} \cdot t^2}{2}) + d(v_0 - a_{MAX} \cdot t) = m_p \cdot a_{MAX} . \quad (15)$$

Для удовлетворения уравнения (15) в момент времени $t=0$ вязкость должна соответствовать

$$d = \frac{m_P \cdot a_{MAX}}{v_0} . \quad (16)$$

Принимая вязкость системы линейной и подставляя (16), (11) и (12) в (14), определим суммарную осевую жесткость системы, при которой может быть реализован закон оптимального управления (14) при условии (16):

$$c = -\frac{m_P \cdot a_{MAX}(-v_0 + \sqrt{v_0^2 - 2a_{MAX} \cdot x})}{v_0 \cdot x}, \quad (17)$$

Согласно (17) для обеспечения оптимального управления суммарная жесткость сдерживающей системы должна иметь нелинейный характер. Функции осевой суммарной жесткости сдерживающей системы в зависимости от линейной деформации представлены на рис.2.

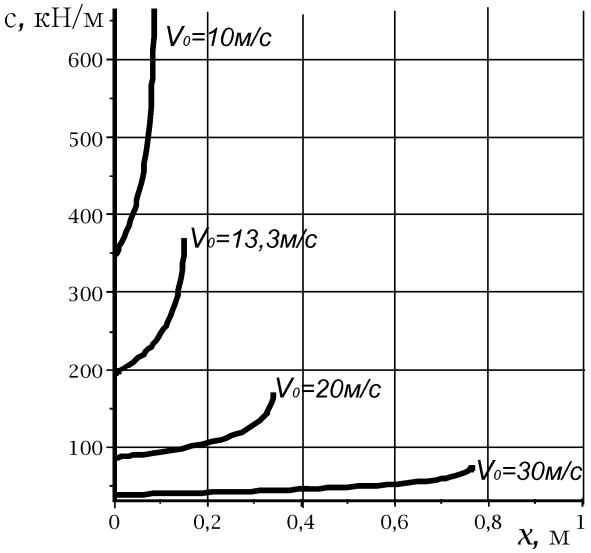


Рис. 2. Функции жесткости сдерживающей системы для обеспечения закона оптимального торможения пассажира по стратегии максимально возможного замедления

В зависимости от начальной скорости v_0, согласно постановки задачи оптимального управления (4), меняется длительность торможения. Данное решение демонстрирует минимально возможное свободное пространство для деформации и рассеивания энергии, которое должно присутствовать в транспортном средстве для обеспечения безопасности при лобовом столкновении. Согласно графика (рис.2), для выполнения требований стандартных испытаний ($v_0=13,3м/с$) по методике FMVSS достаточным является пространство в *160мм* при обеспечении конструкцией автомобиля оптимального закона торможения по критерию максимального ускорения грудной клетки.

Решение задачи оптимального управления (5) найдем, учитывая максимальное замедление пассажира (9) из условия, что при торможении пассажир использует все свободное пространство для деформации L_P.

Тогда функцию жесткости сдерживающей системы для обеспечения закона управления (5) запишем в виде:

$$c = -\frac{m_P v_0(-v_0 + \sqrt{v_0^2 - \frac{v_0^2 \cdot x}{L_P}})}{2 \cdot L_P \cdot x} \qquad (18)$$

Графики функции жесткости (18) при различных начальных скоростях и разной длине свободного пространства изображены на рисунке 3.

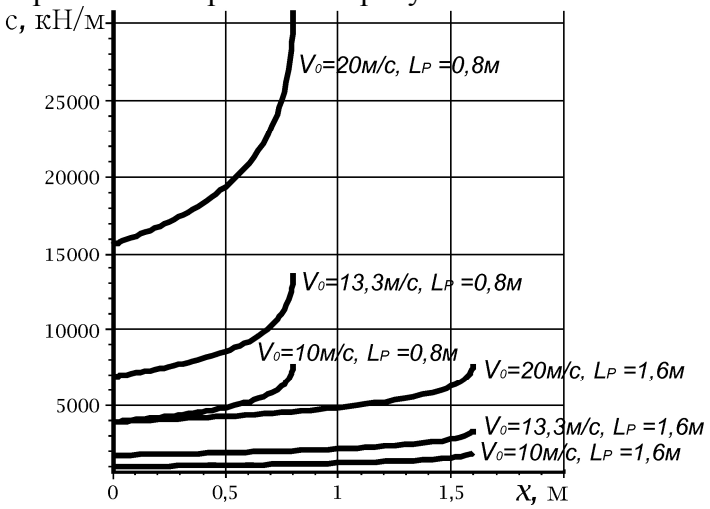


Рис. 3. Функции жесткости при максимальном использовании пространства для деформации

Закон оптимального управления при лобовом столкновении (18) является также оптимальным с точки зрения получения травм пассажиром. Минимальное ускорение, которое может быть достигнуто при наличии заданного свободного пространства для торможения и рассеивания энергии, реализуется данным законом. Существующие в настоящий момент конструкции серийных автомобилей не могут реализовать «умное» управление жесткостью кузова.

Оптимальным законом торможения для пассажира при лобовом столкновении при использовании в качестве критерия максимально допустимого ускорения является закон с постоянным замедлением (рис. 4).

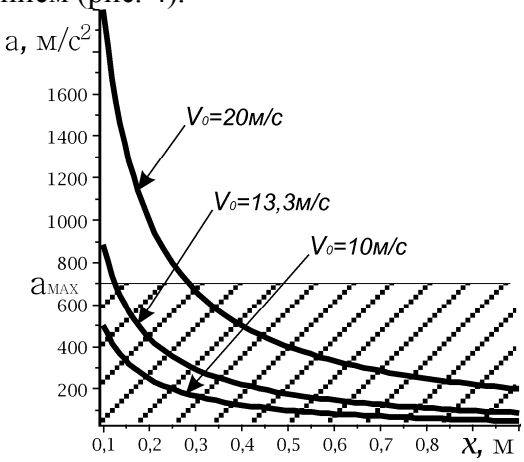


Рис. 4. Закон с постоянным замедлением

Закон торможения может быть реализован с помощью специальной конструкции силовой структуры автомобиля и сдерживающей системы пассажира. Методика позволяет определить резерв и предельные возможности конструкции поглощать энергию

удара и обеспечивать безопасность конструкции. Методика основана на использовании максимального замедления грудной клетки пассажира в качестве основного критерия безопасности и вероятности получения травм.

Выводы

Способность конструкции сопротивляться деформации представлена суммарной осевой вязкостью и жесткостью системы. Полученные функции оптимальных свойств могут быть использованы для синтеза новых, безопасных конструкций автомобилей, изучения влияния модернизаций отдельных узлов и механизмов на поведение системы в целом.

Изложенная методика определения оптимального торможения пассажира при лобовом столкновении является обобщенной и может использоваться на первом этапе проектирования автомобиля или анализа его безопасности.

Список литературных источников

1. Freic, P; Kaeser, R; Hafner, R. et. al. Crashworthiness and Compatibility of Low Mass Vehicles in Collisions. SAE Technical Paper, No SAE-970122, 1997, p. 35-43

2. Huang, M.,” On Body Mount Crash Characteristics” SAE paper № 1999-01-10 International Body Engineering Conference and Expositions, Detroit, Michigan, September 28-30-1999 . Also in Journal of Passenger Cars SAE 1990, Transactions Section, pp. 3330-3342

3. Bronzino, J.D., Biomedical Engineering Fundamentals / Bronzino, J.D. – Boca Raton.: CRC press: Taylor and Francis Group, 2006.

ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ

УДК 621.791.03

В.В. Головко, д– р техн. наук
В.А. Костін, канд. техн. наук
І.І. Алексеєнко, мол. наук. співр.

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ

І.О. Прибитько, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ВПЛИВ СТРУКТУРНОГО ЗМІЦНЕННЯ НА ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛУ ЗВАРНИХ ШВІВ НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

Досліджено особливості формування структури зміцненого металу зварних швів низьколегованих сталей і визначено умови одержання якісного з'єднання.

Постановка проблеми

Низьколеговані високоміцні (НЛВМ) сталі на даний момент є одними із самих перспективних матеріалів при виготовленні зварних конструкцій. Починаючи з 70– х років минулого століття, дослідженням проблем металургії та технології зварювання подібних сталей приділяється велика увага. Аналіз і узагальнення отриманих різними дослідниками даних дозволили сформулювати ряд положень, спрямованих на одержання надійних зварних з'єднань НЛВМ сталей з високим рівнем службових властивостей [1,2]. Зокрема, вважається, що для забезпечення оптимального сполучення показників міцності, в'язкості й пластичності металу швів, отриманих на низьколегованих сталях із границею текучості до 560 МПа, необхідно формувати шви з високим вмістом структури голчастого фериту [3,4]. Виконані нами дослідження [5,6] показали, що підвищений вміст у структурі зварного шва голчастого фериту ще не є гарантією одержання металу з високими показниками міцності й в'язкості. На процес крихкого руйнування впливають як легування твердого розчину, з одного боку, так і характеристики неметалічних включень, з іншого.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Вплив легування на зміцнення твердого розчину досліджувався багатьма авторами, при цьому мали місце три основні підходи до оцінки цього впливу: за хімічним складом металу, за структурними факторами і за вмістом мікроструктурних складових.

У першому випадку використовували рівняння регресії, побудовані за результатами експериментів визначення механічних властивостей металу залежно від зміни в ньому вмісту легуючих елементів. Однак ці залежності справедливі тільки для тієї області, для якої вони були встановлені. Так, наприклад, результати дослідження зварюваності низьколегованих сталей із системою легування С–Mn–Si [7] узагальнені в рівняннях 1 і 2,

$$\sigma_B = 268 + 450[C + 0{,}33Si + Mn(1{,}6C - 0{,}145)] \quad (1)$$

$$a_I^{+20} = 144 - 387C + 330C^2 \quad (2)$$

не можуть бути поширені на низьколеговані сталі із системою легування С– Mn– Si– Mo– Ni– Ti.

Більш обґрунтованою, з погляду фізичних процесів, що впливають на зміцнення твердого розчину, є оцінка, побудована за аналізом структурних факторів, відповідно до якої необхідно враховувати механізм твердорозчинного, дислокаційного, дисперсійного та зернограничного зміцнення [8]. У цьому випадку, наприклад, границя текучості феритно–перлітної сталі може бути визначена з рівняння:

$$\sigma_T^{ФП} = \sigma_0 + \Delta\sigma_{TP}^{Ф} + \Delta\sigma_{Д}^{Ф} + \Delta\sigma_{П} + \Delta\sigma_{ДУ}^{Ф} + \Delta\sigma_{З}^{Ф} + \Delta\sigma_{С}^{Ф}, \quad (3)$$

де $\sigma_0, \Delta\sigma_{TP}^{Ф}, \Delta\sigma_{Д}^{Ф}, \Delta\sigma_{П}, \Delta\sigma_{ДУ}^{Ф}, \Delta\sigma_{З}^{Ф}, \Delta\sigma_{С}^{Ф}$ – вихідна міцність монокристалу заліза й внесок у твердорозчинне зміцнення легування фериту, дислокаційного зміцнення за рахунок щільності дислокацій у фериті, перлітного зміцнення твердого розчину, дисперсійного зміцнення фериту за рахунок дисперсних включень карбідів і нітридів, зернограничного зміцнення за рахунок розміру зерен і субзерен фериту, відповідно.

Розвиток положень щодо механізму впливу характеристик мікроструктури на зміцнення твердого розчину й механічні властивості металу швів дозволив сформулювати метод оцінки показників міцності та в'язкості зварних швів, виходячи з даних про склад їх мікроструктури [9]

$$\sigma_P = \sigma_{Fe} + \sum_i \sigma_{SS_i} + \sigma_\alpha V_\alpha + \sigma_a V_a + \sigma_w V_w \quad (4)$$

де σ_{Fe} – власна міцність чистого заліза; $\sum_i \sigma_{SS_i}$ – сумарний вплив легуючих елементів на зміцнення твердого розчину, а $\sigma_\alpha, \sigma_a, \sigma_w$ – парціальні внески в зміцнення твердого розчину аллотриоморфного, голчастого й Відманштеттового феритів з урахуванням частки їхнього об'ємного вмісту V_α, V_a, V_w. Складність використання такого підходу полягає в тім, що, якщо значення $\sigma_\alpha, \sigma_a, \sigma_w$ можна взяти з літературних джерел, то визначення величини $\sum_i \sigma_{SS_i}$ відповідно до формули (5) вимагає проведення спеціальних експериментів для визначення коефіцієнтів, що визначають парціальний вплив легуючих елементів у зміцнення твердого розчину (*a*, *b*, ...).

$$\sum_i \sigma_{SS_i} = a[Mn] + b[Si] + \ldots \quad (5)$$

Виходячи з викладених міркувань, доцільно проводити оцінку зміцнюючого впливу твердого розчину виходячи з аналізу структурних факторів, на базі розрахункової моделі, запропонованої в роботі [10]. Границя текучості відповідно до цієї моделі, стосовно до дослідження металу швів з феритно-перлітною структурою, може бути розрахована за формулою [11]:

$$\sigma_T = \sigma_0 + \Delta\sigma_{TP} + \Delta\sigma_{Д} + \Delta\sigma_{ДУ} + \Delta\sigma_{З} + \Delta\sigma_{П} \quad (6)$$

У (6) σ_0 – напруження тертя ґрат матриці (~ 30 МПа); $\Delta\sigma_{TP}$, $\Delta\sigma_{Д}$, $\Delta\sigma_{ДУ}$, $\Delta\sigma_{З}$ і $\Delta\sigma_{П}$ – твердорозчинна, дислокаційна, дисперсійна, зернограничні і перлітна складові зміцнення, відповідно, які визначаються з наступної системи рівнянь:

$$\Delta\sigma_{TP} = 4670[C] + 33[Mn] + 86[Si] \quad (7)$$

$$\Delta\sigma_{ДУ} = \left(9{,}8 \cdot 10^3 \Big/ \lambda\right) \ln 2\lambda \quad (8)$$

$$\Delta\sigma_{З} = k_y \Big/ \sqrt{d} \quad (9)$$

$$\Delta\sigma_{П} = 2{,}4П, \quad (10)$$

де k_y = 0,63 МПа√м – коефіцієнт пропорційності; d – середній розмір феритного зерна (мкм); λ – відстань між частками, що спричиняють зміцнюючий вплив на твердий

розчин (Å), $П$ – вміст перліту (%).

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Мета роботи – дослідження впливу механізмів зміцнення твердого розчину на механічні властивості металу зварних швів з низьколегованої високоміцної сталі й визначення умов одержання якісних зварних швів.

Виклад основного матеріалу дослідження

Для дослідження впливу структурнозалежних факторів на зміцнення твердого розчину металу швів були виготовлені зварні з'єднання з низьколегованої високоміцної сталі. Хімічний склад основного металу, зварювального дроту та зварних швів наведені в роботі [12].

В ході металографічних досліджень визначали частку окремих складових мікроструктури металу, елементний склад і розподіл за розмірами неметалічних включень. Мікроструктуру досліджували методами оптичної й електронної металографії з використанням світлового мікроскопа "Неофот– 32" і растрового електронного мікроскопа JSM– 840 фірми "JEOL", що обладнаний платою захоплення зображень MicroCapture з наступною реєстрацією зображення на екрані комп'ютера. Кількісне визначення мікроструктурних складових проводили відповідно до методики Міжнародного інституту зварювання (МІЗ).

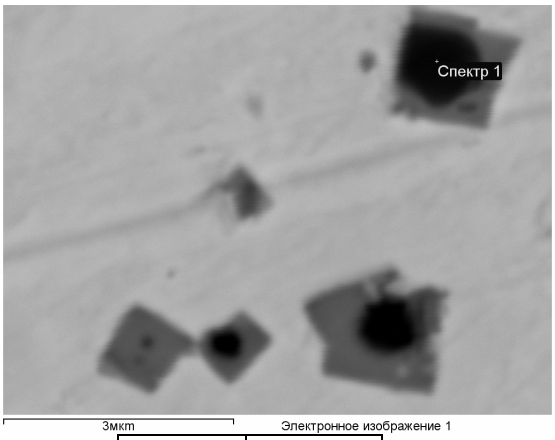
Результати визначення складу мікроструктури металу швів і середнього розміру зерен фериту, що отримані під час досліджень шліфованих зразків в 4%-му розчині азотної кислоти в етанолі, наведено в таблицях 1 і 2. Аналіз даних щодо кількості, об'ємної частки, хімічного складу і розподілу за розмірами неметалічних включень, які отримані під час металографічних досліджень нетравлених шліфів, показав існування певного розходження в морфології різних за розмірами включень.

Дрібнодисперсні включення розміром до 1,0 мкм мають ядро, що складається з оксидів алюмінію й титану, і зовнішню окантовку кубічної форми з високим вмістом нітридів титану (рис. 1). Більші включення складаються з оксидів багатокомпонентного складу, на поверхні яких розташовані виділення сульфіду марганцю (рис. 2).

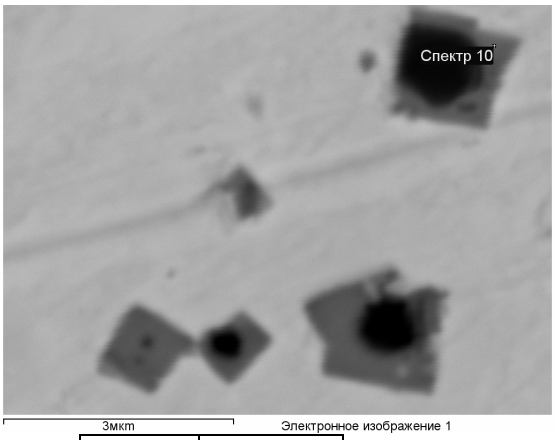
Таблиця 1

Вміст складових мікроструктури й середній розмір феритного зерна (df) металу швів серії ГА– Г і ГА– Г2

Позначення шва	Вміст у структурі, %						Розмір зерен фериту, мкм
	Голчастий ферит	Полігональний ферит	Пластинчастий ферит з		Поліедричний ферит	Бічний ферит Відманштетта	
			неупоряд. II– ою фазою	упоряд. II– ою фазою			
ГА13Г	49,5	2,0	17,0	5,0	26,5	0	360
ГА09Г	48,0	9,5	9,0	3,5	30,0	0	250
ГА19Г	61,5	13,5	3,0	0	22,0	0	150
ГА13Г2	55,0	7,5	17,5	2,5	15,5	1	300
ГА09Г2	64,5	8,0	0	0	25,0	2	250
ГА19Г2	85,0	4	0	0	8	3	170



Елемент	Ваговий %
C K	**1.49**
N K	**3.35**
O K	**39.51**
Al K	**28.41**
Si K	**0.06**
P K	**0.02**
S K	**0.08**
Ti K	**15.71**
Cr K	**0.00**
Mn K	**0.15**
Fe K	**9.91**
Ni K	**0.12**
Cu K	**0.00**
Разом	**100.00**



Еле-мент	Ваговий %
C K	**3,01**
N K	**10,67**
O K	**9,15**
Al K	**2,61**
Si K	**0,15**
P K	**0,03**
S K	**0,04**
Ti K	**47,43**
Cr K	**1,21**
Mn K	**0,29**
Fe K	**25,41**
Ni K	**0**
Cu K	**0**
Разом	**100,00**

Рис. 1. Морфологія та склад неметалічних включень розміром менше 1,0 мкм

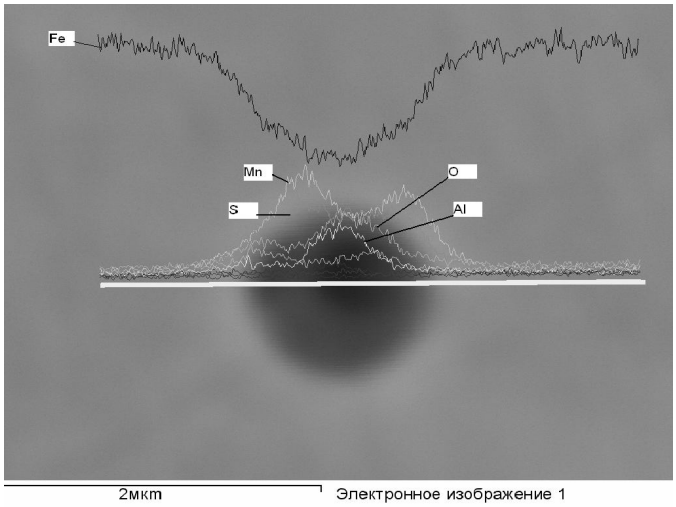


Рис. 2. Морфологія та склад неметалічних включень розміром більше 1,5 мкм

___*Зображення, наведені на рисунках 1 і 2, отримані к.т.н. Ткачем В.М. за допомогою скануючого електронного мікроскопу SEM EVO– 50

Зміцнюючий вплив включень на його навколишню матрицю визначається різницею в коефіцієнтах термічного розширення включення й матриці. У випадку нітридних і карбонітридних включень ця величина є значною, тому в матриці навколо таких включень виникають зусилля стиску, для сульфідів ця величина істотно нижче, що сприяє утворенню розривів міжфазної границі включення–матриця й практично повній відсутності впливу включення на зміцнення твердого розчину [13].

Виходячи з викладених міркувань, у процесі аналізу й обробки металографічних зображень підраховували частку неметалічних включень розміром не більше 1,0 мкм. З використанням отриманих даних були розраховані середні значення відстані між включеннями (λ), наведені в таблиці 3.

Таблиця 2

Вміст складових мікроструктури й середній розмір феритного зерна (d_f) металу швів серії ГА–Т та ГА–Т2

Позначення шва	Вміст у структурі, %						Розмір зерен фериту, мкм
	Голчастий ферит	Полігональний ферит	Пластинчастий ферит з		Поліедричний ферит	Бейніт	
			неупоряд. II– ою фазою	упоряд. II– ою фазою			
ГА13Т	23,5	10,5	21,5	7,5	29	8	150
ГА09Т	10	20	–	20	50	–	120
ГА19Т	6	3,7	55	33	2,3	–	70
ГА13Т2	7	9	41	9	–	–	100
ГА09Т2	–	5,7	36,7	57,6	34	–	70
ГА19Т2	–	2	25,3	71,7	1	–	50

Таблиця 3

Об'ємна частка неметалічних включень, розподіл їх за розмірами і результати розрахунків відстаней між частками, які здійснюють зміцнюючий вплив на твердий розчин (λ)

Позначення шва	Об'ємна частка (%) включень	Вміст (%) /кількість (шт.) включень у розмірному діапазоні, мкм					λ, (розрахунок), мкм
		<0,30	0,50–1,00	1,25–2,00	2,25–3,00	>3,00	
ГА13Г	0,83	32/761	4/1050	18/422	3/74	2/43	3,21
ГА09Г	0,24	37/558	49/735	11/169	1,5/22	1/16	3,09
ГА19Г	0,09	31/274	62/547	6,5/57	0,1/1	0 /0	2,69
ГА13Г2	0,79	35/665	43/827	18/340	3/54	2/33	2,89
ГА09Г2	0,25	37/513	52/718	10/138	1/16	0,3/4	2,71
ГА19Г2	0,14	46/423	45/416	7/60	1/9	0,7/6	2,16
ГА13Т	0,40	25/243	51/490	17/159	5/45	3/26	3,96
ГА09Т	0,24	53/647	37/458	8/94	2/21	0,25/3	2,99
ГА19Т	0,12	33/233	52/360	11/79	3/21	0,6/4	1,89
ГА13Т2	0,65	53/408	33/258	10/75	3/21	1,5/12	1,89
ГА09Т2	0,35	56/315	35/197	2/10	1,5/8	1,5/8	1,80
ГА19Т2	0,23	62/386	30/189	6/36	2/11	0,16/1	1,61

З використанням результатів металографічних досліджень були виконані розрахунки за формулами (7– 9) для визначення внеску окремих складових у зміцнення твердого розчину металу швів. Вплив перліту на зміцнення не розраховували у зв'язку з його відсутністю в структурі швів. Виходячи з міркувань, наведених у роботах [11 і 14], внесок дислокаційного зміцнення вважали постійним і не враховували його вплив на зміну

механічних властивостей металу швів.

Результати випробування зразків металу швів відповідно до ГОСТ 6996 наведено у таблиці 4. На рисунках 3 і 4 показано результати розрахунку впливу твердорозчинного, дисперсійного й зернограничного механізмів на зміцнення твердого розчину в зіставленні з даними про дійсний опір розриву (S_k), відповідно до ГОСТ 1497.

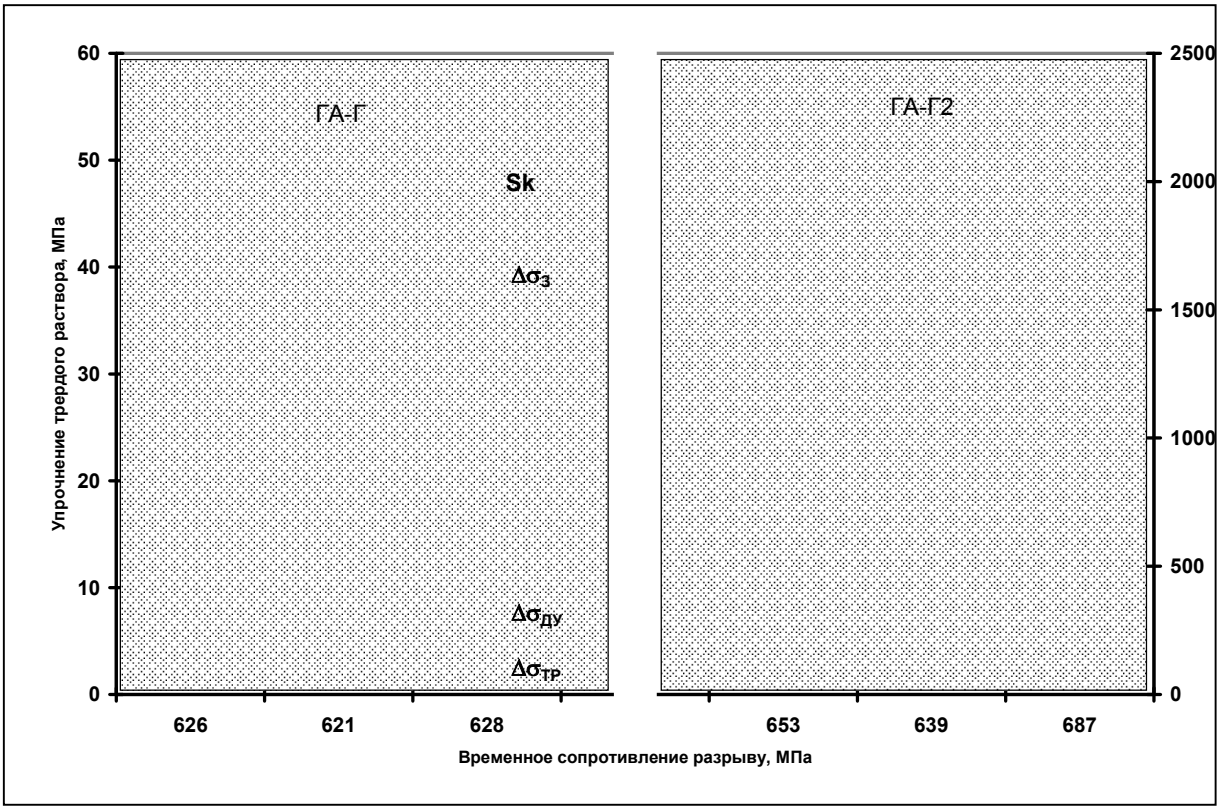


Рис. 3. Вплив механізмів зміцнення твердого розчину на механічні властивості металу зварних швів серії ГА– Г та ГА– Г2

Як видно з наведених даних, збільшення легування металу швів марганцем викликає зниження температурного діапазону феритних перетворень [12] і сприяє формуванню феритної структури з розміром зерен у межах 170 – 360 мкм (табл. 1). Неметалічні включення у зварних швах, у цьому випадку, переважно мають розміри до 1 мкм, а частка включень розміром 0,5 – 1 мкм становить від 30 до 45% (табл. 2).

Зниження температури початку γ→α перетворення стримує зростання зернограничного фериту й призводить до скорочення вмісту його аллотриоморфної морфології в металі швів. Формування відносно більших зерен фериту в сполученні з високим вмістом дисперсних (до 1 мкм) включень і зниженою температурою закінчення бейнітного перетворення сприяють внутришньозеренному зародженню бейнітного фериту й утворенню до 86%-ої феритної структури з голчастою морфологією (табл. 1). При цьому слід зазначити, що зі зниженням температурного діапазону бейнітного перетворення ширина голок фериту збільшується від 80 до 160 мкм (рис. 5). У структурі більш широких голок з'являються двійникові границі, що викликає підвищення твердості голчастого фериту й зниження ударної в'язкості металу швів, незважаючи на підвищений вміст цієї складової у структурі [12].

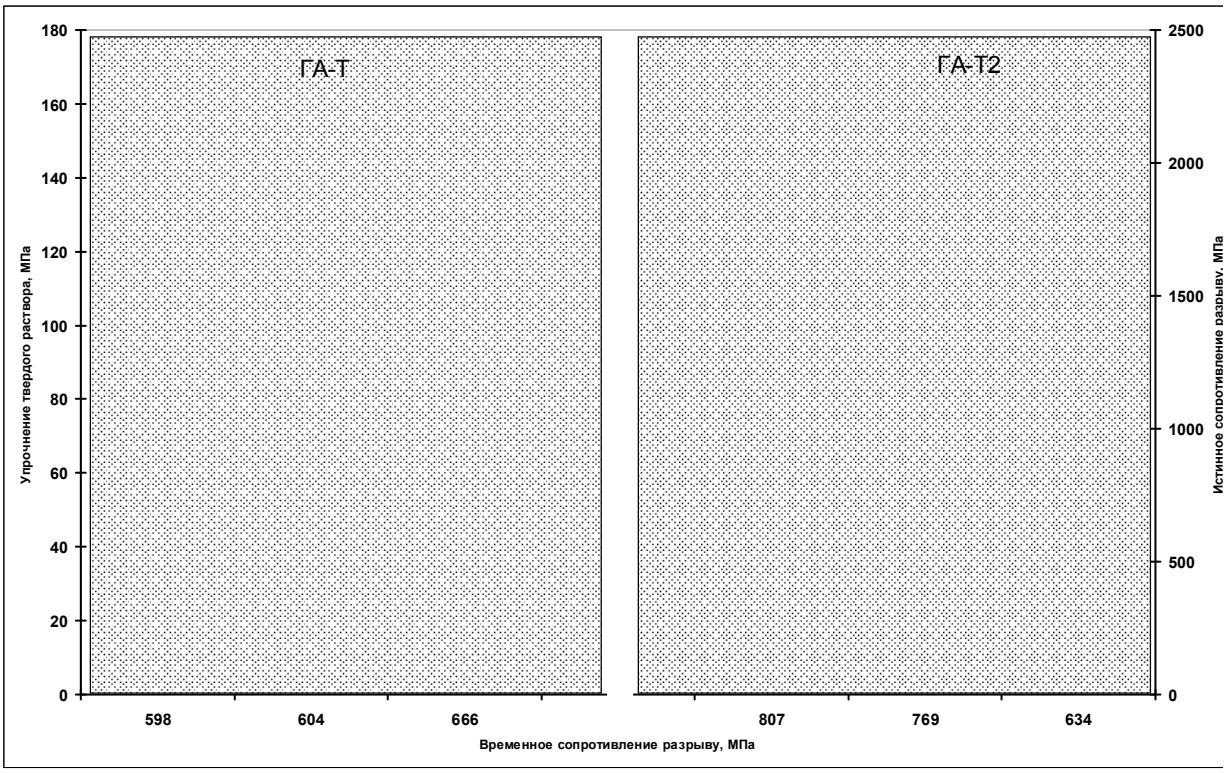


Рис. 4. Вплив механізмів зміцнення твердого розчину на механічні властивості металу зварних швів серії ГА–Т і ГА–Т2

Легування металу швів титаном не позначається на температурах початку феритного й бейнітного перетворень, але підвищує температуру закінчення останнього [12], що призводить до істотного зниження розміру феритних зерен (табл. 2). Об'ємна частка неметалічних включень у металі швів скорочується, але зростає вміст включень розміром не більше 0,3 мкм із високим вмістом карбонітридної фази (табл. 3). Підвищення вмісту дрібнодисперсної карбідної фази в металі швів, легованих титаном, призвело до зростання центрів зародження α– фази, з одного боку, і підвищення ролі дисперсійного зміцнення у формуванні механічних властивостей металу швів, з іншого. При підвищенні щільності розподілу міжзеренних границь вони стають більш ймовірними, з енергетичної точки зору, центрами зростання феритної структури, а висока засміченість границь неметалічними включеннями розміром понад 1,5 мкм сприяє тому, що ці перетворення починаються в області високих температур. Це призводить до утворення структури типу фериту Відманштетта (рис. 5,г). Підвищення в структурі металу швів серії ГА– Т і ГА– Т2 вмісту фериту з виділеннями другої фази у вигляді тонких пластин супроводжується збільшенням мікротвердості структури й зниженням стійкості проти крихкого руйнування [12].

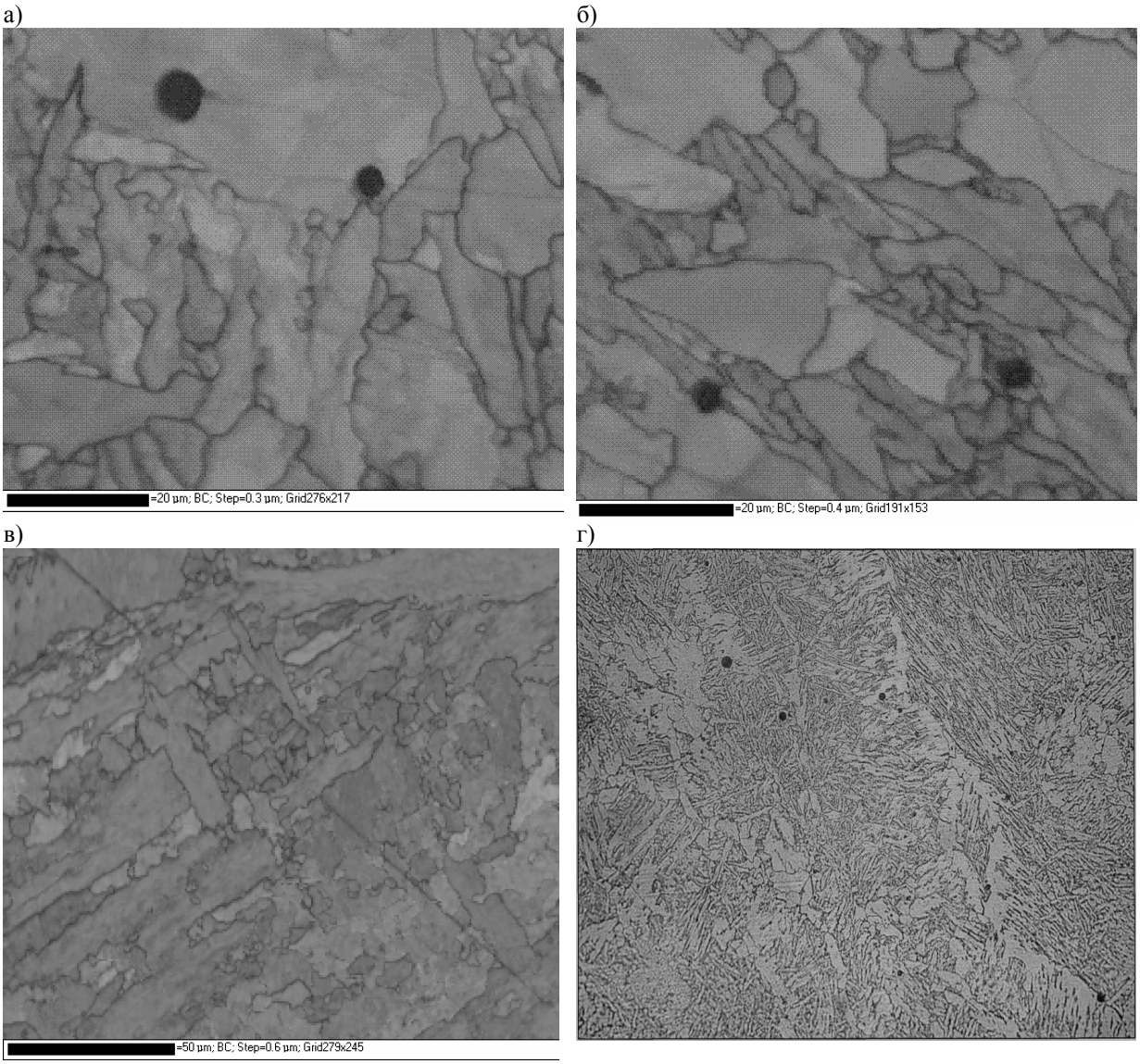


Рис. 5. Мікроструктура металу швів: а) серія ГА– Г (JSM– 840); б) серія ГА– Г2 (JSM– 840); в) серія ГА– Т і ГА– Т2 (JSM– 840); г) серія ГА– Т і ГА– Т2 (Х 200, Неофот 32)

Висновки з даного дослідження

- отримані результати дозволяють зробити висновок, що під час моделювання складу зварних швів низьколегованих високоміцних сталей для забезпечення високих показників міцності, пластичності й в'язкості зварних з'єднань необхідно враховувати певні особливості процесу розпаду аустеніту у зварних швах;
- з метою підвищення вмісту у структурі низькотемпературних форм фериту доцільним є легування металу елементами, що підвищують стійкість аустеніту (наприклад, марганцем);
- під час вибору умов розкислення, легування й модифікування зварних швів необхідно прагнути до підвищення внеску $\Delta\sigma_з$ при обмеженні $\Delta\sigma_{ДУ}$. У цьому випадку наявність дисперсної карбідної фази в структурі металу швів буде сприяти формуванню дрібнозернистої вторинної структури у вигляді морфологічних форм бейнітного фериту.

Список літературних джерел

1. Металлургия дуговой сварки конструкционных сталей и сварочные материалы /И.К.Походня //Автоматическая сварка. – 2008. – №11. – С. 63 – 75.
2. Технология сварки в современной промышленности Японии (Обзор) /Ю.Фуджита, Ю.Наканиси, И.Юрока //Автоматическая сварка. – 2008. – №11. – С. 48 – 53.
3. Металлургия стали: особенности производства в XX в., проблемы и прогноз дальнейшего развития /Н.П.Лякишев, А.В.Николаев //Автоматическая сварка. – 2003. – №10– 1. – С. 32 – 39.
4. Прогнозирование свойств металла шва повышенной прочности /Д.Л.Олсон, Э.Метцбауэр, С.Лиу, И.Д.Парк //Автоматическая сварка. – 2003.– №10– 11. – С. 40 – 47.
5. Влияние распределения марганца между структурными составляющими на свойства металла низколегированных швов /В.В.Головко //Автоматическая сварка. – 2007.– №12. – С. 26 – 29.
6. Влияние легирования высокопрочного металла шва титаном на его структуру и свойства /В.В.Головко, В.Ф.Грабин //Автоматическая сварка. – 2008. – №1. – С. 17 – 22.
7. Оптимизация состава низколегированных свариваемых сталей /И.И.Франтов, В.И.Столяров, А.В.Назаров, А.В.Терентьев //МиТОМ. – 1987.– №11. – С. 37 – 42.
8. Пути повышения прочности и хладостойкости конструкционных сталей /М.И.Гольдштейн //МиТОМ. – 1987.– №11. – С. 6 – 11.
9. Strength of mixtures of bainite and martensite /Young, c. H.; Bhadeshia, H. K. D. H. //Material science and technology. – 1994. – Vol.10, №3. – P. 209 – 214.
10. К вопросу о механизме упрочнения сорбитотвердеющей стали и возможности его теоретической и экспериментальной оценки /В.А.Малышевский, В.В.Рыбин, Л.Г.Шерохина и др. //Вопросы судостроения. Сер.7. Металловедение. – 1973. – Вып. 3(17). – С. 105 – 113.
11. Теоретическая и экспериментальная оценка упрочнения и охрупчивания низколегированных ферит но–перлитных сталей /В.М.Высоцкий, Г.Д.Мотовилина, Е.И.Хлусова //Вопросы материаловедения. – 2004. – №4 (40). – С. 5 – 13.
12. Влияние легирования марганцем и титаном на особенности распада аустенита в металле низколегированных швов /И.К.Походня, В.В.Головко, В.А.Костин, В.Г.Васильев, В.Н.Жуков // Вісн. Черн. держ. технол. ун-ту. – 2010. – №.43. – С. – .
13. Губенко С.И., Парусов В.В., Деревянченко И.В. Неметаллические включения в стали .– Д.: АРТ – ПРЕСС, 2005. – 536 с.
14. Основные структурные факторы упрочнения низкоуглеродистых низколегированных трубных сталей после контролируемой прокатки /В.М.Счастливцев и др. //МиТОМ. – 2009. – №1. – С. 41 – 45.

МЕХАНОХІМІЯ

УДК 620.197.3

Сиза О.І., д-р техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна
Міщенко М.В., канд. техн. наук

Чернігівський державний інститут економіки і управління, м. Чернігів, Україна

КОРОЗІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ СВИНЦЮ У КИСЛОТНИХ ЕЛЕКТРОЛІТАХ

Досліджено корозійну активність свинцю у водних розчинах нітратної, хлоридної та сульфатної кислот. Найбільша швидкість корозії спостерігається у розчині HNO_3: у 20 разів перевищує швидкість корозії у HCI і більше, ніж у 400 разів, у H_2SO_4. З підвищенням температури електроліту від 20˚ С до 60˚С швидкість корозійних процесів зростає лінійно (експозиція 5 годин).

Постановка проблеми

Свинець (*Pb*) – метал, який отримав широке використання в промисловості завдяки ряду властивостей, а саме: порівняно легке отримання з руди, що обумовлено низькою температурою плавлення (327˚С) металу; висока пластичність – легко кується, розкатується в листи або дріт, що дозволяє використовувати його в машинобудуванні для виготовлення різних сплавів з іншими металами; захищає від всіх видів радіоактивного випромінювання; певна корозійна стійкість свинцю дозволяє використовувати його в електротехнічній промисловості.

Акумуляторна промисловість – одна із самих значних у використанні свинцю. Свинцевий акумулятор з моменту винайдення отримав дуже багато конструктивних змін, але його основа залишилась незмінною – дві свинцеві пластини занурені в кислотний розчин електроліту. Аналіз роботи стартерних акумуляторів показав, що однією з основних причин виходу з ладу акумуляторних батарей (42 % від усіх причин) є, незважаючи на великий корозійний опір свинцю в електроліті, корозія свинцевих решіток акумуляторних пластин (рис. 1, 2). Це призводить до дуже суттєвих економічних збитків [1].

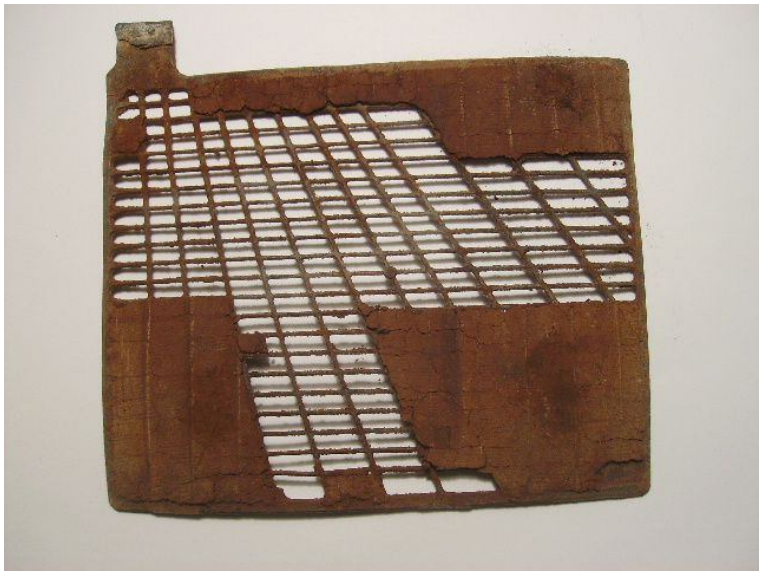


Рис. 1. Корозія решітки пластин акумуляторної батареї після експлуатації

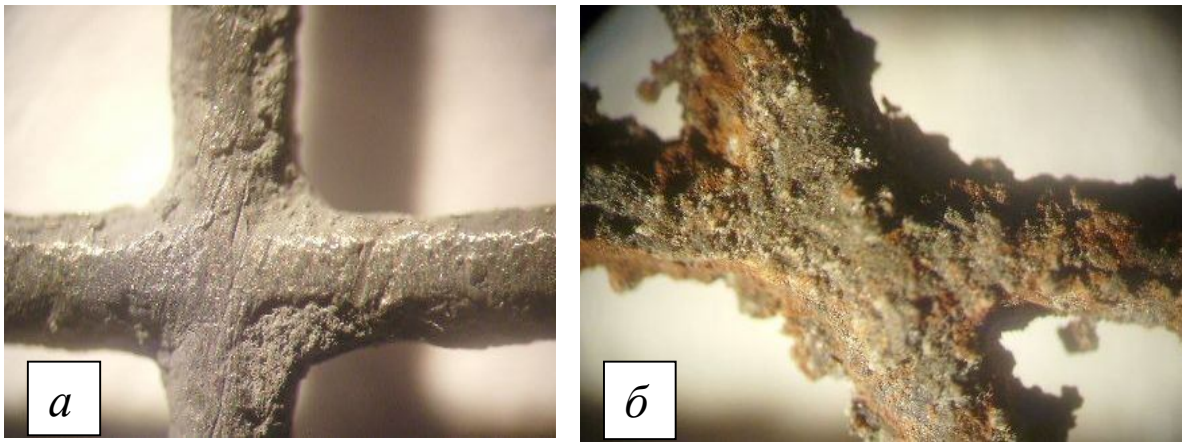


Рис. 2. Фрагмент свинцевої решітки пластини акумуляторної батареї (х 28) до експлуатації (а) та після експлуатації (б)

Зважаючи на вищесказане, дослідження корозійних процесів свинцевих пластин з метою подальшого пошуку шляхів підвищення їх протикорозійних властивостей є актуальною задачею.

Аналіз досліджень і публікацій

Свинець – амфотерний метал, тому кородує в кислотних та лужних розчинах з помірною або великою швидкістю, в залежності від температури і концентрації розчинів [2]. Для виготовлення решіток пластин акумуляторів використовують різні свинцеві сплави. Легуючі елементи покращують механічні властивості сплавів, але корозія анодних пластин зменшує термін використання акумуляторних батарей [3, 4]. На протязі багатьох років використовують сплави свинцю та сурми (до 5%), але на цих сплавах виникає захисний шар продуктів корозії. На негативних пластинах відбувається накопичення сурми, що призводить до водневої перенапруги [5, 6]. Крім того, під час перезарядки в свинцю з'являється токсична сполука SbH_3. В дослідженнях [5, 6] використовували також сплав свинцю з кальцієм, оловом та алюмінієм. Досліджувались і інші легуючи елементи: магній, титан та вісмут [6, 7]. З'ясовано [4, 8], що сплави свинець-кальцій-олово при використанні в якості матеріалу решіток для деяких типів акумуляторів виявляли здібність до міжкристалічної корозії. Як варіант вирішення корозійних проблем у великих свинцевих акумуляторах запропоновано використання полегшеної решітки, яка являла собою чистий свинець, нанесений на неметалеві нитки [3].

Аналіз публікацій показав, що проблема корозії свинцю існує. Особливої уваги вимагає питання корозії решіток в акумуляторних батареях як найбільш економічно пріоритетне.

Мета роботи

Дослідити швидкість корозійних процесів на поверхні свинцевих пластин в агресивних кислотних середовищах електролітів.

Об'єкти і методи дослідження

В роботі досліджували швидкість корозійних процесів на поверхні пластинок свинцю в різних кислотних середовищах гравіметричним методом. Поверхню зразків

послідовно шліфували на дрібнозернистому наждачному папері марок Р240 – Р1200, промивали в проточній воді і знежирювали ацетоном.

Гравіметричні дослідження проводили на зразках свинцю марки С1 (ГОСТ 3778-98) у вигляді прямокутних пластинок розмірами 50×15×1,94 мм та 40×15×1,62 мм. Після витримки у кислотних розчинах поверхню зразків звільняли від продуктів корозії, промивали проточною водою, висушували, знежирювали і зважували.

Швидкість корозії оцінювали за формулою:

$K_m = (m_1 - m_2)/ S \cdot \tau$,

де: K_m – швидкість корозії, г/(м^2·год); m_1 – маса зразка до випробування, г ; m_2 – маса зразка після випробування, г ; S – площа поверхні зразка, м^2 ; τ – тривалість експерименту, години.

Дослідження проводили в розчинах 1н HNO_3 (~6,5%), 1н HCl (~3,5%), 30% H_2SO_4 (використовується як електроліт в акумуляторних батареях, густина1,27 г/см^3). Температура розчинів: 20 ˚С – 60˚С (293 К – 333 К). Температуру розчинів підтримували за допомогою термостату ТГУ-02-200 (похибка в межах ± 0,5˚С).

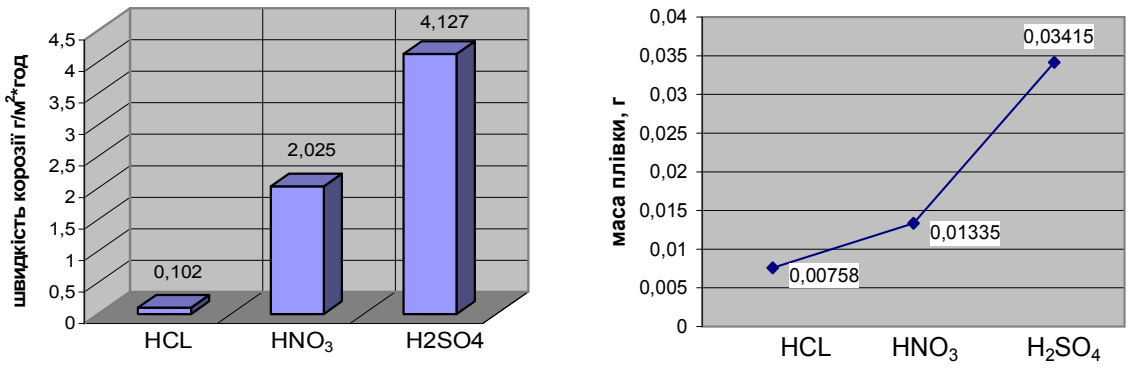
Виклад основного матеріалу дослідження

Результати експериментальних досліджень корозійної дії водних розчинів кислот на свинцеві пластини представлено в табл. 1 та на рис. 3. Свинець пасивується в агресивних середовищах H_2SO_4, HCl, HNO_3 – на поверхні металу з'явилася плівка нерозчинних сполук свинцю, яка створює дифузійний бар'єр. Корозійна стійкість свинцю у вказаних кислотах залежить від щільності утвореної захисної плівки. Найбільші втрати металу і, як наслідок, швидкість корозії спостерігаємо у нітратній кислоті HNO_3: у 20 разів перевищує швидкість корозії у HCI і більше, ніж у 400 разів, у H_2SO_4.

Таблиця 1

Результати дослідження корозії свинцю в розчинах кислот при 20˚ С

Розчин кислоти	Час досліду, години	Маса плівки на поверхні *Рв*, г	Втрати маси *Рв* від корозії, г	Швидкість корозії г/(м^2·год)
H_2SO_4	167	0,03415	0,0299	0,102
HCl	4	0,00758	0,0143	2,025
HNO_3	4	0,01335	0,227	41,272

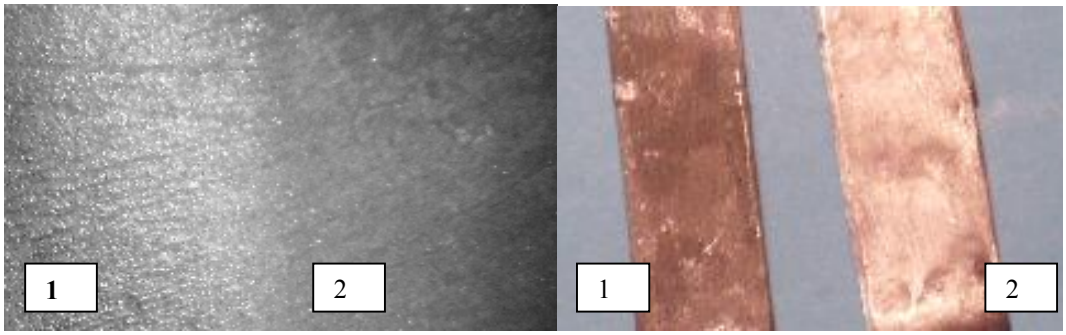


а *б*

Рис. 3. Залежність швидкості корозії(а) та маси плівки (б) на поверхні свинцевих пластин від типу кислоти (20˚С)

Це дозволяє зробити висновок, що на поверхні 30% H_2SO_4 утворилася більш щільна захисна плівка. Візуальні спостереження показали (рис. 3б, 4), що утворені

поверхневі плівки мають різну інтенсивність забарвлення (при обробці HNO_3 – темно-сірий колір, а в HCI – світло-сірий), хоча за масою ці плівки відрізняються не дуже суттєво.



а *б*

Рис. 4. Поверхня зразка:
а) 1 –плівка знята; 2 –плівка присутня після витримки в HNO_3 (х 28);
б) інтенсивність забарвлення плівки 1–HNO_3, 2– HCl (натуральний розмір)

Під час експлуатації металеві вироби, прилади та конструкції найчастіше працюють в умовах дії підвищених температур. Наприклад, під час роботи свинцевих акумуляторів температура електроліту 30% H_2SO_4 може перевищувати 70^0С. Термін служби свинцево-кислотних акумуляторних батарей в більшості випадків визначається деградацією позитивного електроду, яка визначається корозією його решітки і змінами в активній масі. Деформація решітки може привести до короткого замикання різнополярних пластин. Швидкість корозії залежить від температури, при якій працюють батареї. Тому подальші дослідження було проведено при підвищених температурах електроліту. Отримані результати представлено в табл. 2, рис. 5-6.

Таблиця 2

Дослідження впливу температури розчину H_2SO_4 на корозійні процеси свинцевих пластин (експозиція 5 годин)

Температура розчину, ˚С	**Втрата маси зразка, г**	**Швидкість корозії г/(м^2·год)**
20	0,0299	0,102
40	0,03035	3,464
50	0,04646	5,397
60	0,06855	7,824

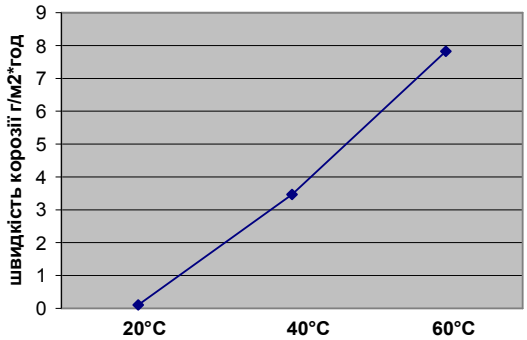


Рис. 5. Залежність швидкості корозії свинцю від температури розчину H_2SO_4 (експозиція 5 годин)

З графіка видно, що, при підвищені температури електроліту швидкість корозійних процесів змінюється майже лінійно. Це необхідно враховувати при використанні свинцевих конструкцій, які працюють в умовах перепаду температур. На поверх-

ні зразків після зняття захисної плівки спостерігаємо зміни у структурі металу (рис. 6).

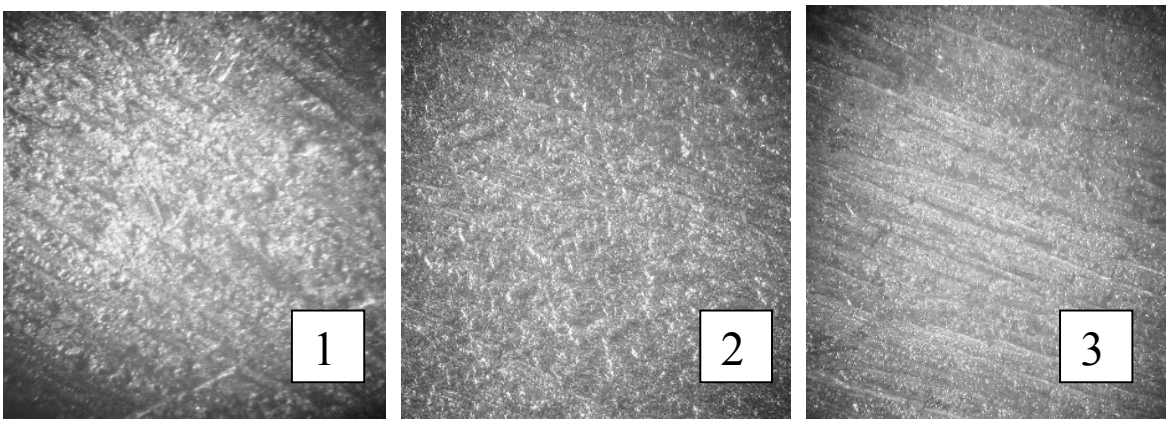


Рис. 6. Поверхня зразків свинцю після зняття поверхневої плівки (х 28):
1 – без витримки в H_2SO_4; 2, 3 – після знаходження в H_2SO_4 при температурі 40˚С та 60˚С, відповідно

Це пов'язано з тим, що при підвищенні температури щільність захисної плівки на поверхні свинцевих пластин зменшується, і агресивне середовище взаємодіє з металом: $Pb + H_2SO_4 = PbSO_4 + H_2$.В результаті розчинення металу і відбуваються зміни поверхневої структури зразків.

Висновки

Корозійні властивості свинцю в розчинах кислотних електролітів суттєво залежать від типу кислоти і температури. Найбільша швидкість корозії спостерігається у розчині HNO_3: у 20 разів перевищує швидкість корозії у HCI і більше, ніж у 400 разів, у H_2SO_4. З підвищенням температури електроліту від 20^0 С до 60^0 С швидкість корозійних процесів зростає лінійно (експозиція 5 годин).

Отримані результати корелюють з відомостями літературних джерел і є основою для проведення подальших досліджень з метою підвищення протикорозійного захисту свинцевих конструкцій.

Список літературних джерел

1. Бондарчук И.Е., Харин В.И.. Авиационное и радиоэлектронное оборудование самолёта ЯК-40.– М.: «Транспорт», 1976.– 287 с.
2. Улиг Г.Г., Реви Р.У. Коррозия и борьба с ней –Л: «Химия», 1989.– 456 с.
3. Dacres C, Reamer S., Sutula R., Angres I.// J. Electrochem. Soc.– 1981, v.128.–P. 2060.
4. Prengaman R. //Extended Abstracts, Electrochemical Society Fall Meeting.– 1977, v. 77. – P. 166.
5. Hampson N., Kelly S., Peters K. //J. Appl. Electrochem.– 1980, v. 10.– P. 91.
6. Bialacki J., Hampson N., Peters K. //J. Electrochem. Soc.– 1983, v. 130.– P. 1797.
7. Hampson N., Kelly S., Peters K. //J. Electrochem. Soc.– 1980, v. 127.– P. 1456.
8. Rose M.V., Young J.A. //Proceedings of the Fifth International Conference on Lead, Metal Bulletin Limited.– London.– 1976.– P. 37.

УДК 620.197.3

О.М. Савченко, канд. техн. наук
І.В. Завальна, студент
Ю.М. Наливайко, студент
Н.О. Гриценок, студент

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ЗАХИСТ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ ВІД КОРОЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВ

Вивчено рівень вторинного забруднення ферумом питної води м. Чернігова та можливість використання для протикорозійного захисту водогінної мережі реагенту "Sea Quest". Досліджено протикорозійну ефективність та ефект післядії екологічно безпечних інгібіторів корозії у водопровідній воді.

Постановка проблеми

Підземні води є однією з найбільших складових надр Чернігівської області. Підземні горизонти містять воду певного сольового складу, малозмінного в часі і характерного для даних водоносних горизонтів. Специфічна проблема України – підвищений вміст у питній воді ферума, що значно перевищує норми, прийняті в європейських країнах.

Концентрація ферума в природній воді коливається від 0,01 до 26 мг/л [1]. В підземних водах ферум міститься у вигляді гідрогенкарбонату двовалентного Fe (II), який є нестійкою сполукою і легко гідролізує:

$$Fe(HCO_3)_2 + 2\ H_2O \leftrightarrow Fe(OH)_2 + 2\ H_2CO_3$$

Далі ферум (II) гідроксид окислюється киснем атмосферного повітря до ферум (III) гідроксиду, який погано розчиняється й утворює у воді коричневі пластівці, що зумовлює кольоровість і каламутність питної води. Якщо вміст ферума у воді перевищує 0,3 мг/л, то споживачі сприймають її як каламутну і забарвлену в жовто-коричневий колір, тобто її кольоровість перевищує 20^o. Коли концентрація ферума у воді вища за 1 мг/л, то вона має терпкий смак. В таких концентраціях, які вже впливають на органолептичні ознаки води, ферум не має ані фізіологічного, ані токсикологічного значення. Тому концентрація ферума лімітована рівнем 0,3 мг/л за органолептичною ознакою, тобто тією, що впливає на смак і колір води.

Ферум є есенційним (життєво важливим) елементом, що бере участь в окисно-відновних реакціях. Він включається у метаболізм (обмін речовин) живих організмів вже на стадії виникнення кровоносних систем. В людському організмі понад 90 % ферума пов`язаний з гемоглобіном. Доросла людина з їжею одержує за добу 60…110 мг ферума. З організму ферум видаляється головним чином через кишечник. Навіть при концентраціях 5…10 мг/л з водою людина може одержати не більше 30 мг ферума. Токсикологічні аспекти дії ферума на організм людини ще не до кінця встановлені та інтенсивно вивчаються. Проте, надлишок будь-якого хімічного елементу в людському організмі призводить до патологій. Питна вода з підвищеним вмістом ферума (1–5 мг/л) негативно впливає на шкіру людини та репродуктивну функцію організму, призводить до зниження артеріального тиску, підвищує ризик інфаркту міокарда. Ферум сприяє виникненню захворювань селезінки й печінки. В першому випадку при інтоксикації ферумом відзначене збільшення відносної маси селезінки. В другому – з`являються важкі хвороби типу цирозу та зростання кількості ліпідів (жирів) у сироватці крові. При тривалому пероральному надходженні ферума в організм можуть спостерігатися ознаки гастроентериту без ознак інтоксикації [1].

Господарсько-питне водопостачання м. Чернігова здійснюється з 4 групових водозаборів, куди входять 96 артсвердловин бучацького та нижньокрейдяного горизонтів глибиною від 130 до 800 метрів. За останні роки змін хімічного складу підземних вод артс-

вердловин КП "Чернігівводоканал" не відбулося. Вода, яка подається у водопровідну мережу, попередній обробці не підлягає, бо має хороші органолептичні властивості, епідемічно безпечна, нешкідлива за хімічним складом, фізіологічно повноцінна і нормативи якості відповідають ГОСТу 2874-02 (табл. 1) [2].

Таблиця 1

Порівняльна характеристика хімічного складу підземної води артсвердловин КП " Чернігівводоканал "

№	Показники	Од. вимір.	Роки		Нормативи за ГОСТ 2874 – 82
			2006	2007	
1.	Запах 20^0	балів	0	0	не > 2
2.	Запах 60^0	балів	0	0	не > 2
3.	Смак, присмак	балів	1	1	не > 2
4.	Водневий показник pH	один. pH	7,56	7,5	6,0-9,0
5.	Сірководень	мг/л	н/в	н/в	не норм.
6.	Мінералізація	мг/л	339,0	328,6	не > 1000
7.	Загальна жорсткість	моль/л	3,71	3,87	не > 7,0
8.	Сульфати	мг/л	1,8	1,19	не > 500
9.	Хлориди	мг/л	18,03	19,19	не > 350
10.	Мідь	мг/л	н/в	н/в	не > 1,0
11.	Марганець	мг/л	0,04	0,066	не > 0,1
12.	Ферум загальний	мг/л	0,24	0,24	не > 0,3
13.	Кальцій	мг/л	51,35	51,46	не норм.
14.	Магній	мг/л	13,08	16,29	не норм.
15.	Нітрити	мг/л	н/в	н/в	не норм.
16.	Нітрати	мг/л	н/в	н/в	не > 45
17.	Цинк	мг/л	0,03	0,057	не > 5,0
18.	Аміак (сумарно)	мг/л	0,65	0,71	не норм.
19.	Лужність	мгекв/л	6,33	6,3	не норм.
20.	Фтор	мг/л	0,61	0,55	не >1,2
21.	Окислюваність	мгO_2//л	0,82	1,08	не норм.
22.	Мутність	мг/л	1,13	1,21	не > 1,5
23.	Кольоровість	^{0}C	9,6	11,4	не > 20

Проте, на сьогоднішній день основною проблемою водопостачання в м. Чернігові є підвищений вміст загального ферума за рахунок вторинного забруднення питної води в розподільчій водопровідній мережі, яка на 96% збудована із сталевих та чавунних труб. Продукти корозії погіршують якість води і забруднюють внутрішню поверхню труб, зменшуючи їх пропускну здатність та знижуючи ефективність роботи арматури. Корозійна агресивність води спричиняє підвищення рівня аварійності водопровідних мереж та є небезпечним фактором, який негативно впливає на здоров'я людини безпосередньо. В результаті корозійного руйнування стінок трубопроводів концентрація феруму у питній воді може перевищувати у десятки разів лімітований рівень Держстандарту. Вочевидь, необхідно перенести основний наголос на дослідження вмісту ферума у питній воді м. Чернігова, оптимізацію систем розподілення води та протикорозійний захист матеріалу труб.

Зменшення вторинного забруднення питної води можливе шляхом заміни матеріалу трубопроводів на корозійностійкі – поліетилен, нержавіючу сталь, але це потребує зна-

чних капіталовкладень. Також, основними протикорозійними заходами є застосування інгібіторів корозії та електрохімічний захист. Так, інгібування питної води, відповідно до санітарних норм, проводять невеликими дозами гексаметафосфату натрію (4-5 мг/л) у розрахунку на фосфорний ангідрид [3]. Для захисту трубопроводів питної води рекомендується силікатна обробка, яка проводиться до утворення захисного шару і періодично потребує забезпечення його регенерування [4]. Досліджено інгібування питної води нетоксичними відходами пивоварного виробництва, що забезпечують протикорозійний ефект до 76 % [5].

Для антикорозійної та стабілізаційної обробки води господарсько-питного водопостачання м. Чернігова було рекомендовано хімічний препарат "Sea Quest – Україна", який розроблений американською компанією "AquaSmart" на основі поліфосфату натрію. Дана пропозиція викликала активне обговорення серед науковців, керівників підприємств щодо доцільності та безпечності використання "Sea Questu".

Мета роботи

Дослідження рівня забруднення загальним ферумом питної води різних районів м. Чернігова. Вивчення протикорозійної активності "Sea Questu" в питній воді централізованого водопостачання та розроблення ефективних інгібіторів корозії на основі продуктів переробки екологічно-безпечної рослинної сировини України для захисту систем водопостачання.

Об'єкти і методи дослідження

Існує безліч причин виходу з ладу трубопроводів і обладнання за рахунок внутрішньої корозії, основною з яких є висока корозійна агресивність води. Вторинне забруднення питної води за рахунок електрохімічної та мікробіологічної корозії майже завжди має місце при використанні підземних вод. Бактерії-анаероби споживають метал (ферум) труб і переводять його в таку ж саму йонну форму (Fe^{+2}), в якій перебуває природний ферум у підземних водах. Цей ферум також осідає у нижній частині труб, створюючи сприятливе середовище для розвитку тих же анаеробних бактерій.

Визначальний фактор корозійної активності питної води – карбонатно-кальцієва рівновага:

$$CaCO_3 + H_2O + CO_2 \rightarrow Ca(HCO_3)_2$$

При зміщенні рівноваги вліво вода утворить на металевих поверхнях карбонатні відкладення. При зміщенні вправо – карбонат кальцію розчиняється, підвищуючи корозійну активність води. М'яка вода з жорсткістю менше 2 мг-екв/л має низьку буферну ємність(лужність) і може, залежно від pH та низки інших факторів, обумовлювати підвищену корозійну дію на водопровідні труби. Тому критеріями агресивності питної води служать показники складу води, що впливають на розчинення карбонату кальцію. Тобто, причини інтенсифікації корозії металів у питному водопостачанні різноманітні: наявність розчиненого $C0_2$ у м'якій воді; негативний індекс Ланжельє деяких вод (індекс насичення карбонатом кальцію – $J = pH_{вим} - pH_{рів}$, негативний індекс вказує на те, що вода є корозійно-активною, якщо J позитивний, то це демонструє, що у воді існують умови для формування твердого осаду); відсутність чи мала кількість кисню; застій води в системах на підприємствах, що експлуатуються сезонно; змішування вод різного складу; підкислення води в результаті застосування неорганічних коагулянтів [6].

Інженерні методи забезпечення надійності систем водопостачання згідно Держстандарту передбачають застосування інгібіторів як одного з основних протикорозійних заходів. Тому корозійні випробування проводили на зразках сталі гравіметричним методом у водопровідній питній воді при 291 К.

Статичні вагові дослідження проводили на зразках із Ст 3 у вигляді прямокутних

пластинок розміром 50,3×22,3×3,2 мм і циліндричних – із сталі 20 з розмірами h = 27 мм, d = 6,5 мм. Поверхню зразків послідовно шліфували на дрібнозернистому папері марок Р 240 – Р 1200, промивали в проточній воді і знежирювали. Після експозиції поверхню зразків звільняли від продуктів корозії, промивали проточною водою, висушували, знежирювали і зважували.

Швидкість корозії оцінювали за формулою:

$K_m = (m_1 – m_2)/ S·\tau$,

де: K_m – швидкість корозії, г/(м^2·год); m_1 – маса зразка до випробування, г ; m_2 – маса зразка після випробування, г ; S – площа поверхні зразка, м^2 ; τ – тривалість дослідження, години.

Ефективність захисної дії інгібітора корозії оцінювали ступенем захисту Z_m:

$Z_m = [(K_m – K'_m) / K_m]·100$, %,

де K_m, K'_m – швидкість корозії за втратою маси металу без інгібітора та з інгібітором, відповідно, г/(м^2·год).

Визначення загального ферума проводили фотометричним методом, що базується на порівнянні поглинання чи пропускання світла стандартним і досліджуваним забарвленими розчинами за допомогою фотоелектроколориметра КФК-3. Методика встановлює алгоритм визначення загального ферума (Fe^{2+},Fe^{3+}) у незабарвлених та малозабарвлених очищених стічних та природних водах у діапазоні вмісту від 0,1 до 100 мг/л. Метод базується на взаємодії йонів Fe^{2+} з о-фенантроліном з утворенням червоного комплексу з максимумом світлопоглинання при 510 нм. Відновлення Fe^{3+} до Fe^{2+} здійснюється за допомогою гідроксиламіну.

Вміст йонів ферума ρ, мг/л у пробі води обчислювали за формулою:

$\rho = \rho^* ·50/V$,

де ρ^* – концентрація йонів ферума, знайдена за градуювальним графіком, мг/л;

V – об’єм води, взятої для аналізу, см^3.

Результат вимірювань масової концентрації ферума розраховували як середнє арифметичне результатів паралельних одиничних вимірювань за формулою:

$$c = \frac{c_1 + c_2}{2},$$

відносна розбіжність між якими при довірчій ймовірності 0,95 не перевищувала значення нормативу оперативного контролю збіжності, $d_{зб}$, %:

$$\frac{2|c_1 - c_2|}{c_1 + c_2} \le 0{,}01 \cdot d_{зб}$$

Значення нормативу оперативного контролю збіжності при довірчій ймовірності 0,95 не перевищує 20 % при 0,01 – 1,0 мг/л феруму у природній та питній воді.

Результати дослідження

Вимірювали оптичну густину градуювальних розчинів (D) і холостої проби (D_x) проти дистильованої води. Для кожного значення масової концентрації виконували по п’ять паралельних вимірювань оптичної густини відповідно до кількості градуювальних розчинів у серії.

При побудові графіка від заміряного значення віднімали значення оптичної густини холостого розчину (табл. 2). Градуювальний графік будували у координатах: оптична густина – вміст йонів ферума, мг/л, з урахуванням поправки на холосту пробу (рис.1). Вміст ферума перераховували, прийнявши до відома, що 1 мл робочого розчину містить 0,010 мг ферума. За градуювальним графіком (рис. 1) визначили концентрацію загального ферума в питній воді різних районів м. Чернігова (табл. 3, рис. 2).

Таблиця 2

Характеристика стандартних розчинів з заданою концентрацією ферума

C, мг/ л	0	0,1	0,2	0,4	1	1,5
D	0,015	0,030	0,0445	0,071	0,155	0,229
D-D_x	0	0,015	0,0295	0,056	0,140	0,214

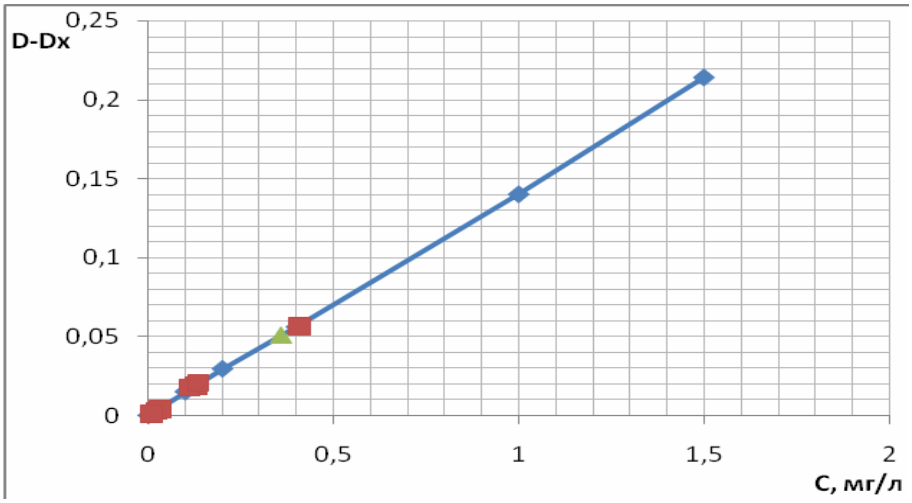


Рис. 1. Градуювальна характеристика стандартних розчинів ферума

Таблиця 3

Концентрація загального ферума в питній воді різних районів м. Чернігова

Район	Лісковиця	Масани	Подусівка	Центр міста
D	0,074	0,021	0,038	0,016
D-D_x	0,059	0,006	0,023	0,001
C, мг/л	0,410	0,035	0,136	0,010

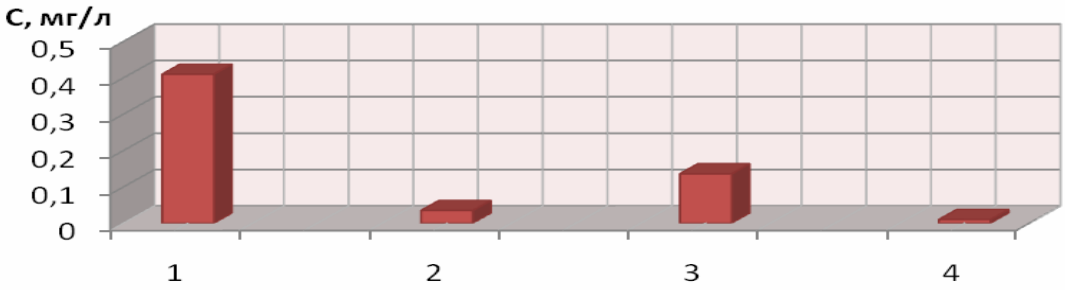


Рис. 2. Концентрація загального ферума в питній воді м. Чернігова: 1 – Лісковиця, 2 – Масани, 3 – Подусівка, 4 – центр міста

Концентрація загального ферума в питній воді м. Чернігова районів Масани, Подусівка та центрі міста не перевищує гранично допустиму концентрацію 0,3 мг/л. Причиною дещо підвищеної концентрації ферума у питній воді району Лісковиця 0,41 мг/л є застій води в мережі водопостачання в звязку з менш інтенсивним забором води населенням.

Проблему чистої та якісної питної води для жителів Чернігова планувалось вирішити, застосовуючи хімічний реагент “Sea Quest”. Питна вода, забруднена продуктами корозії, при використанні даного реагенту стає дзеркально прозорою. Тому було цікаво дослідити можливість перетворення ним іржі в безбарвний комплекс, що може призвести до підвищення вмісту ферума у питній воді.

Для оцінки впливу “Sea Questu” на концентрацію ферума у воді були проведені по-

рівняльні дослідження при додаванні поліфосфатів і без них із зразком сталі 20, який покритий продуктами корозії. Після двогодинної витримки іржавого зразка у питній воді, без добавки реагенту, концентрація ферума складала 0,36 мг/л (табл. 4). При введенні "Sea Questu" продукти корозії перейшли у питну воду у вигляді безбарвної комплексної сполуки, поверхня сталі при цьому очистилась, а концентрація ферума у воді зросла до 2,1 мг/л, що перевищує граничнодопустимий рівень у 7 разів.

Таблиця 4

Концентрація загального ферума в питній воді після витримки іржавого сталевого зразка

Добавка	D	D-D_x	C, мг/л
"Sea Quest"	0,328	0,313	2,10
–	0,066	0,051	0,36

Отже, використання інгібітора "Sea Quest"для антикорозійної обробки води господарсько-питного водопостачання не можливе, оскільки внутрішня поверхня водогінної системи міста Чернігова покрита продуктами корозії. Система буде частіше виходити з ладу, а якість води значно погіршиться, хоча візуально населення не буде помічати підвищений вміст ферума у воді.

Наступним етапом були вагові дослідження протикорозійної активності "Sea Questu" та екологічно безпечних інгібіторів корозії, розроблених на основі рослинної сировини ФЕС, МГ-ЧДТУ, МГС та ГС.

Оцінку протикорозійної активності інгібіторів за результатами вагових досліджень при температурі 293 К наведено в табл. 5.

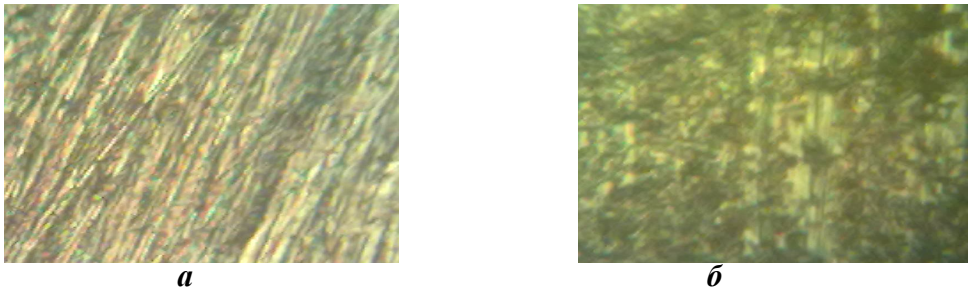
Таблиця 5

Протикорозійна активність інгібіторів у водопровідній воді

Ін, 0,4 %	Δm, г		Km, г/м^2·год		γ_m		Z_m, %	
	Ст 3	Сталь 20	Ст 3	Сталь 20	Ст3	Сталь 20	Ст 3	Сталь 20
-	0,0180	0,02190	0,02700	0,06700	-	-	-	-
ГС	0,0020	0,00250	0,00300	0,00760	6,00	14,80	89,0	88,5
МГ-ЧДТУ	0,0001	0,00005	0,00011	0,00001	180	231	99,6	99,9
Sea Quest	0,0110	0,01270	0,00169	0,03900	1,60	1,73	38,8	42,1
ФЕС	0,0024	0,00200	0,00370	0,00610	0,76	869,36	86,7	90,9

Високий ступінь захисту забезпечують інгібітори ФЕС, МГ-ЧДТУ, та ГС. Ступінь захисту складає 86,7 – 99,9 % (табл. 5.3, рис. 5.6). Зразки мають чисту, блискучу поверхню, з ледь помітними відтінками зміни кольору. Дані інгібуючі добавки відносяться до органічних інгібіторів, що впливають на хід анодних реакцій. Дія органічних інгібіторів значною мірою обумовлена тим, що вони адсорбуються на поверхні металу і утворюють плівку, що ізолює цю поверхню від агресивного впливу середовища.

Захисний ефект реагенту "Sea Quest"– незначний і сягає 38,8 – 42,1 %, тому що стимулює виразкову корозію. Візуально і під мікроскопом спостерігали велику кількість дрібних виразок, вкритих продуктами корозії сірого забарвлення (рис. 3 б), тоді як зразок після витримки у воді з інгібітором МГ-ЧДТУ має вигляд структури шліфованої сталі (рис. 3 а).



а ***б***

Рис. 3. Поверхня зразка сталі 20 у воді (×240):а – з Ін МГ-ЧДТУ, б – з реагентом "Sea Quest"

Досліджено ефект післядії інгібуючих добавок (табл. 6). Зразки сталі 20 витримали протягом 24 годин в інгібованих розчинах, потім перенесли на 10 днів в чисту водопровідну воду. Результати показали, що ФЕС не впливає на швидкість корозії, "Sea Quest" стимулює пітингову та виразкову корозію. Ефект післядії інгібітора ГС складає 25 %, а МГ-ЧДТУ – 36 %.

Таблиця 6

Ефект післядії інгібіторів у водопровідній воді

Інгібітор	Δm	K_m, г/см^2·год	γ_m	Z_m, %
Без інгібітора	0,0127	0,0399	-	-
ФЕС	0,0127	0,0398	-	-
Sea Quest	0,0142	0,0441	-	-
ГС	0,0094	0,0295	1,4	25,98
МГ-ЧДТУ	0,0082	0,0252	6,7	36

Для захисту трубопроводів питної води можна рекомендувати тимчасову обробку-дозування інгібуючими добавками, поступово зменшуючи їх концентрацію. Після утворення захисного шару обробка може бути припинена. Періодично потрібно забезпечувати регенерування захисного шару. Забезпечення високого ефекту післядії інгібуючих добавок потребує додаткового вивчення та вдосконалення в подальших наукових дослідженнях.

Висновки

Досліджено рівень забруднення загальним ферумом питної води різних районів м. Чернігова. Концентрація загального ферума в питній воді м. Чернігова районів Масани, Подусівка та центрі міста, за винятком району Лісковиця, не перевищує гранично допустиму концентрацію 0,3 мг/л.

Використання інгібітора "Sea Quest"для антикорозійної обробки води господарсько-питного водопостачання малоефективне: 38,8 – 42,1 %, та призводить до збільшення вмісту ферума у питній воді за рахунок утворення розчинних комплексних сполук з іржею. Запропоновано екологічно безпечні інгібітори корозії маловуглецевих сталей на основі рослинної сировини для захисту водогінної системи питного водопостачання. Максимальні захисні властивості спостерігаються при застосуванні інгібітора МГ-ЧДТУ: ступінь захисту Z = 99,9 %. Ефект післядії інгібітора ГС складає 25 %, а МГ-ЧДТУ – 36 %.

Список літературних джерел

1. Гончарук Є.Г. Комунальна гігієна. – Київ: Здоровя, 2003. – 728 с.
2. Доповідь про стан навколишнього середовища в Чернігівській області за 2007 рік.
3. Розенфельд И.Л. Ингибиторы коррозии. – М.: Химия, 1977. – 352 с.
4. Radnai Ferens. Toth lakabne Iljna. Ilona Tavvezetek belso Korroziovedelme // Korroz. figy/ – 1981. Vol. 21. – № 5. – P. 111-115.
5. Тищенко Г.П., Бурмістр М.В. Корозія і захист від корозії в харчовій промисловості. – Дніпропетровськ: УДХТУ, 2002. – 461 с.
6. Алексеев Л.С., Беличенко Ю. П. Основные критерии для оценки коррозионной агрессивности природных пресных вод // Энергетик. – 1978. – № 5. – С. 23-24.

УДК 620.197.3

В. Н. Челябиева, канд. техн. наук
О. Л. Гуменюк, канд. хим. наук

Черниговский государственный технологический университет, г. Чернигов, Украина

Е. С. Бондарь, аспирант
С.В. Приходько, канд. биол. наук

Черниговский национальный педагогический университет имени Т.Г. Шевченко, г. Чернигов, Украина

ПРОТИВОКОРРОЗИОННЫЕ СВОЙСТВА НЕКОТОРЫХ ФАРМАКОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ

Исследована возможность использования для противокоррозионной защиты углеродистой стали активных компонентов противомикробных фармакологических препаратов. При ингибировании микробной коррозии 4-оксо-7-(1-пиперазинил)-6-фтор-1-этил-1,4дигидрохинолин-3-карбоновой кислотой, угнетающей рост сульфатвосстанавливающих бактерий, получена степень защиты – 92.9%. В кислой хлоридной среде при электрохимической коррозии защитный эффект – 97.7% выявлен у 1-(2-гидроксиэтил)-2-метил-5-нитроимидазола, который подавляет сульфатвосстанавливающую активность бактерий в 2.2 раза, но не ингибирует биокоррозию.

Постановка проблемы

Ассортимент эффективных ингибиторов коррозии углеродистой стали требует расширения и обновления. Это особенно важно для микробной коррозии (МК) поскольку микроорганизмы, в том числе сульфатвосстанавливающие бактерии (СВБ), являясь основным ее фактором, интенсивно размножаются и легко приспосабливаются к изменениям физико-химических и биологических свойств среды [1-4]. С жизнедеятельностью СВБ связывают разрушение подземных трубопроводов и сооружений, а также оборудования нефтяной промышленности. Поиск ингибиторов биокоррозии перспективно вести среди фармакологических препаратов.

Анализ последних исследований и публикаций

СВБ распространены в анаэробных зонах морских и континентальных водоёмов, подземных водах нефтяных и рудных месторождений, низкоомных агрессивных грунтах. Основной продукт жизнедеятельности СВБ – сероводород, активный стимулятор коррозии и водородного охрупчивания стали. Более 50% повреждений подземных металлоконструкций, 15-20% коррозионных повреждений морских судов инициированы СВБ. МК стали в присутствии СВБ может рассматриваться как электрохимический процесс [5,6].

Один из эффективных методов борьбы с МК – введение в коррозионную среду соединений, обладающих биоцидным действием и замедляющих электрохимическую коррозию стали [1-4].

Изыскание новых ингибиторов коррозии и наводороживания с биоцидным эффектом особенно перспективно в рядах азотсодержащих, в том числе гетероциклических соединений [7].

В представленной работе поиск соединений с необходимыми свойствами велся среди веществ, производство которых носит промышленный масштаб и делает их доступными для широкого использования.

Формулирование целей статьи

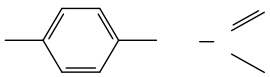
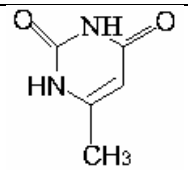
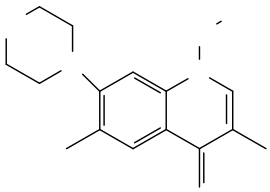
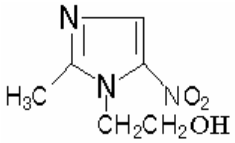
Цель работы – исследование влияния действующих веществ некоторых фармакологических препаратов на процесс коррозии углеродистой стали в хлоридной кислоте и водно-солевой среде, иннокулированной сульфатвосстанавливающими бактериями.

Изложение основного материала исследований

Структурные формулы соединений, исследованных в работе, приведены в табл. 1. Выбранные вещества – действующие компоненты недорогих широко используемых фармакологических препаратов. Наличие в структуре этих соединений гетероатомов, бензольных колец, кетонных и гидроксильных групп позволило предположить их противокоррозионную активность.

Таблица 1

Порядковые номера и структурные формулы исследованных соединений

№ п/п	Название	Структурная формула	Фармакологическое действие
I	пара-ацетаминофенол		Анальгетик
II	2,4-диоксо-6-метил-1,2,3,4-тетрагидро-пиримидин		Анаболик
III	4-оксо-7-(1-пиперазинил)-6-фтор-1-этил-1,4дигидрохинолин-3-карбоновая кислота		Противомикробное
IV	1-(2-гидроксиэтил)-2-метил-5-нитроимидазол		Противомикробное

Эффективность веществ I-IV (0,25 г/л) как ингибиторов коррозии оценивали электрохимическим методом на стали 20 (потенциостат П-5827М). Коррозионная среда – 0.1М раствор HCl.

Поляризационные кривые (20 мВ/мин) снимали от стационарного потенциала с применением стеклянной трехэлектродной электрохимической ячейки с разделенными катодным и анодным пространствами на торцевом электроде из стали 20, впрессованном во фторопластовый кожух [8]. Электрод сравнения – хлорид-серебряный, вспомогательный – платиновый. Потенциал рабочего электрода пересчитывали на стандартную водородную шкалу. По поляризационным кривым определяли потенциал (E_c) и ток (I_c) электрохимической коррозии, катодного ($E_к$ при lg $I_к$ = 1.6; $I_к$ при $E_к$ = -0.44 В) и анодного (E_a при lg I_a = 1.6; I_a при E_a = -0.20 В) парциальных процессов, коэффициенты торможения γ_c, $\gamma_к$, γ_a ($\gamma = I / I'$, где I, I' – ток коррозии без ингибитора и в присутствии ингибитора соответственно) и степень защиты $Z_c = (1 - 1/\gamma_c) \times 100\%$.

Кинетику адсорбции I-IV изучали, регистрируя спад тока (на 0.6 В отрицательнее стационарного) при введении ингибитора в фоновый раствор.

МК оценивали весовым способом в герметических сосудах на стальных пластинах (Ст 3) площадью 23 см^2 в водно-солевом растворе, иннокулированном СВБ (титр 10^7 кл/мл), выделенными из ферросферы корродировавшего газопровода методом накопления на питательной среде Постгейта «В» (ПСП) [9]. Время испытаний – 240 часов, кон-

центрация ингибитора – 0.25 г/л. Методом предельных 10-кратных разведений определяли титр СВБ в исследованных растворах до и после коррозионных испытаний образцов стали [9]. Накопление сероводорода оценивали методом йодометрического титрования.

По результатам весовых измерений рассчитывали, коэффициент торможения γ_m МК веществами I-IV ($\gamma_m = K_m / K_m^{/}$, где K_m, $K_m^{/}$ – скорость коррозии без и в присутствии ингибитора) и степень защиты Z_m.

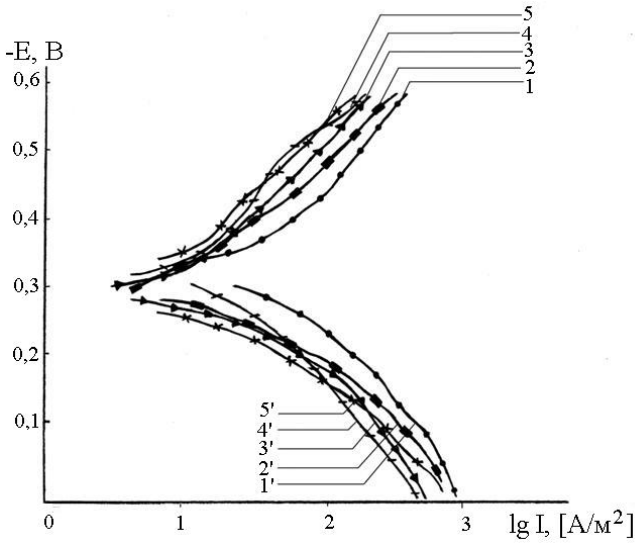
Биоцидную активность веществ I-IV изучали методом диффузии в агар и оценивали по диаметру зоны подавления роста микроорганизмов в ПСП [10].

Эффективные заряды на атомах молекул соединений I-IV рассчитывали с помощью компьютерной программы Frank J.Seiler Res. Lab. US Air Force Academy, COLO. SPGS., CO. 80840 по методу MNDO-PM 3.

Статистическую обработку результатов электрохимических исследований проводили для уровня вероятности 0.95, число измерений $n = 3$ [11].

Полученные экспериментальные данные приведены в табл. 2-4 и на рис. 1-3.

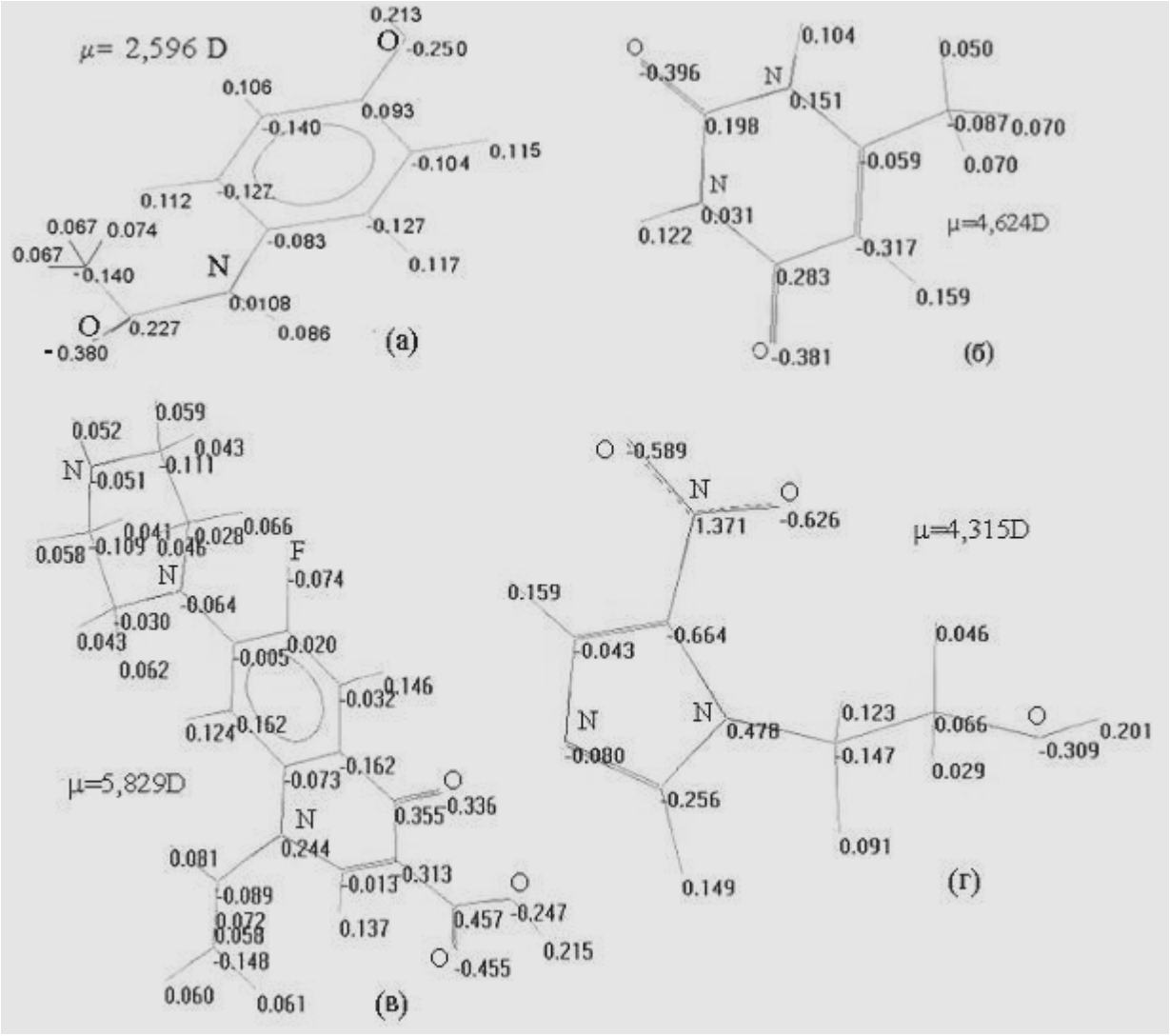
Все исследованные вещества уменьшают ток коррозии стали 20 в хлоридной кислоте в 3.55-4.47 раз. При этом вещества II и III смещают E_c стали в анодную область на 25-35 мВ, что указывает на преимущественное торможение анодного парциального процесса (табл. 2, рис. 1). Вещество I смещает E_c в отрицательную область на 15 мВ, то есть преимущественно тормозит катодную реакцию коррозии стали ($\gamma_к/\gamma_a \cong 1.5$), а вещество IV заметно не влияет на потенциал свободной коррозии стали ($\gamma_к/\gamma_a \cong 1$). Среди исследованных соединений максимальную степень защиты стали в хлоридной кислоте обеспечивает вещество IV, $\gamma_c = 4.47$, степень защиты $Z_c = 77.7\%$.



1,1/ – без добавок; 2,2/ – с добавкой III; 3,3/ – с добавкой II; 4,4/ – с добавкой I; 5,5/ – с добавкой IV
Рис. 1. Поляризационные катодные (1-5) и анодные (1/-5/) кривые стали 20 в 0.1М HCl

Высокая электронная плотность на атомах углерода бензольного кольца вещества I и имидазольного кольца вещества IV (рис. 2) позволяет предположить для этих соединений специфическую адсорбцию второго рода на поверхности стали за счет прочных π-комплексов и координационных связей с образованием плотноупакованных хемосорбционных пленок.

Бензольное и пиридиновое кольцо веществ II и III соответственно (рис. 2) обеднено электронами. Однако, эти вещества характеризуются высоким дипольным моментом (II

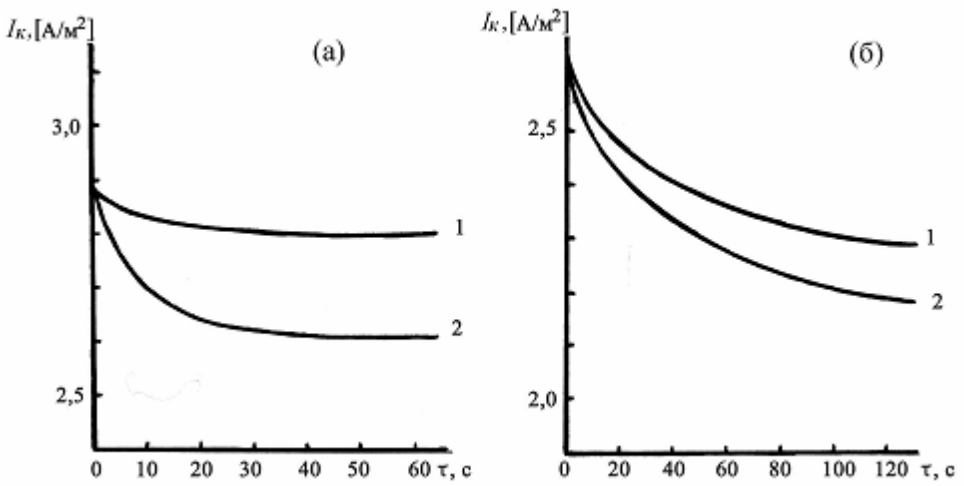


а – вещество I; б – вещество II; в – вещество III; г – вещество IV
Рис. 2. Эффективные заряды атомов молекул (метод MNDO PM-3)

Таблица 2

Электрохимические параметры и коэффициенты торможения процесса коррозии стали 20

Среда	Ток коррозии, А/м^2			Потенциал коррозии, В			Коэффициенты торможения			
	I_c	$I_к$	$I_а$	$-E_c$	$-E_к$	$-E_а$	γ_c	$\gamma_к$	$\gamma_а$	$\gamma_к/\gamma_а$
0.1M HCl	3.98	125.89	251.19	0.325	0.370	0.245	–	–	–	–
0.1M HCl + I	1.12	33.11	95.50	0.340	0.480	0.230	3.55	3.80	2.63	1.46
0.1M HCl + II	1.00	50.12	95.50	0.300	0.440	0.235	3.98	2.51	2.63	0.96
0.1M HCl + III	1.12	79.43	125.89	0.290	0.410	0.230	3.55	1.58	1,99	0.80
0.1M HCl + IV	0.89	31.62	66.06	0.325	0.460	0.205	4.47	3.98	3.80	1.05



а – веществ II (1) и III (2); б – веществ I (1) и IV (2)
Рис. 3. Зависимость катодного тока от времени адсорбции на стали 20

– μ=4.624D; III – μ=5.829D), наличием в структуре атомов О с высокой электронной плотностью, способных протонироваться в растворе HCl, а также положительно заряженных атомов N. Поэтому для веществ II и III можно предположить физическую адсорбцию на отрицательно заряженной в HCl поверхности стали, что согласуется со смещением E_c в положительную область при введении II и III в фоновый раствор.

Характер адсорбции веществ I-IV, предположенный на основе расчета электронной плотности атомов в их молекулах, согласуется с экспериментальными данными спада катодного тока во времени при введении веществ I-IV в раствор фона (рис.3). Малая продолжительность адсорбции (10-20 с) веществ II и III указывает на ее физический характер, а длительная адсорбция (более 120 с) веществ I и IV – на хемосорбцию.

Таким образом, проведенные исследования подтвердили предположение о противокоррозионной активности веществ I-IV, сделанное на основании их структурного строения.

Учитывая фармакологическое действие исследованных веществ и их противокоррозионные свойства в кислой хлоридной среде, а также способность к адсорбции на отрицательно заряженной, как и у бактериальной клетки [6], поверхности стали перспективно было исследование их влияния на МК.

Показано, что действие веществ I-IV на МК в присутствии СВБ неоднозначно (табл.3). Вещества II и IV стимулируют МК стали Ст 3 (γ_m для II и IV – 0.64; 0.75 соответственно).

Таблица 3

Влияние веществ I-IV(C_{I-IV} = 0.25 г/л) на МК стали Ст 3 в присутствии СВБ

Среда	γ_m	Z_m,%	Концентрация H_2S, мг/л	Титр СВБ в водно-солевой среде, кл/мл
ПСП + СВБ	–	–	203.00	$6\cdot10^9$
ПСП + СВБ + I	1.07	6.50	177.31	$2.5\cdot10^5$
ПСП + СВБ + II	0.64	–	234.43	$6\cdot10^6$
ПСП + СВБ + III	14.07	92.90	105.91	$2.5\cdot10^6$
ПСП + СВБ + IV	0.75	–	91.63	$2.5\cdot10^5$

Соединение IV – известный в фармакологии противомикробный препарат, механизм действия которого заключается в биохимическом восстановлении нитрогруппы, соединенной с имидазольным кольцом, внутриклеточными транспортными протеинами ана-

эробных микроорганизмов. Восстановленная нитрогруппа взаимодействует с ДНК клетки микроорганизмов, ингибируя синтез их нуклеиновых кислот, что ведет к гибели бактерий [12]. При этом IV максимально среди исследованных веществ угнетает сульфатвосстанавливающую активность СВБ: концентрация H_2S уменьшается в 2.2 раза. Можно предположить, что в условиях МК сероводород как продукт жизнедеятельности СВБ восстанавливает нитрогруппу вещества IV, что изменяет его биологическую активность.

Среди исследованных веществ I-IV высокий защитный эффект от МК установлен для соединения III (Z_m = 92.9%), что обусловлено, прежде всего, его биоцидным действием по отношению с СВБ (табл.4). Вещество III, как и IV, – противомикробный препарат, механизм действия которого, в отличие от IV, основан на подавлении ДНК-гидразы, что приводит к дестабилизации цепи ДНК и гибели бактерий.

Таким образом, способность веществ I-IV ингибировать частные электродные реакции коррозионного процесса не является определяющей в торможении МК, вызванной СВБ. Продукты жизнедеятельности СВБ способны изменять эффективность защитного действия ингибиторов коррозии [6]. Поэтому вещества I, II и IV, заметно тормозящие коррозию стали в агрессивной среде, не влияют (вещество I) или даже стимулируют (вещества II и IV) МК инициированную СВБ, так как могут являться источниками питания бактерий.

Таблица 4

Биоцидная активность вещества III

Концентрация вещества в спиртовом растворе		
0.1 %	0.2 %	2.0 %
Диаметр зоны угнетения, мм		
20.0±0.5	20±0.7	38±0.4

Определяющим при поиске ингибиторов МК, вызванной СВБ, должно быть наличие у них бактерицидных свойств. При этом следует учитывать механизм бактерицидного действия соединений. Например, вещества III и IV используются как активные компоненты противомикробных препаратов, но из-за особенностей механизма их действия на бактериальные клетки только вещество III проявляет бактерицидное действие в отношении СВБ (табл. 4) и, как следствие, высокую степень защиты от МК.

Выводы

Фармакологический противомикробный препарат, содержащий 4-оксо-7-(1-пиперазинил)-6-фтор-1-этил-1,4дигидрохинолин-3-карбоновую кислоту, – эффективный ингибитор биокоррозии (Z_m = 92.9%), инициированной сульфатвосстанавливающими бактериями, и может быть рекомендован для обработки естественных и технологических сред, а также в составе покрытий для защиты от микробной коррозии.

Список литературных источников

1. Романенко И.В. Производные бензимидазола, проявляющие ингибиторную и биоцидную активность. //Фізико-хімічна механіка матеріалів. –2000. – Т.2., № 1. С.513-515.
2. Третяк А.П., Смыкун Н.В., Приходько С.В. и др. Антимикробная активность некоторых производных азипина конденсированного с триазолом и имидазолом. //Вісник Одеського Національного університету. – 2001. – Т.6. № 4. – С.313-316.
3. Аббасов В.М., Мамедов И.А., Абдуллаев Е.Ш. Защита стали от сероводородной коррозии с применением бактерицидов.//Защита металлов. – 1995. – Т.31. № 2. – С.206-208.

4. Андреюк К.І., Козлова І.П., Коптєва Ж.П. та ін. Мікробна корозія підземних споруд. К.: Наук. думка, 2005. 260 с.
5. Погребова И.С., Пуриш Л.М., Козлова И.А. и др. Механизм ингибирования коррозии стали в присутствии сульфатредуцирующих бактерий.//Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2001. – Т.37. № 1. – С.57.
6. Погребова И.С., Пуриш Л.М., Козлова И.А. и др. Электрохимические и биологические аспекты ингибирования процессов коррозии металлов в агрессивных средах.// Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2000. – Т.2. № 1. – С.479-481.
7. Белоглазов С.М., Гречишкин В.С., Кондрашева Е.М. Бензолсульфамиды как ингибиторы коррозии и наводораживания хромоникелевой стали // Тр. научн. конф. «Инновации в науке и образовании 2005». Калининград: Изд-во КГТУ, 2005. -Ч.2. - С.209–210.
8. Фрейман Л.И., Макаров В.А., Брыксин И.Е. Потенциостатические методы в коррозионных исследованиях в электрохимической защите. – Л.: Химия, 1972. – 240с.
9. Романенко В.И., Кузнецов С.И. Экология микроорганизмов пресных водоемов. – Л.: Наука, 1974. –196с.
10. Руководство к практическим занятиям по микробиологии./Под ред. Егорова Н.С.– М.: Изд-во МГУ, 1985. – 215с.
11. Gordon A., Ford R. The chemist's companion. – New York, 1972. – 541p.
12. http://www.rlsnet.ru/.

ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ ТА ЕЛЕКТРОПРИВОД

УДК 621.3.05

И.В. Пентегов, д-р. техн. наук
А.Л. Приступа, канд. техн. наук
Черниговский государственный технологический университет, г. Чернигов, Украина
Л.Н.Мирошниченко, канд. техн. наук,
Л.З.Богуславский, канд. техн. наук
Институт имульсных процессов и технологий НАН Украины, г. Николаев, Украина

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕСЛОВСКИХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Выделены области, в которых наиболее перспективно применение беспроводных и однопроводных систем передачи энергии при помощи тесловских процессов. Представлена модель передачи энергии при помощи тесловских схем, проведен анализ электромагнитных процессов, установлен их вид и влияние на них параметров источника, приемника и среды передачи. Показана возможность применения тесловских процессов в системах неразрушающего мониторинга.

Введение

Повышение частоты преобразования в устройствах силовой электроники позволяют по-новому рассмотреть вопросы использования беспроводной передачи энергии во многих областях науки и техники.

Никола Тесла в конце XIX века высказал идею о возможности осуществления беспроводной передачи энергии, однако, технические возможности для широкой реализации предложенной идеи в то время были ограничены. На сегодняшний день существуют различные способы осуществления беспроводной передачи энергии: путем электромагнитного излучения, передача по специально созданному проводящему каналу, резонансные методы и т.д. К основным недостаткам данных методов можно отнести значительные потери мощности при передаче из-за излучения полезной мощности в окружающее пространство и значительная величина магнитной составляющей электромагнитного поля, которая более вредна человеку в отличие от электрической составляющей, преобладающей при тесловских процессах.

Области практического применения тесловских процессов

Среди областей практического применения тесловских процессов можно выделить следующие:

– системы передачи энергии без проводов на небольшие расстояния при достаточной длине и высоте антенн для энергообеспечения труднодоступных объектов (бакены, маяки и др.), для подзарядки аккумуляторов бытовых электрических приборов [1-3];

– использование тесловских процессов в медицине для бесконтактной подзарядки миниаккумуляторов различных электростимуляторов, микрочипов, вживленных в организм [4];

– системы неразрушающего контроля объектов длительной эксплуатации.

Модель процесса передачи энергии

Тесловские процессы предполагают передачу энергии без проводов токами смещения через частичные емкости среды между антеннами приемника и передатчика. Следует отметить, что термин "антенна" при рассмотрении тесловских процессов отличается по смыслу от принятого в радиотехнике. При тесловских процессах передача энергии осуществляется без излучения радиоволн. Следовательно, передающей (принимающей) антенной может выступать проводник любой формы, образующий частичные емкости с аналогичными проводниками-антеннами приемника (передатчика).

Возможность реализации данных процессов базируется на том, что тесловские процессы позволяют передавать энергию без контакта, если расстояние между антеннами сравнимо с протяженностью антенн, то есть на сравнительно небольшие расстояния. [1,3]

Для анализа электромагнитных процессов при бесконтактной передаче энергии можно использовать схему, представленную на рисунке 1.

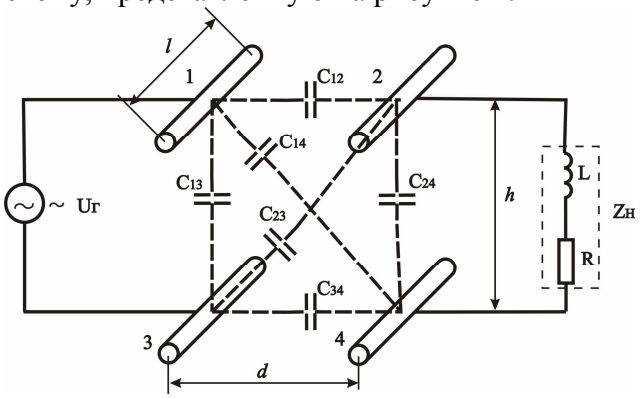


Рис. 1. Схема передачи энергии при помощи тесловских процессов: l – длина антенн, h и d – расстояния между антеннами

Для протекания тесловских процессов необходимо высоковольтное высокочастотное напряжение (15-20 кВ, 20-500 кГц), для создания которого можно использовать высокочастотный инвертор. В качестве антенн в данной схеме можно использовать проволочные или ленточные антенны. Для расчета данной схемы необходимо знать аналитические выражения для определения частичных емкостей между антеннами, которые являются сложными функциями параметров *l*, *h* и *d,* а также диаметра проволоки антенн.

Расчет частичных емкостей в рассматриваемом случае связан с расчетом электростатического поля для системы нескольких проводников конечной длины, что весьма трудоемко [5,6], поэтому для определения частичных емкостей используются специальные приближенные методы расчета (например, метод Хоу, называемый также методом средних потенциалов). Производить расчет частичных емкостей для каждого конкретного случая является сложной задачей, требующей отдельных исследований. Поэтому при анализе тесловских процессов можно с некоторым приближением пользоваться формулами, приведенными в работах [1-5], полученным экспериментальным путем.

Эквивалентная схема замещения в данном случае имеет вид неуравновешенного моста, который можно рассчитать, используя метод эквивалентного генератора [6]. При этом предполагается, что система антенн – симметрична.

При разомкнутой ветви 2-4 напряжение U_{24} определяется по формуле

$$U_{24} = U_{\Gamma}\left(\frac{Z_2}{Z_1+Z_2} - \frac{Z_1}{Z_1+Z_2}\right), \qquad (1)$$

где

$$Z_1 = \frac{1}{j\omega \cdot C_{14}}, \quad Z_2 = \frac{1}{j\omega \cdot C_{12}}, \qquad (2)$$

где C_{14}, C_{12} – частичные емкости между передающими и приемными антеннами (рис. 1).

Сопротивление Z_Γ между зажимами 2-4 при замкнутом накоротко источнике энергии определяется по формуле

$$Z_{\Gamma} = \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1+Z_2} + \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1+Z_2} = 2\frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1+Z_2}. \qquad (3)$$

Ток в ветви 2-4 равен

$$I_{24} = \frac{U_{24}}{(Z_{24} + Z_{\Gamma})}, \quad (4)$$

где сопротивления ветви 2-4 и нагрузки равны соответственно

$$Z_{24} = \left(\frac{1}{Z_H} + j\omega \cdot C_{24} \right)^{-1}, Z_H = R + j\omega \cdot L. \quad (5)$$

Ток в нагрузке и активная мощность, выделяемая в нагрузке, равны соответственно

$$I_H = I_{24} \cdot \frac{1}{j\omega \cdot C_{24} \cdot Z_{24}}, \quad P_H = R \cdot \left| I_H \right|^2. \quad (6)$$

На рисунке 2 представлены зависимости переданного тока от расстояния между антеннами. Как мы видим из этих зависимостей, применение данной схемы без резонансной индуктивности малоперспективно; введение резонансной индуктивности позволяет значительно увеличить переданный ток, что позволяет использовать ее для передачи энергии в области резонанса. Однако, с увеличением расстояния между антеннами $d>2h$ ток нагрузки уменьшается пропорционально $(d/h)^{-2,9}$, что обусловлено выравниванием сопротивлений в плечах неуравновешенного моста, при этом эффективность беспроводной передачи резко падает. Таким образом, эффективно использовать тесловские процессы можно лишь для беспроводной передачи энергии на небольшие расстояния, не превышающие расстояние между передающими (приемными) антеннами.

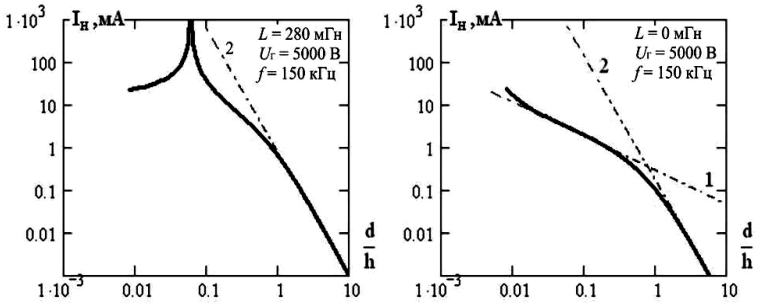


Рис. 2. Зависимость передаваемого в нагрузку тока от расстояния между антеннами

Как уже было отмечено, эффективная беспроводная передача энергии при помощи тесловских процессов возможна лишь при наличии резонанса. Однако, при этом возникает проблема ограничения перенапряжений на индуктивности нагрузки. Поэтому выбирать рабочую точку лучше не на резонансе, а на подходе к нему, когда система носит емкостной характер.

Величина частичных емкостей зависит от многих факторов: геометрических размеров и взаимного расположения антенн; частоты источника энергии; диэлектрической проницаемости среды между антеннами. Это дает возможность эффективно использовать тесловские процессы для контроля состояния объектов повышенной опасности:

- сооружений, срок эксплуатации которых истек;
- укрытий, состояние которых может измениться в непредсказуемый момент;
- невидимые обрывы в линиях электропередач;
- изменение состояния высоковольтной изоляции, предшествующее ее пробою.

Изменение диэлектрической проницаемости среды между антеннами обусловлено изменением свойств электрической изоляции контролируемого объекта и предшествует возникновению аварийной ситуации в большинстве объектов длительной эксплуатации.

Это может быть использовано в качестве информационной координаты при разработке систем неразрушающего контроля качества электрической изоляции. Особенно-

стью метода мониторинга диэлектрического состояния объекта с помощью тесловских процессов является использование в системе диагностики параметров среды как элемента электрической цепи, являющейся составной частью высоковольтного высокочастотного измерительного комплекса (рис.3) .

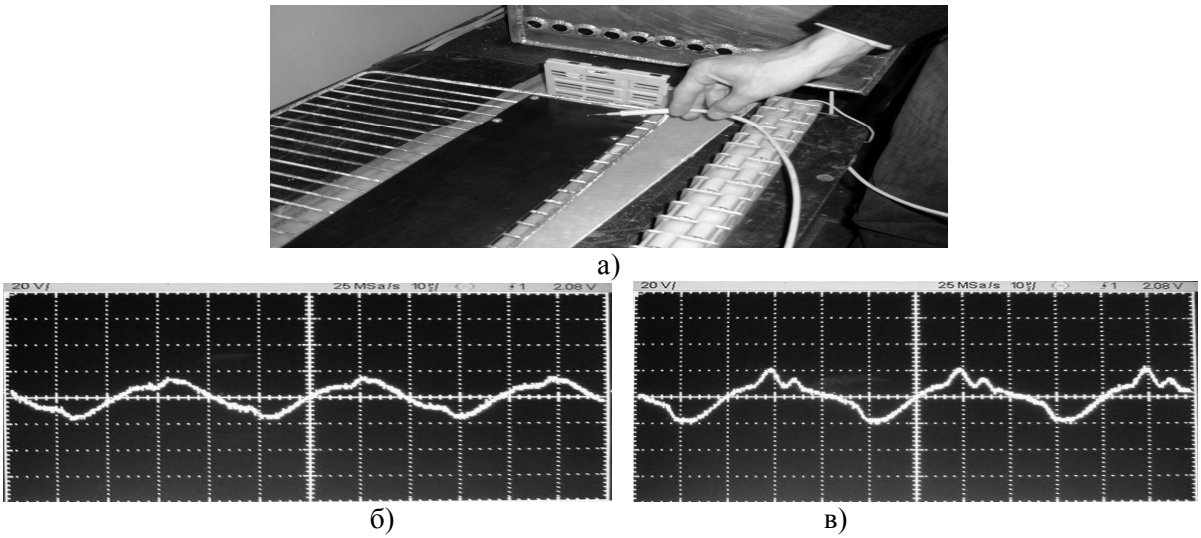


Рис. 3. Измерение разрядных характеристик в комплексе однопроводных линий при разряде на диэлектрик (эбонит) с металлической арматурой: а) визуальная картина; б) осциллограмма тока разряда в области диэлектрика; в) осциллограмма тока разряда в области металла

При использовании сложной структуры (использование совместно диэлектрика и металла) интегральная диэлектрическая проницаемость среды увеличивается, что необходимо учитывать в расчетах.

В зависимости от свойств изоляции объекта, подобрать необходимые параметры системы мониторинга можно, регулируя резонансную индуктивность нагрузки L и/или параметры генератора U и f (рис. 4).

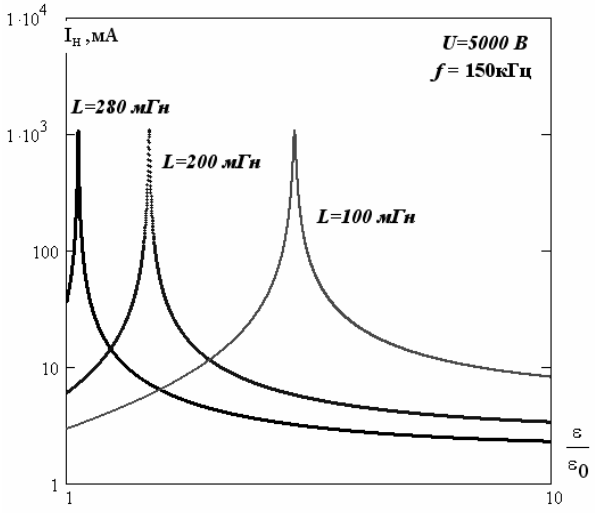


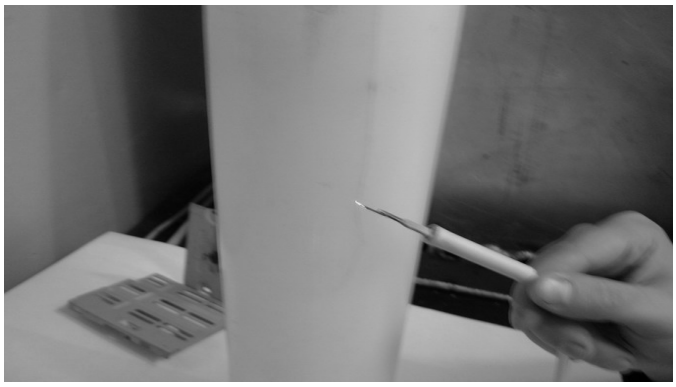
Рис. 4. Зависимость передаваемого в нагрузку тока от относительной диэлектрической проницаемости среды

Из рис. 4 видно, что при изменении относительной диэлектрической проницаемости среды величина тока в тесловской схеме может изменяться на 3 порядка. Поэтому система мониторинга должна быть отрегулирована на определенный диапазон значений тока, переданного через исследуемый изолятор. При выходе значений тока из этого диапазона формируется сигнал о дефекте изоляции.

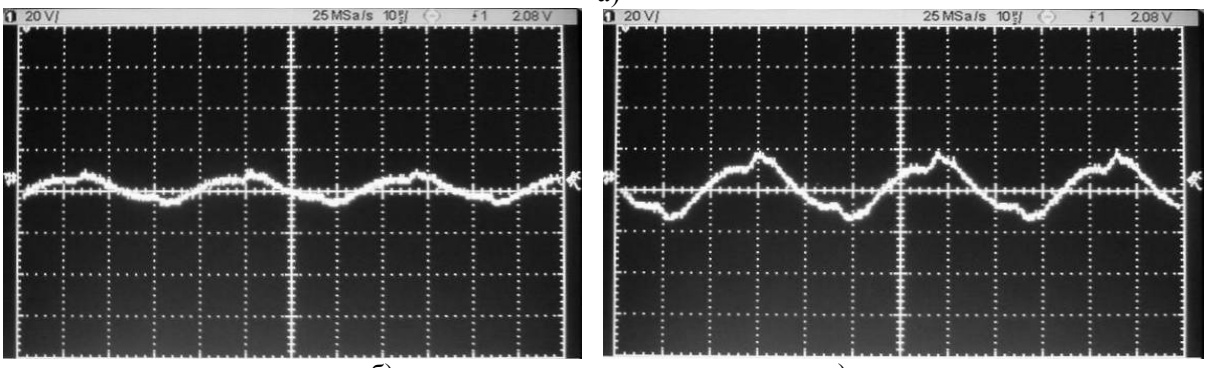
Если по каким-то причинам в нормальном режиме, например, при изменении влажности, геометрического расположения антенн и т.д. величина тока изменится, то, регулируя резонансную индуктивность нагрузки L и/или параметры генератора U и f, можно восстановить начальный режим.

Преимущество данного метода заключается в том, что он позволяет производить диагностику объектов сложной и неопределенной конфигурации, имеющих неоднородный состав. Кроме того, применение беспроводных схем значительно снижает энергопотребление таких систем.

На рис.5 приведен пример диагностики состояния высоковольтного изолятора.



а)



б) в)

Рис.5. Высокочастотный разряд на поврежденную и неповрежденную часть высоковольтного изолятора: а – визуальная картина эксперимента; осциллограмма тока дуги для неповрежденного (б) и поврежденного (в) случая

Выводы

Исследованы электромагнитные процессы в представленных тесловских схемах, установлен их вид и характер в виде математических выражений, связывающих между собой параметры источника, приемника и среды передачи.

Проанализировано влияние параметров среды передачи, геометрических размеров и расположения приемных и передающих антенн на величину переданного тока. Установлено, что беспроводная передача энергии при помощи тесловских процессов возможна, когда расстояние, на которое осуществляется передача энергии, имеет один порядок с расстоянием между передающими антеннами, а величина переданного тока возрастает с увеличением диэлектрической проницаемости среды.

Рассмотрена возможность применения тесловских процессов в системах неразрушающего контроля объектов длительной эксплуатации.

Преимущества этого метода диагностики заключаются в возможности контроля диэлектрического состояния объекта сложной и неопределенной конфигурации и струк-

туры, значительных объемов, неоднородного состава. Полученные результаты могут быть использованы в системах неразрушающего контроля и диагностики состояния технических объектов с целью продления срока их эксплуатации. Это особенно важно для данного периода, когда большинство ответственных объектов эксплуатации в базовых отраслях исчерпало свой ресурс, и каждый третий промышленный объект является потенциально опасным.

Список литературных источников

1. Пентегов И.В., Приступа А.Л. О возможности беспроводной передачи энергии с помощью тесловских процессов // Техническая электродинамика. – 2005. – № 3. – С. 11-15.
2. Пентегов И.В., Волков И.В., Приступа А.Л Применение тесловских процессов для бесконтактного заряда аккумуляторов бытовых электрических устройств // Технічна електродинаміка: Тем. вип. «Проблеми сучасної електротехніки». Ч.2. – 2006. – С.16-21
3. Пентегов И.В., Волков И.В., Приступа А.Л. К расчету тесловских процессов при беспроводной передаче энергии // Електротехніка і Електромеханіка. – 2007. – №2. – С. 70-73.
4. Пентегов И.В., Волков И.В., Приступа А.Л. О возможности осуществления бесконтактной подзарядки аккумуляторов имплантированных электростимуляторов // Технічна електродинаміка: Тем. вип. «Проблеми сучасної електротехніки». Ч.5. – 2008. – С.109-113.
5. Иоссель Ю.Я., Кочанов Э.С., Струнский М.Г. Расчет электрической емкости. – М.: Энергия. –1969. – 240 с.
6. Нейман Л.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. т. 1. – М.-Л.: Энергия. – 1966. – 407 с.

УДК 004.032.26:621.3:62-8
О.В. Красножон, магістрант
С.А. Іванець, канд. техн. наук
Д.О. Ульченко, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

НЕЙРОНЕЧІТКА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ЕЛЕКТРОДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Розглянуто проблеми побудови систем регулювання. Проведено аналіз існуючих принципів здійснення регулювання. Описано процес розробки нейронечіткого регулятора. Запропоновано структуру системи регулювання з нейронечітким регулятором для реалізації на ПЛІС. Проведено моделювання та оцінку результатів роботи системи регулювання.

Вступ

На сучасному етапі розвитку промисловості широко розповсюджені системи регулювання, що містять електричні двигуни різного типу та потужності. Робота таких систем супроводжується виникненням динамічних навантажень, передавальна функція яких має високий порядок (значно нелінійна), що ускладнює її математичний опис. В процесі роботи електромеханічних установок параметри нелінійності змінюються через зношення механічних деталей та старіння матеріалу, а в деяких випадках взагалі неможливо побудувати модель системи, однак, є можливість отримати залежності між різними її параметрами [1, 2].

У зв'язку з вищезазначеним, регулюючий пристрій повинен коректно відпрацьовувати керуючий та збуджуючий впливи, а також максимально враховувати параметри об'єкта регулювання та їх відхилення в процесі експлуатації, тому під час розробки таких пристроїв все частіше використовують інтелектуальні методи регулювання.

Численні спроби створення систем регулювання із зазначеними вище якостями призвели до використання нечітких регуляторів, теоретичним підґрунтям яких є теорія нечітких множин. Беззаперечною перевагою таких систем є моделювання процесу мислення людини, що дозволяє сформувати необхідні характеристики регулювання [2], однак такі регулюючі пристрої мають дуже суттєвий недолік – значні труднощі їх налаштування.

Іншим різновидом інтелектуальних систем є системи, в основі яких лежать штучні нейронні мережі (ШНМ), що характеризуються здатністю до навчання та адаптації. Створення регулюючого пристрою на основі такої мережі не потребує побудови моделі об'єкта регулювання завдяки її здатності до навчання, але через певні особливості штучних нейронних мереж корегування їх роботи після навчання стає неможливим [3].

Неодноразові спроби виправити недоліки зазначених інтелектуальних методів регулювання призвели до їх об'єднання. Результатом цього стало створення нового класу систем управління – адаптивних нейронечітких систем [4].

Аналіз існуючих принципів регулювання

З теорії автоматичного регулювання (ТАР) відомо, що всі системи регулювання двигунів постійного струму можна поділити на: системи з підпорядкованим, модальним та адаптивним регулюванням координат [1].

В системах з підпорядкованим регулюванням координат швидкість регулюється зміною напруги на обмотках ротора. Такі системи характеризуються високим порядком диференціального рівняння, всі вони є замкненими. Підпорядковане регулювання є дуже чутливим до зміни параметрів об'єкту регулювання і використовується за наявності значної кількості вхідних сигналів, що відрізняються по частоті.

Модальне регулювання використовується за умови великої кількості параметрів системи, пов'язаних між собою. Ідея такого регулювання полягає в замиканні об'єкта по

всіх координатах його стану негативними зворотніми зв'язками. Для отримання бажаних характеристик системи коефіцієнти зворотніх зв'язків необхідно підбирати. Така система має високий порядок результуючого рівняння, її недолік – відсутність обмеження величин координат об'єкта в разі значної зміни величини вхідного впливу.

Розглянуті способи регулювання зазвичай використовуються для систем, що містять лінійні об'єкти регулювання з відомими та незмінними параметрами. Зміна цих параметрів призводить до порушення умов оптимізації, тобто до погіршення динамічних показників, а спроба зберегти ці показники – до задачі адаптації.

В ТАР всі адаптивні системи регулювання поділяють на 2 класи [3]: з еталонною моделлю та з моделлю, що налаштовується.

В системах першого класу параметри регулятора підлаштовуються під бажаний динамічний процес, який задається еталонною моделлю. Параметрична адаптація здійснюється блоком адаптивного регулювання, що оцінює відхилення змінних стану об'єкта від змінних стану еталонної моделі, однак можливість побудови еталонної моделі об'єкта регулювання не завжди існує [4].

В системах другого класу моделлю виступає адаптивний спостерігаючий пристрій, що дозволяє аналітично сформулювати алгоритм регулювання, при цьому система другого порядку з двома змінними виявляється досить складною. В такому випадку застосовують наближену адаптацію, яку виконують за допомогою адаптивного фаззі-спостерігача, робота якого базується на засадах нечіткої логіки [5].

Мета статті

Виходячи з аналізу існуючих принципів регулювання, можна зробити висновок, що найбільш прийнятним є адаптивне регулювання, оскільки саме воно дозволяє враховувати параметри об'єкта регулювання, а також їх відхилення, причому кращим буде адаптивне регулювання з використанням моделі, що налаштовується. В системі регулювання має бути забезпечена можливість її автоматичного (під час роботи системи) поповнення інформацією про зміни характеристик зовнішніх впливів та параметрів самого об'єкта регулювання. Під адаптивністю системи слід розуміти можливість автоматичної зміни алгоритму регулювання (або навіть структури самого регулюючого пристрою) на основі отриманої інформації з метою забезпечення найкращої якості регулювання (по заданих параметрах) в процесі роботи системи. Виявлення відхилень параметрів системи здійснюється непрямим способом, оскільки безпосередній вимір параметрів часто є дуже складним.

Отже, метою роботи є розробка адаптивної системи регулювання швидкості обертання електродвигуна постійного струму. Регулювання в системі виконується на основі нечіткого алгоритму Такагі-Сугено: він дозволяє отримати числове значення величини регулюючого впливу.

Виклад основного матеріалу

Процес розробки нечіткої системи регулювання швидкості включає в себе такі етапи: розробка нейронечіткого регулятора (складання навчальної вибірки для ШНМ, навчання мережі, аналіз нечітких функцій приналежності), розробка підсистеми з об'єктом регулювання, моделювання роботи підсистем та системи в цілому. Під час розробки системи використовувались бібліотеки пакетів Simulink, DSP Blockset, Fuzzy Logic Toolbox та Power System Blockset середовища MATLAB R 2008B [6].

Об'єкт регулювання в системі – безколекторний двигун постійного струму (БДПС), що вирізняється підвищеною надійністю, скороченим часом ремонту та обслуговування, але його використання призводить до ускладнення системи регулювання.

Керування БДПС виконується за допомогою сигналів від датчиків положення ротора (ДПР). Подача напруги на обмотки статора здійснюється у відповідності до змін сигна-

лів ДПР, при цьому в обмотках статора наводиться магнітне поле, що створює обертаючий момент, який діє на ротор. При правильній комутації напруги момент обертання ротора залишається майже постійним.

Найбільш простим та поширеним методом комутації обмоток є метод включення-відключення, коли обмотка або пропускає постійний струм, або ні [2], причому в один момент часу струм протікає лише через 2 обмотки. Для здійснення комутації використовується силовий каскад (рис. 1), що складається з трьох керованих напівмостів. В залежності від сигналів ДПР спеціальна схема визначає, які ключі мають бути замкнені в даний момент. Комутація струму, в свою чергу, створює в обмотках статора магнітне поле, що обертається у просторі. В залежності від черговості комутації обмоток можна створювати поле, що змушує ротор обертатися в заданому напрямку [3].

Регулювання частоти та моменту обертання здійснюється регулюванням величини струму через обмотки статора. Найбільш поширеним способом регулювання величини струму є використання ШІМ, яка визначає середню напругу на обмотках, а, отже, і середній струм. Діапазон робочих частот ШІМ становить 20 кГц – 60 кГц [2].

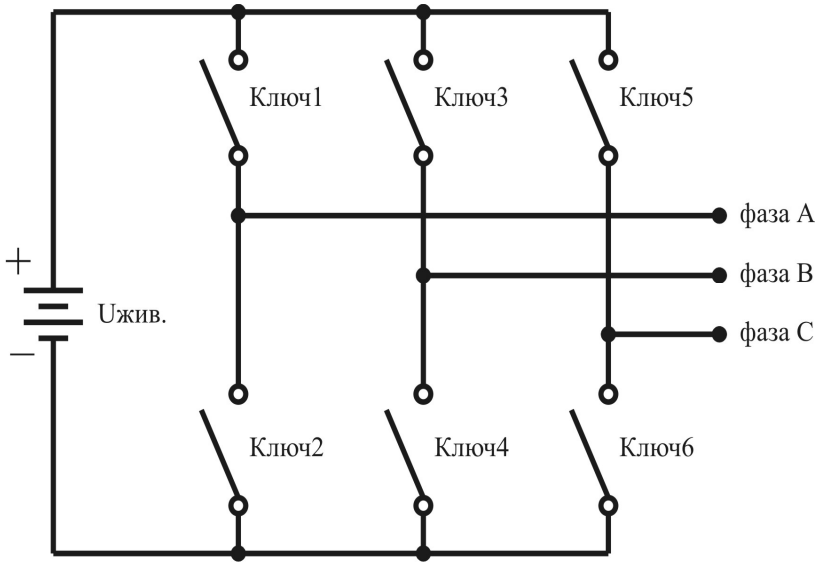


Рис. 1. Електрична схема силового каскаду комутації фаз БДПС

На основі описаного способу керування БДПС була розроблена підсистема, яка здійснює комутацію фаз статора двигуна (її структура зображена на рис. 2).

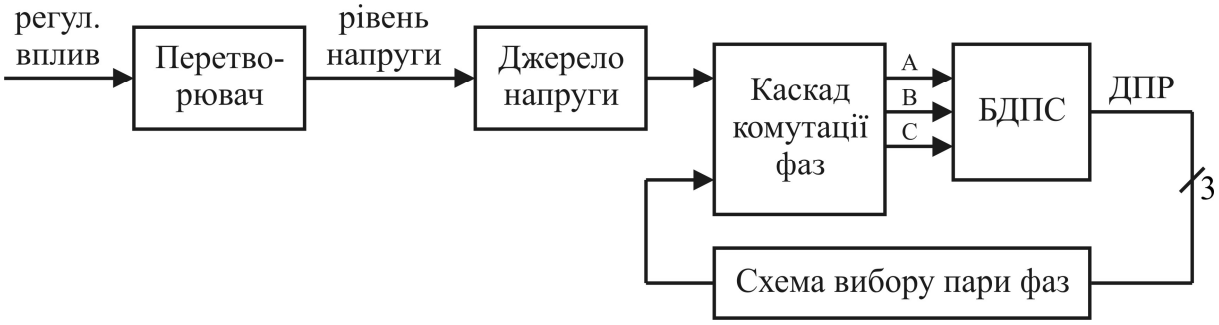


Рис. 2. Структура підсистеми з об'єктом регулювання

Розробка нейронечіткого регулятора

Після аналізу існуючих систем регулювання, вивчення обраного нечіткого алгоритму регулювання та урахування певних властивостей нечітких множин [4], до алгоритму регулювання були висунуті наступні вимоги:

- кількість вхідних параметрів – 2 (помилка швидкості та її прискорення);
- кількість функцій приналежності для кожного із входів – 5;
- форма функції приналежності – Гауссова крива першого порядку.

Врахування прискорення разом з помилкою швидкості дозволяє визначити динаміку зміни значення помилки, внаслідок чого регулятор більш коректно обчислюватиме величину регулюючого впливу.

На перший вхід регулятора (згідно нечіткого алгоритму) надходить помилка швидкості – різниця між заданим користувачем (еталонним) та поточним значеннями швидкості. На інший вхід надходить значення прискорення, яке обчислюється як різниця між поточним значенням швидкості обертання та значенням, отриманим під час попереднього моменту дискретизації. Таким чином нейронечіткий регулятор буде формувати цілу поверхню регулювання.

Вище зазначалось, що нечіткий алгоритм регулювання має виконуватися штучною нейронною мережею, тому, з урахуванням вимог, висунутих до нечіткого алгоритму, за допомогою модуля Anfisedit (для розробки адаптивних нейронечітких систем) була створена структура штучної нейронної мережі [6], що зображена на рис. 3.

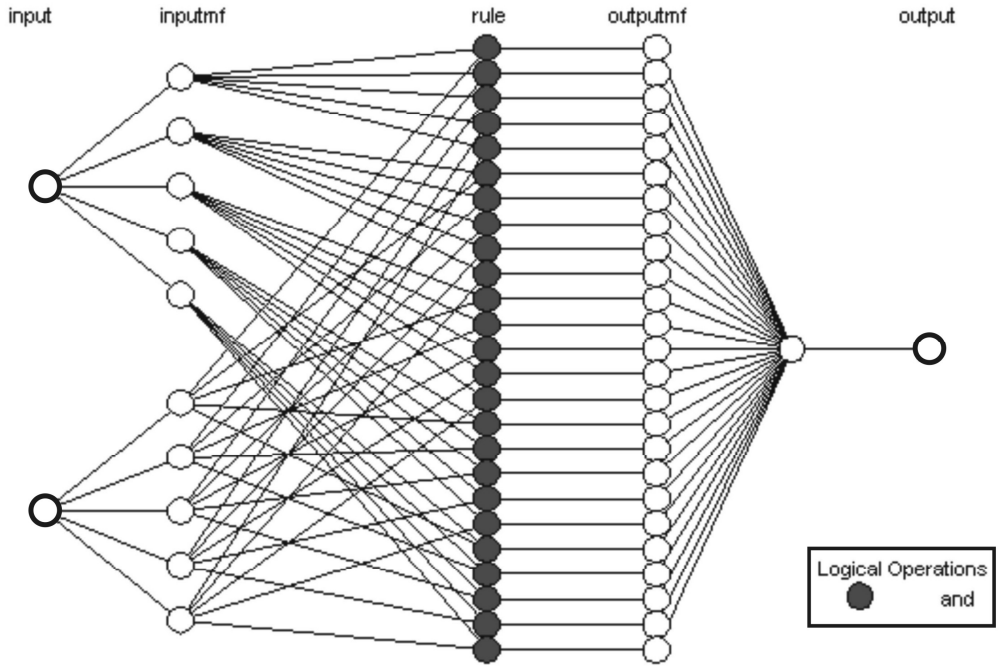
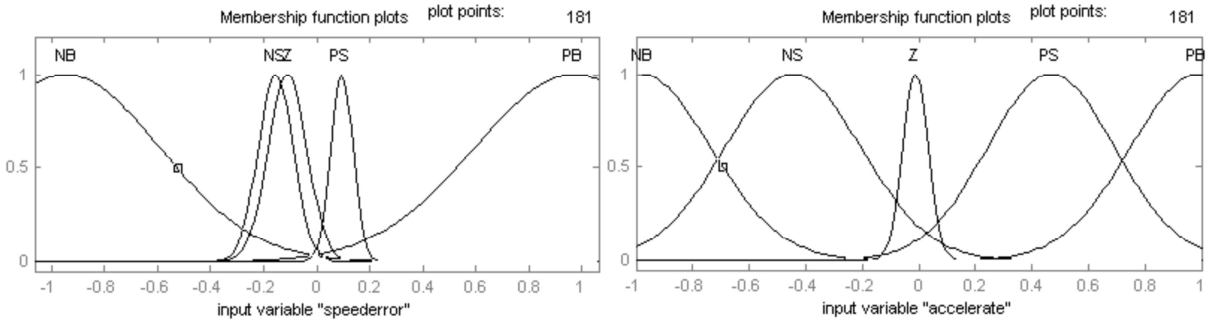


Рис. 3. Структура штучної нейронної мережі нечіткого регулятора

Наступним кроком є навчання створеної ШНМ. У нашому випадку було використано метод навчання з учителем [4].

Навчання мережі та перевірка результатів проводились на основі попередньо складених навчальної та контрольної вибірок за допомогою модуля Anfisedit, який дозволяє візуально оцінювати результати навчання ШНМ. Помилка ШНМ для контрольної вибірки становить 3,95%. Нижче (рис. 4) наведено отримані нечіткі функції приналежності для входів помилки швидкості та прискорення відповідно, які розділяють інтервали значень вхідних змінних на різні зони [7].

Кожній з цих зон відповідають різні нечіткі правила, які визначаються за допомогою таблиці правил. В залежності від того, яке правило домінує, регулятор буде мати різний коефіцієнт підсилення. Домінування правила визначається його вагою, тобто числом (від 0 до 1), яке буде з'являтися на виході ШНМ (рис. 3) після навчання при певних заданих величинах на її входах [3].



а) *б)*

Рис. 4. Загальний вигляд функцій приналежності після навчання ШНМ регулятора для входів: а) помилки швидкості, б) прискорення помилки швидкості

Структура нейронечіткого регулятора для реалізації на ПЛІС

Нечіткі функції приналежності являють собою функції Гаусса першого порядку, розрахунок значень яких займає багато часу (бо обраховується експоненціальна функція) та є трудомістким [7], тому краще задавати ці функції у вигляді таблиці, що містить вхідні параметри та відповідні вихідні значення. Враховуючи, що функція Гауса є парною, достатньо задати лише половину значень таблиці, це дозволить значно скоротити використання внутрішньої пам'яті мікросхеми [5].

З рис. 3 видно, що в процесі виконання нечіткого алгоритму необхідно одночасно обчислювати вихідне значення для кожної з 10 вхідних функцій приналежності, це означає, що в пам'яті необхідно тримати одночасно 10 таблиць. Кожна таблиця значень нечіткої функції приналежності займає у пам'яті ПЛІС 128 байт,

Враховуючи вищезазначене, для реалізації нейронечіткого регулятора на ПЛІС була запропонована конвеєрна структура, зображена на рис. 5.

Завдяки використанню конвеєра результат обчислення однієї вхідної вибірки поділяється на 5 етапів. На першому етапі в кожній вітці конвеєра (вузол H) за 2 такти виконується пошук значень функцій Гауса (однієї функції швидкості і всіх функцій прискорення). За наступний такт вузлом min здійснюється вибір мінімального значення. Ще один такт потрібен для множення мінімального значення на ваговий коефіцієнт, що розміщується у циклічному регістрі зсуву. За наступні 4 такти здійснюється додавання з накопиченням (блоки Σ_1 та RG на рис. 5). З приходом кожного наступного тактового сигналу конвеєр обраховує наступні 5 правил та здійснює додавання поточного та попереднього значень. Обчислення вихідного значення регулятора займає 3 такти. Отже, через 11 тактів на виході регулятора з'являється остаточне значення регулюючого впливу.

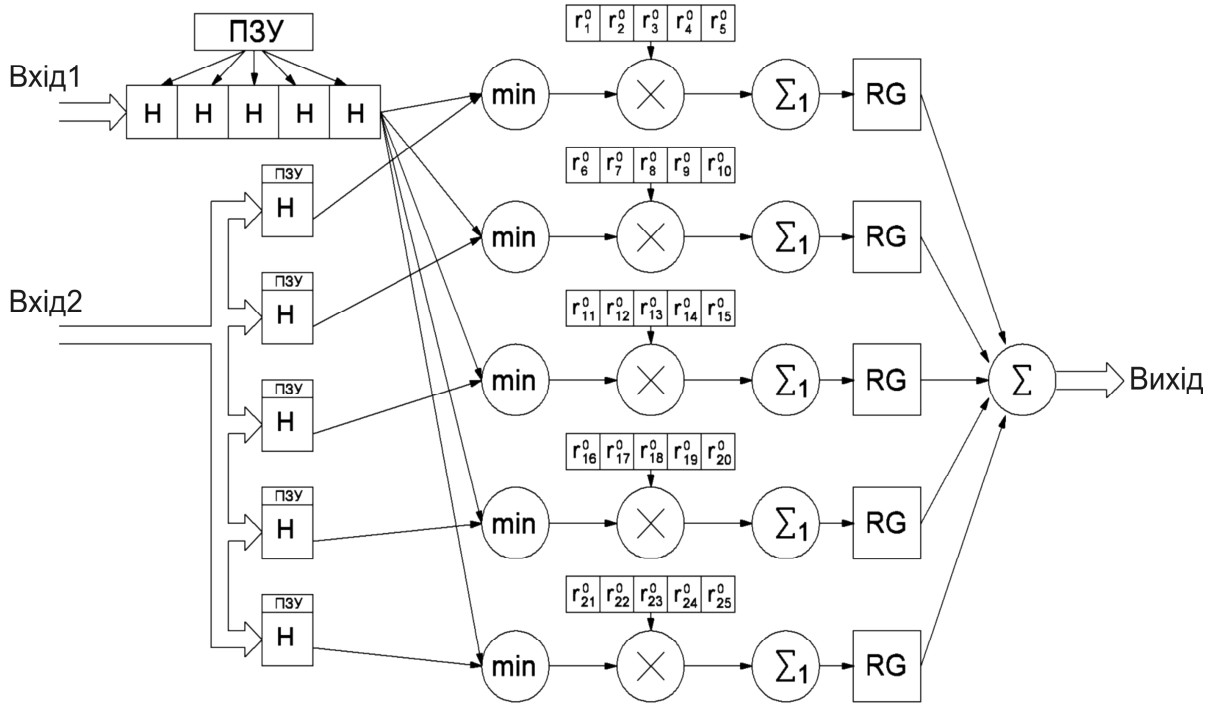


Рис. 5. Конвеєрна структура нейронечіткого регулятора

Аналіз роботи розробленої системи регулювання

Після розробки нейронечіткого регулятора та силової частини об'єкта регулювання їх можна об'єднати у єдину систему регулювання, структура якої зображена на рис. 6.

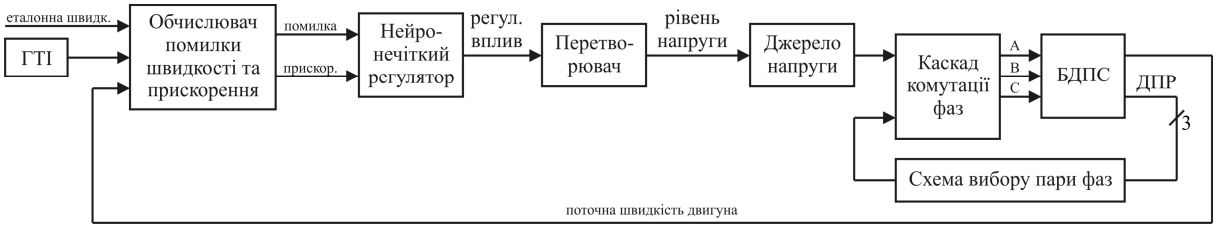
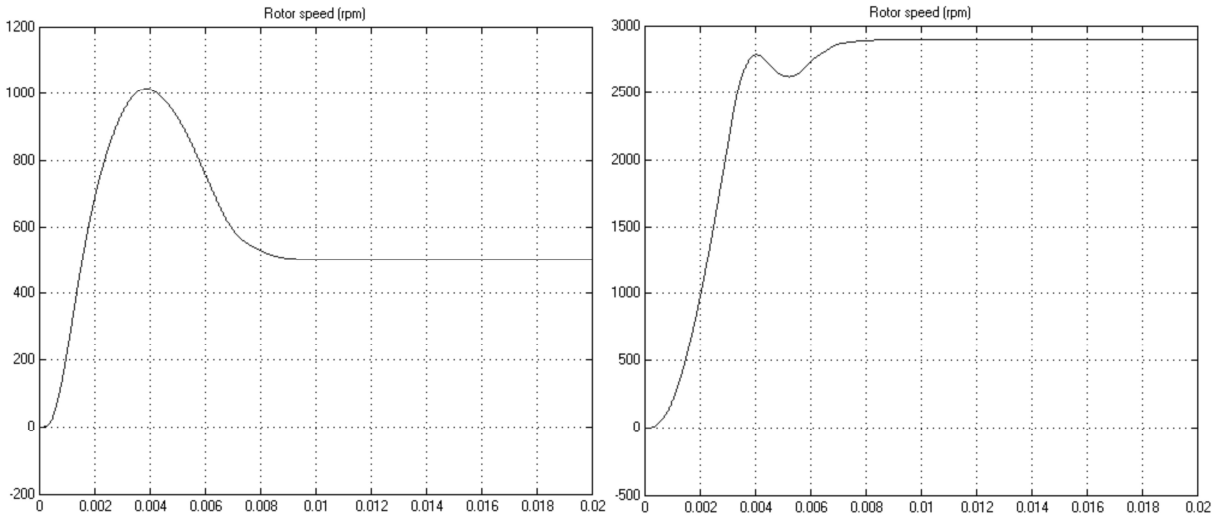


Рис. 6. Структура розробленої системи регулювання швидкості обертання БДПС

Приклади моделювання роботи розробленої системи регулювання при відпрацюванні нею керуючого впливу у 500 об/хв та 3000 об/хв відповідно зображені на рис 7. Відносна статична похибка регулювання у цих випадках становить 3,47 % та 0,2 % відповідно, тривалість перехідного процесу – 10 мс.

Моделювання дозволило оцінити основні параметри розробленої системи регулювання: діапазон значень швидкості, в якому здійснюється регулювання, статична похибка регулювання, тривалість перехідного процесу.



а) *б)*

Рис. 7. Моделювання роботи розробленої системи регулювання швидкості при відпрацюванні керуючого впливу: а) у 500 об/хв, б) у 3000 об/хв

Висновки

Запропонована система дозволяє здійснювати регулювання швидкості в діапазоні 500 - 4000 об/хв, забезпечуючи статичну похибку не більше, ніж 3,67 % для будь-якого зі значень швидкості у вказаному діапазоні та тривалість перехідного процесу менше 12 мс. Вона відрізняється від існуючих систем тим, що може бути легко переналаштована в разі зміни вимог до процесу регулювання, а також адаптуватися до зміни параметрів системи під час функціонування.

Конвеєрна структура нейронечіткого регулятора може бути реалізована на ПЛІС, причому частота обчислення регулюючого впливу, наприклад, для мікросхеми EP1S25F780-5 становить 4,5 МГц, а сам регулятор формує цілу поверхню регулювання, на відміну від інших регуляторів, що працюють в певній точці.

Список літературних джерел

1. Зайцев Г.Ф. Теория автоматического управления и регулирования. – [2-е изд.]., перераб. и доп / Зайцев Г.Ф. – К.: Выща шк. Головное изд-во, 1989. – 431 с.
2. Терехов В.М. Некоторые аспекты применения фаззи-управления в электроприводах / Терехов В.М., Владимирова Е.С. // Электричество, 2001. – №12. – С. 56–58.
3. Фрер Т. Введение в электронную технику регулирования / Т. Фрер, Ф. Орттенбургер. – М.: Энергия, 1974. – 189 с.
4. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечёткие системы; пер. с польск. И. Д. Рудинского / Пилинский М., Рутковский Л. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.
5. Круглов В.В. Нечёткая логика и искусственные нейросети / Круглов В.В. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 224 с.
6. Леоненков А.В. Нечёткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / Леоненков А.В. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.
7. Суворова Е.А. Проектирование цифровых систем на VHDL / Е.А. Суворова, Ю.Е. Шейнин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003 . – 576 с.
8. Электропривод. – Режим доступа: http://www.electroprivod.ru/57bls.htm.

УДК 621.317.35

Р.В. Заровський, канд. техн. наук
О.А. Велігорський, канд. техн. наук
М.А. Хоменко, асистенит

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ З НЕЧІТКИМ РЕГУЛЯТОРОМ, НАСТРОЄНИМ З УРАХУВАННЯМ ЗБУРЕНЬ

Розглянуто процес складання таблиці правил роботи нечіткого регулятора за фазовими портретами помилки регулювання з урахуванням дії збурень. Виконане моделювання системи стабілізації швидкості з нечітким регулятором, настроєним за складеною таблицею правил.

Вступ

В сучасних системах електроприводу все більш широко застосовуються нечіткі регулятори (НР), настроювання яких вимагає визначення правил їхньої роботи і вибору параметрів блоків фаззі- та дефаззі-фікації. Як відомо процес настроювання таких регуляторів відрізняється від подібного для класичних регуляторів. Для НР він носить емпіричний характер і базується на досвіді експерта або їх групи. Крім того процес настроювання займає значний проміжок часу в загальній тривалості проектування системи. У зв'язку з цим актуальним завданням є розробка загального методу настроювання нечітких регуляторів, який, з одного боку, забезпечує єдиний підхід до процесу настроювання і зменшення витрат часу, а з іншого – дозволяє забезпечити необхідну якість процесу регулювання, з урахуванням впливу збурень, що мають місце в реальних системах електроприводу.

Методи і результати

Як відомо, існує кілька варіантів включення НР до складу замкнених систем керування [1]. Вибір одного з варіантів включення обумовлений тими завданнями, які регулятор повинен вирішувати, працюючи в складі замкненої системи керування.

При прямому включенні НР він безпосередньо формує керуючий вплив для керування навантаженням. Таку схему включення НР застосовують для керування об'єктами які мають складну динаміку і для яких важко або неможливо знайти адекватний математичний опис.

При коригуючому включенні НР він відіграє роль коригувальної ланки, включеної паралельно традиційному регулятору. У загальному випадку можна виділити два варіанти спільної роботи пари регуляторів, залежно від переважного внеску у формування сигналу керування.

В першому варіанті переважний внесок у формування сигналу керування вносить НР. Оскільки алгоритм його роботи має подібність із алгоритмом роботи релейного регулятора, то для НР, як і для релейного, існує ймовірність виникнення граничних циклів – прихованих коливань.

Для придушення граничних циклів в релейний регулятор вводять зону нечутливості, в якій він не реагує на зміни помилки. У НР це досягається вибором відповідних правил, підбір яких дозволяє „дозувати" рівень керуючого впливу і, зводячи його до нуля, утворювати зону нечутливості. В межах зони нечутливості процес є некерованим і розвивається за інерцією. У зв'язку з цим для досягнення необхідної точності, крім НР, у системі повинна бути присутньою звичайна коригувальна ланка, яка повинна виконувати свою функцію в зоні нечутливості, за межами якої повинен „працювати" НР. Цю роль і виконує включений паралельно нечіткому традиційний регулятор [2]. При такому застосуванні виключається робота традиційного регулятора в режимі великих

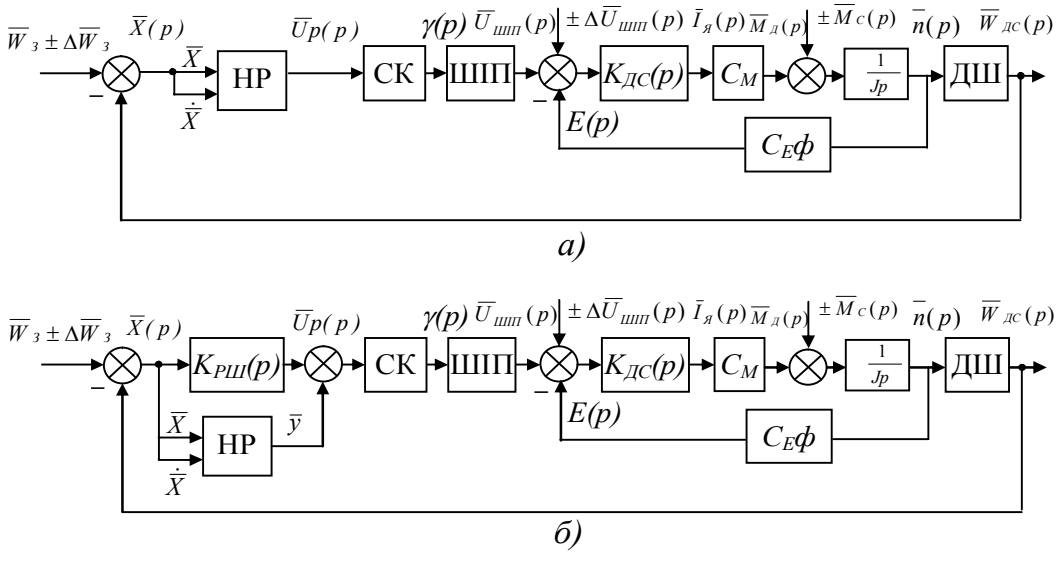
рівнів та швидкостей зміни вхідного сигналу, що зводить до мінімуму вплив паразитних параметрів регулятора на точність його роботи. Серед недоліків зазначеного підходу слід відзначити той факт, що при перемиканні з одного регулятора на інший помилка регулювання змінюється стрибкоподібно, тому необхідно вживати заходи для усунення ефекту взаємного впливу регуляторів.

В другому варіанті паралельної роботи двох регуляторів переважний внесок у формування сигналу керування вносить традиційний регулятор. Нечіткий регулятор у цій структурі відіграє роль коригувальної ланки. Для зазначених комбінацій рівня і швидкості зміни сигналу помилки він формує визначений експертом вплив, який коректує вихідний сигнал традиційного регулятора. В цьому випадку застосування НР дозволяє гнучко «дозувати» величину коригувального впливу по мірі встановлення процесу там, де це необхідно. При дії збурень традиційний регулятор може не повною мірою компенсувати їхній вплив, що також змушує розробника вдатися до корекції. Таку можливість дозволяє реалізувати відповідна таблиця правил роботи нечіткого регулятора.

Параметричне включення на практиці використовується рідше і призначене для зміни параметрів традиційного регулятора.

Для різних варіантів включення НР до складу систем стабілізації швидкості будуть розрізнятися і методи їх настроювання. Загальними будуть лише рекомендації з вибору кількості функцій приналежності, їх вигляду, алгоритмам нечіткого виводу та дефаззифікації. При цьому одним з головних критеріїв вибору є простота технічної реалізації. Відмінність методів настроювання буде полягати в різних підходах до складання таблиці правил нечіткого регулятора.

Розглянемо порядок складання таблиці правил на прикладі одноконтурної системи стабілізації швидкості Рис. 1 із прямим і коригувальним включенням НР. На Рис. 1: $К_{РШ}(р)$ – передатна функція регулятора швидкості; СК – система керування; ШІП – широтно-імпульсний перетворювач; ДШ – датчик швидкості; $К_{ДС}(р)$ – передатна функція двигуна по струму; J – момент інерції електроприводу; $С_Е$, $С_М$ – постійні проти-ЕРС та моменту; Е(р) – зображення проти-ЕРС двигуна; $\pm\Delta\overline{W}_З$, $\pm\Delta\overline{U}_{ШІП}(p)$, $\pm\overline{M}_С(p)$ – зображення збурень за завданням, по живленню перетворювача і моменту опору відповідно.



а)

б)

Рис. 1. Система стабілізації швидкості із прямим (а) і коригувальним (б) включенням НР

У роботі [3] запропоновано метод настроювання НР за фазовим портретом помилки для імпульсної системи стабілізації. Однак при роботі в реальних умовах на помилку в

системі $\overline{X}(p)$ окрім сигналу завдання $\overline{W}_З \pm \Delta\overline{W}_З$ також впливають збурювання $\pm \Delta\overline{U}_{ШІП}(p), \pm \overline{M}_С(p)$. Оскільки помилка системи залежить від багатьох змінних, то в загальному вигляді врахувати їхній вплив на кінцевий результат не можливо. При цьому ігнорування зазначених факторів не дозволяє досягти необхідних показників якості процесу регулювання. Як наслідок необхідний метод, який враховує фактор збурень. Вочевидь, що вихідні дані для настроювання містять регулювальна характеристика і фазові портрети помилки системи з урахуванням можливих рівнів збурень.

У системах електроприводів із традиційними регуляторами настроювання виконують спочатку за керуючим впливом, а потім за збуренням. Остаточні висновки щодо параметрів настроювання регуляторів роблять із урахуванням отриманих в такий спосіб результатів. Застосування НР дозволяє виконати настроювання незалежно для кожного із впливів, при цьому воно може проводитися в комплексі – одночасно для всієї сукупності збурень. Це пояснюється тим, що вплив кожного із збурюючих факторів викликає рух системи по відповідних фазових траєкторіях, що перебувають у різних ділянках фазової площини. При наступному складанні таблиці правил роботи НР для цих ділянок фазової площини вибір правил логічного виводу проводиться незалежно.

В роботі [4] були отримані фазові портрети помилки для імпульсної системи стабілізації з урахуванням можливих рівнів керуючих впливів та збурень. Ці фазові портрети отримані для кожного окремо виду збурень.

Розглянемо систему з прямим включенням НР Рис. 1 а. На Рис. 2 побудовано фазовий портрет зазначеної системи, на яку в усталеному режимі впливають збурення по живленню $\pm \Delta\overline{U}_{ШІП}(p)$. На Рис. 2 ділянці траєкторії 1-21 відповідає включення системи і перехід до усталеного режиму (т. 21). Ділянки траєкторій 21-26 і 21-26` відповідають негативному і позитивному стрибку напруги відповідно. З отриманого фазового портрету очевидний взаємозв'язок не тільки між абсолютними значеннями помилки регулювання та її похідної на різних ділянках фазових траєкторій, але й між їхніми знаками. Ця інформація дозволяє реалізувати наступний порядок складання таблиці правил роботи НР.

Настроювання за керуючим впливом проводимо згідно вказівкам, викладеними в роботі [3]. Насамперед з фазового портрету Рис. 2 визначаємо діапазони зміни фізичних змінних $\bar{x}$, $\dot{\bar{x}}$ та розбиваємо їх на ряд нечітких множин з функціями приналежності трикутної і трапецеїдальной форми. Позначимо $A_{1,n}$, $A_{1,n+1}$, $A_{1,n+2}$, $A_{1,n+3}$ – функції приналежності змінної $\bar{x}$, а $A_{2,m}$, $A_{2,m+1}$, $A_{2,m+2}$, $A_{2,m+3}$ – змінної $\dot{\bar{x}}$, де індекси m, n позначають номери їхніх вхідних термінів. Слідом визначаємо центри функцій приналежності для відповідних лінгвістичних термінів: NB, NM, NN, Z, PN, PM, PB.

Фазова траєкторія, як показано на Рис. 2, розбивається на ряд ділянок, що перебувають у межах квадратів з відповідними значеннями лінгвістичних термінів вхідних фізичних змінних $\bar{x}$ та $\dot{\bar{x}}$. Аналізуючи співвідношення між вхідними лінгвістичними термінами можна знайти відповідні терміни вихідної лінгвістичної змінної і значення їх функцій приналежності. З урахуванням сукупності можливих термінів вихідних лінгвістичних змінних складається таблиця правил роботи нечіткого регулятора. Дані для неї являють собою значення лінгвістичних термінів керування, які окреслені колами на Рис. 2. Так, на ділянці фазової траєкторії 1-2 помилка позитивна велика (PB), а її похідна невелика (з різним ступенем приналежності для Z і NN). Таке співвідношення вказує на те, що процес перебуває в початковій стадії розгону, тому для зменшення помилки доцільно організувати позитивне велике значення керуючого впливу – PB. Такі ж терміни керуючого впливу зберігаються і на ділянці 2-3. На ділянці фазової траєкторії 3-5 помилка і швидкість середні, тому керуючий вплив має позитивне середнє значення

(РМ). На ділянці 5-6, 6-7 зі зменшенням помилки і збільшенням швидкості величину керуючого впливу зводимо до нуля (термін Z), тому що процес самостійно рухається з великою швидкістю до стану спокою.

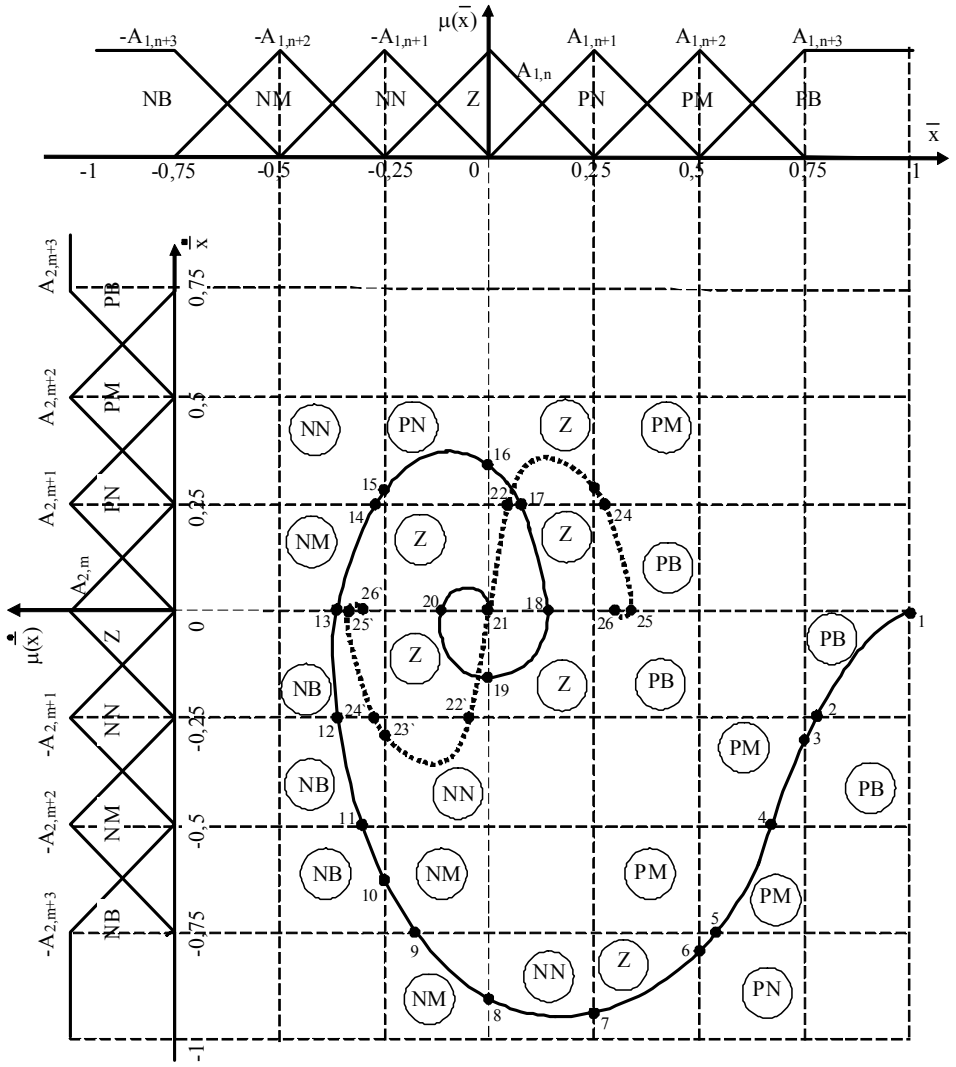


Рис. 2. Фазовий портрет системи з лінгвістичними термінами керування (пряме включення НР)

При наближенні до стану спокою з високою швидкістю (ділянка 7-8) створюємо незначний гальмуючий вплив (термін NN), величина якого підсилюється (терміни NM і NB) зі зміною знаку і зменшенням швидкості помилки (ділянка 8-13). В міру наближення до стану спокою з боку негативних значень помилки (ділянка 13-16) гальмуючий вплив послаблюється (терміни NM і NN), замінюючись незначним розгоном при проходженні стану спокою (термін PN). На ділянці фазової траєкторії 16-21 при малих значеннях помилки і швидкості керуючий вплив відсутній (термін Z) і відбувається вільний рух системи до стану спокою. На цьому настроювання за керуючим впливом можна вважати завершеним.

В усталеному режимі при впливі на систему стрибка живлячої напруги $\pm\Delta\overline{U}_{ШП}(p)$ вона виходить зі стану рівноваги [5]. Ділянки траєкторій 21-26 і 21-26` відповідають негативному і позитивному стрибку напруги відповідно. При виникненні негативного стрибка напруги (провал живлення) відбувається зростання помилки в системі (ділянка 21-26). Для компенсації виникаючої помилки створюється позитивне значення керую-

чого впливу (терміни РМ і РВ). Аналогічно встановлені терміни керуючих впливів і на ділянці фазової траєкторії, яка відповідає позитивному стрибку живлячої напруги (ділянка 21-26`). Для інших комбінацій помилки і її швидкості, які не можуть бути отримані при нормальній роботі системи, необхідно вибирати такі правила, які не дають різких стрибків вихідної функції.

На цьому процес настроювання НР за збуреннями можна вважатися завершеним.

Порядок складання таблиці правил для коригувального включення НР Рис. 1 б подібний описаному вище. Відмінність полягає в тому, що переважний внесок у формування сигналу керування вносить традиційний регулятор, а НР для зазначених комбінацій рівня і швидкості зміни сигналу помилки формує вплив, який коректує вихідний сигнал традиційного регулятора. У цьому випадку застосування НР дозволяє гнучко «дозувати» величину коригувального впливу під час встановлення процесу там, де це необхідно.

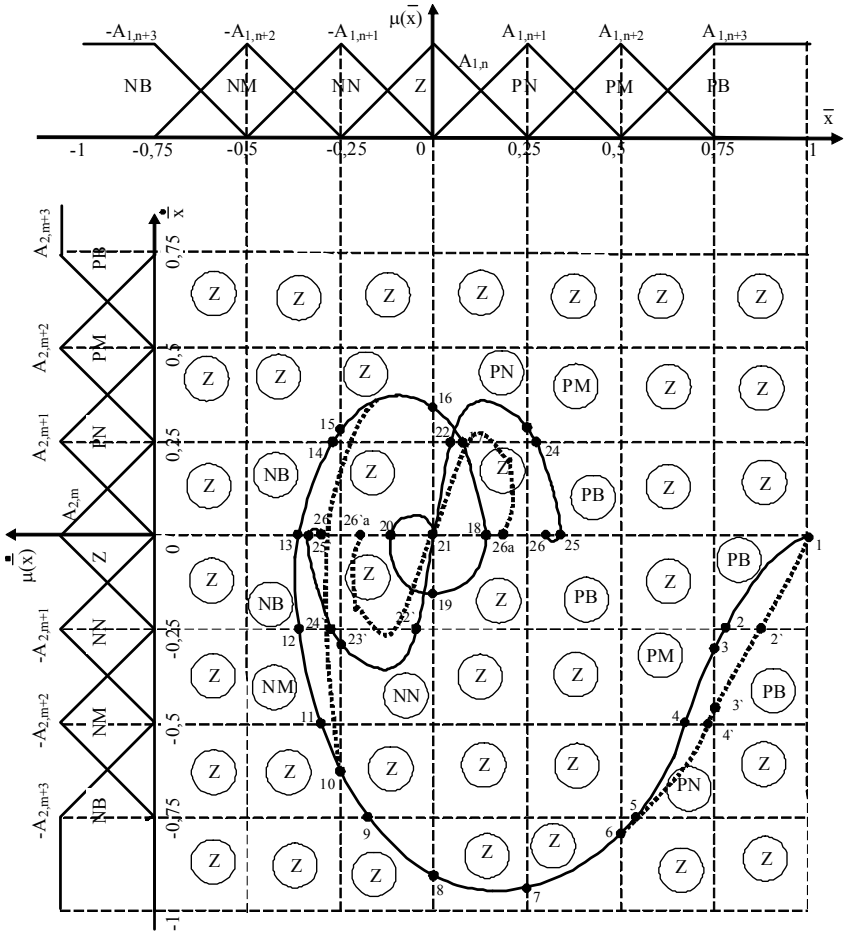


Рис. 3. Фазовий портрет системи з лінгвістичними термінами керування (коригувальне включення НР)

Так, на ділянці 1–2 Рис. 3 помилка позитивна велика (РВ), а її похідна невелика (Z і NN). Таке співвідношення вказує на те, що процес перебуває в початковій стадії розгону, тому для його прискорення доцільно додатково організувати позитивне велике значення керуючого впливу – РВ. На ділянках 2-3-4-5 зі зменшенням помилки і збільшенням швидкості величину керуючого впливу зводимо до нуля (термін Z), тому що процес самостійно рухається з великою швидкістю до стану спокою і не вимагає додаткової корекції. В міру наближення до стану спокою з високою швидкістю і його прохо-

дження (ділянки 11-12-13 і 13-14-15) створюємо додатковий гальмуючий вплив, величина якого спочатку підсилюється (терміни NM і NB), а потім зі зміною знака швидкості помилки подібним чином послабляється (терміни NB і NM). Результат корекції на Рис. 3 представлений пунктирною лінією.

Поряд із цим при дії збурень (наприклад, по живленню) традиційний регулятор може не повною мірою компенсувати їхній вплив (ділянки 21-26 і 21-26`), що також змушує нас вдатися до корекції (терміни PN, PM, PB і NN, NM, NB відповідно і результат корекції – ділянки 21-26a, 21-26`a).

Таким чином, на підставі описаної послідовності дій, отримані таблиці правил роботи НР для різних способів його включення до складу систем стабілізації. Перевірка отриманих результатів проводилася з використанням математичної моделі системи стабілізації швидкості на прикладі коригувального включення НР. Структура використовуваної Matlab моделі представлена на Рис. 4, а на Рис. 5 – діаграми її роботи. Настроювання моделі НР проведене з використанням отриманих таблиць правил.

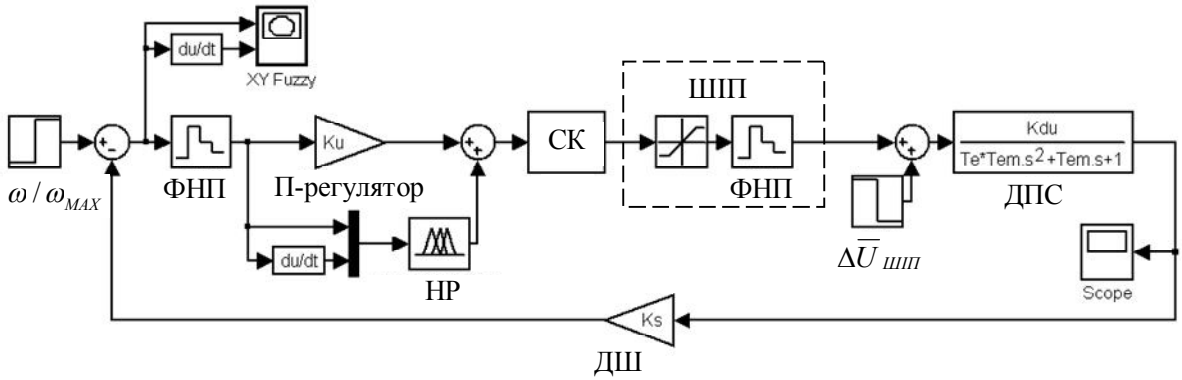
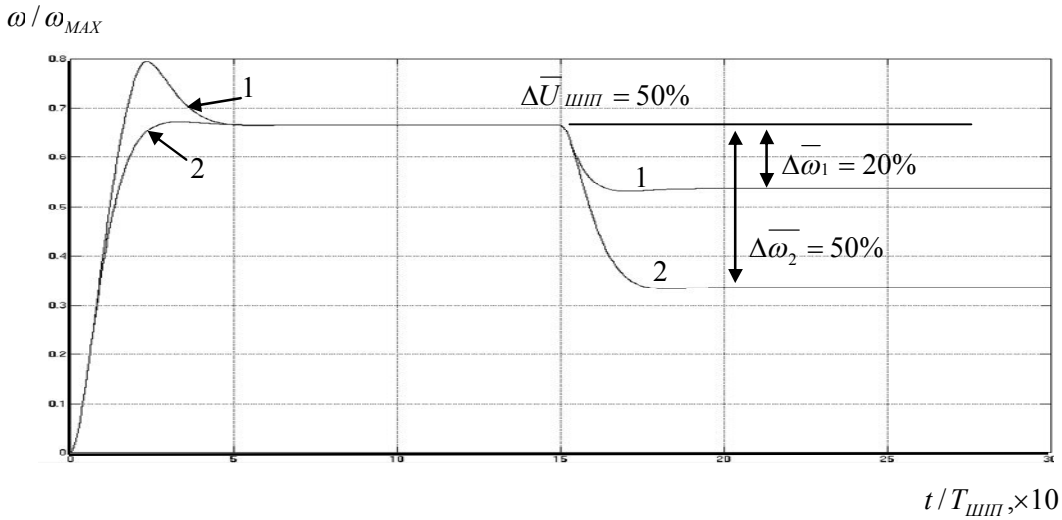


Рис. 4. Matlab модель системи стабілізації швидкості з коригувальним включенням НР



1- П-регулятор і НР у коригувальному включенні; 2 - П-регулятор
Рис. 5. Діаграми роботи системи стабілізації швидкості

Як бачимо з Рис. 5 корекція дозволила підвищити швидкість розгону двигуна на етапі старту, а також на 30% зменшити провал швидкості при зниженні напруги живлення перетворювача на 50% відносно початкової величини. Результат корекції показаний на прикладі системи стабілізації із пропорційним регулятором, але запропонований метод

має універсальний характер і дозволяє виконати настроювання НР для спільної роботи з будь-яким типом використовуваних регуляторів.

Висновки

З використанням запропонованого методу, який враховує вплив збурень на помилку системи регулювання, отримані таблиці правил настроювання нечіткого регулятора для роботи в прямому і коригувальному включенні.

Проведене моделювання роботи системи стабілізації швидкості з коригувальним включенням нечіткого регулятора, результати якого показали, що настроювання нечіткого регулятора за отриманими таблицями правил дозволяє компенсувати вплив на помилку системи збурень по живленню і підвищити якість процесу стабілізації швидкості.

Список літературних джерел

1. IEC 1131-Programmable controllers. Part 7 – Fuzzy control programming. Committee Draft CD 1.0 (Rel. 19 Jan 97). – 53 p.
2. Денисов А.И., Денисов Ю.А. Современное состояние и перспективы развития электропривода // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск "Проблеми сучасної електротехніки". – 2006. – Ч. 6. – С. 46-48.
3. Денисов Ю.А., Иванец С.А. Фаззи-регулятор для вертикальных систем импульсно-фазового управления вентильными преобразователями // Технічна електродинаміка. – 2003. – № 3. – С. 19-24.
4. Денисов Ю.А., Заровский Р.В. Применение метода фазовой плоскости для оценки диапазонов изменения физических переменных фаззи-регулятора в импульсной системе стабилизации // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск "Проблеми сучасної електротехніки". – 2004. – Ч.5. – С. 77-82.
5. Заровский Р.В. Системы точного электропривода малой мощности на основе вентильных двигателей с постоянными магнитами. Дис. канд. техн. наук: 05.09.03/ИЭД НАН Украины. – К., 2008. – 172 с.

УДК 621.314.58

О.А. Велігорський, канд. техн. наук
Р.В. Заровський, канд. техн. наук
Ю.М. Валевач, студент

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ОЦІНКА ВПЛИВУ АВТОНОМНИХ ІНВЕРТОРІВ НАПРУГИ НА МЕРЕЖУ ЖИВЛЕННЯ

Розглянуто розрахунок перехідних процесів в мостовій схемі автономного інвертора напруги (АІН) з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ), отримані значення вхідного та вихідного струмів для перших трьох півперіодів роботи схеми. Розглянута Matlab-модель даної схеми інвертора, для якої досліджено спектри вхідного струму та вихідної напруги.

Постановка проблеми

Автономні інвертори напруги (АІН) представляють великий клас пристроїв силової електроніки, які є досить поширеними в багатьох сферах людської діяльності, починаючи з джерел безперебійного живлення (ДБЖ) персональних комп'ютерів і закінчуючи системами промислового електроприводу та резервними джерелами живлення цілих будівель. Тому параметрам силових інверторів приділялася завжди значна увага. Основними напрямками наукової діяльності за останні десятиліття була розробка нових принципів управління, використання нової елементної бази для покращення якості вихідної напруги, збільшення коефіцієнта корисної дії (ККД) та зменшення масо-габаритних показників інверторів. Але при цьому досить мало уваги приділялося впливу інверторів напруги на живлячу мережу (виключення становлять високопотужні промислові системи корекції коефіцієнта потужності).

Вплив автономних інверторів напруги на мережу живлення мало досліджений, хоча цей вплив може призвести до значного спотворення напруги в мережі і до збою в роботі інших пристроїв, під'єднаних до мережі, особливо це стосується інверторів високої потужності, оскільки вони вносять найбільш суттєву долю завад в мережу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Можливі структури топологій автономних інверторів і алгоритми керування ключовими елементами були досліджені ще в 70-х 80-х роках і детально розглянуті в [1-5].

В результаті досліджень було встановлено, що найвищу якість вихідної напруги, яка оцінюється коефіцієнтом гармонік, можна отримати в інверторах модуляційного типу. Основні закони управління ключами, що використовуються в таких схемах – це широтно-імпульсна модуляція (ШІМ) та амплутудно-імпульсна модуляція (АІМ), а також їх комбінації. За допомогою АІМ при однаковій кількості імпульсів можна отримати менший коефіцієнт гармонік, ніж для ШІМ, але вона значно складніша в практичній реалізації, тому найбільше поширення отримала ШІМ. Досить простим і водночас ефективним є метод ШІМ по синусоїдальному закону, який і буде надалі використовуватись для досліджень.

За останні десятиліття була вдосконалена елементна база інверторів модуляційного типу, наприклад, тиристори були витіснені більш досконалими MOSFET- IGBT-транзисторами, що на сьогоднішній день дозволяє досягти частоти перемикання ключів десятків і сотень кілогерц. Проте, основні схеми силової частини перетворювачів і алгоритми керування силовими ключами залишаються такими ж.

Оптимальною топологією для потужності більше сотні ват є мостова схема, в першу чергу з міркувань масо-габаритних показників.

Напрямки досліджень автономних інверторів напруги за останні роки в основному стосуються покращення якості вихідної напруги, розробки нових методів керування та оцінки впливу на мережу [6,7]. Для автономних інверторів модуляційного типу спектр вихідної напруги досить детально досліджений [3], в той час як аналіз вхідного струму майже не проводився. Тому задача оцінки впливу інверторів напруги на мережу живлення на сьогоднішній день є актуальною.

Цілі статті

Метою роботи є оцінка впливу мостової схеми автономного інвертора напруги з ШІМ-модуляцією на мережу живлення постійного та змінного струму, а також розробка рекомендацій по зменшенню негативного впливу АІН на живлячу мережу.

Розрахунок процесів в АІН

Найбільш простим й досить ефективним є синусоїдальний закон широтно-імпульсної модуляції. Цей закон реалізується шляхом порівняння двох сигналів – опорного (синусоїдального, 1 на рис.1) та модулюючого (пилкоподібного чи трикутного, 2 на рис.1).

При цьому ключі перемикаються в моменти рівності одного сигналу з іншим, результуюча форма вхідної напруги інвертора показана на рис.2. Для спрощення розрахунків частота ШІМ була прийнята 500 Гц.

В даній роботі для мостової схеми АІН з ШІМ (рис.3) був виконаний розрахунок в операторній формі перехідних процесів для окремих інтервалів роботи ключових елементів, що показані на рис.2, а потім за допомогою методу припасовування була отримана форма вхідного и вихідного струму інверторів для перших трьох півперіодів роботи схеми.

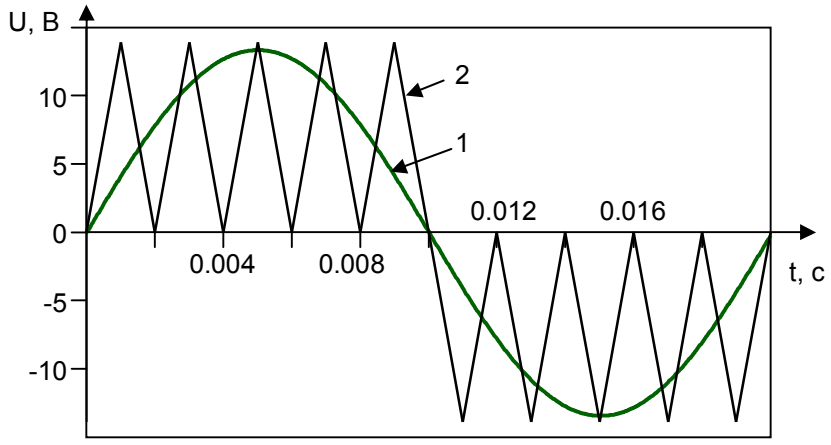


Рис.1. Синусоїдальний закон ШІМ

Інтервали часу між моментами комутації можна розрахувати, якщо визначити моменти перемикання ключів. Для цього потрібно розв'язати наступну систему рівнянь відносно t:

$$\begin{cases} \frac{2}{T}(t-kT)=\sin(2\pi ft), t \le \frac{T}{2}+kT \\ -\frac{2}{T}(t-(k+1)\cdot T)=\sin(2\pi ft), t > \frac{T}{2}+kT \end{cases}, \quad (1)$$

де T – період модулюючого трикутного сигналу;
f – частота опорного синусоїдального сигналу;
k – номер періоду трикутного сигналу.

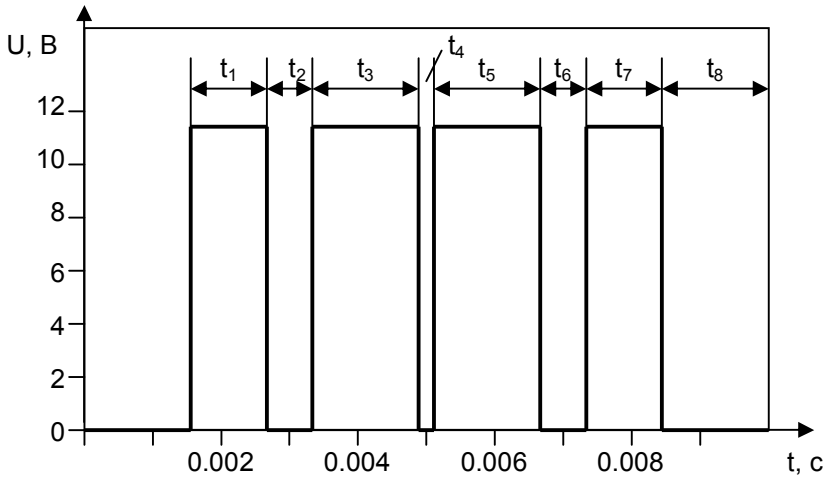


Рис. 2. Форма вхідної напруги інвертора

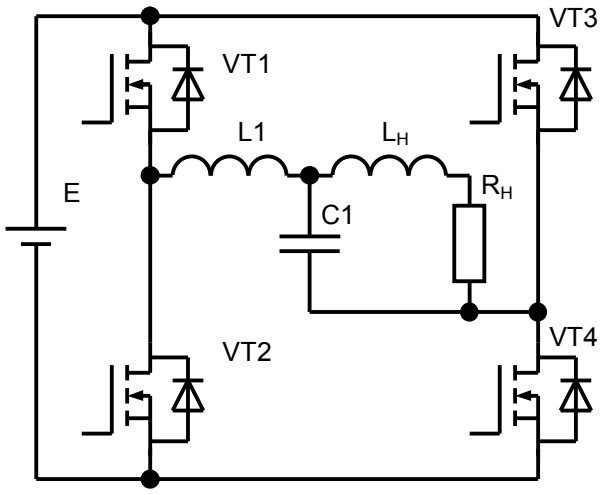


Рис. 3. Мостова схема АІН з ШІМ

Оскільки на початку періоду на вході інвертора відсутня напруга і параметри схеми при цьому не змінюються, то розрахунок почнемо з першого імпульсу вхідної напруги, – імпульсу тривалістю t_1. Для розрахунку перехідних процесів на кожному інтервалі скористаємося методом контурних струмів і матричного аналізу, для чого схему вихідної ланки інвертора представимо в еквівалентному операторному вигляді (рис.4).

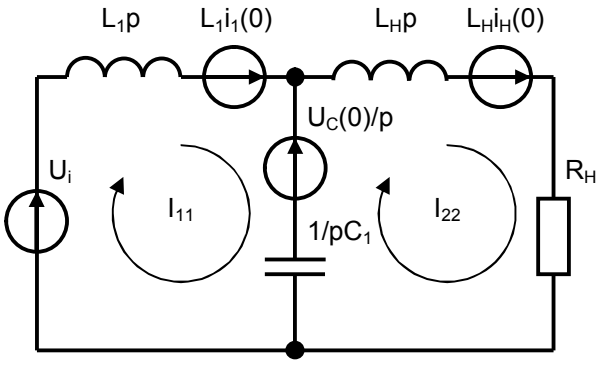


Рис. 4. Еквівалентна операторна схема вихідного фільтра і навантаження інвертора

Матриця опорів для такої схеми має вигляд:

$$[R]=\begin{bmatrix} pL_1+\dfrac{1}{pC_1} & \dfrac{1}{pC_1} \\ -\dfrac{1}{pC_1} & pL_H+R_H+\dfrac{1}{pC_1} \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Вектор джерел напруги становить:

$$[E]=\begin{bmatrix} \dfrac{U_i}{p}+L_1 i_1(0)-\dfrac{U_c(0)}{p} \\ \dfrac{U_c(0)}{p}+L_2 i_2(0) \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Після знаходження оберненої матриці опорів, шляхом перемноження її на вектор джерел напруги, розрахуємо матрицю струмів, яка буде містити вхідний струм $I_{BX}= I_{1,1}$ та струм навантаження $I_H= I_{2,2.}$

Вхідний струм в загальній операторній формі виражається:

$$I_{BX}=\frac{L_1L_2C_1i_1(0)p^3+(L_1R_HC_1i_1(0)+L_2C_1(U_i-U_c(0)))p^2+}{(L_1L_2C_1p^3+L_1R_HC_1p^2+(L_1+L_2)p+R_H)p} \quad (4)$$
$$\underline{+(R_HC_1(U_i-U_c(0))+L_1i_1(0)+L_2i_2(0))p+U_i}$$

Струм в навантаженні описується наступним рівнянням:

$$I_H=\frac{L_1L_2C_1i_2(0)p^3+(L_1C_1U_c(0))p^2+(L_1i_1(0)+L_2i_2(0))p+U_i}{(L_1L_2C_1p^3+L_1R_HC_1p^2+(L_1+L_2)p+R_H)p}. \quad (5)$$

Далі, застосувавши зворотне перетворення Лапласа до рівнянь (4) та (5) і врахувавши початкові умови для кожного інтервалу, отримаємо часові залежності струму навантаження I_H (рис.5) і вхідного струму I_{BX} (рис.6). Так, наприклад для інтервалу часу t_1 при C_1=2·10^{-3} Ф, L_1=1·10^{-3} Гн, L_H=0.5·10^{-3} Гн, $i_{[1]}(0)$=0, $i_{[2]}(0)$=0, U_i=12 В R_H=0.72 Ом, $Uc(0)$=0, маємо:

$$I_{вх1}=-7{,}87e^{-733{,}36t}-4{,}39e^{(-353{,}31-925{,}71j)t}+1{,}68je^{(-353{,}31-925{,}71\cdot j)t}- \quad (6)$$
$$-4{,}39e^{(-353{,}31+925{,}71\cdot j)t}-1{,}68je^{(-353{,}31+925{,}71\cdot j)t}+16{,}66,$$

де $j=\sqrt{-1}$.

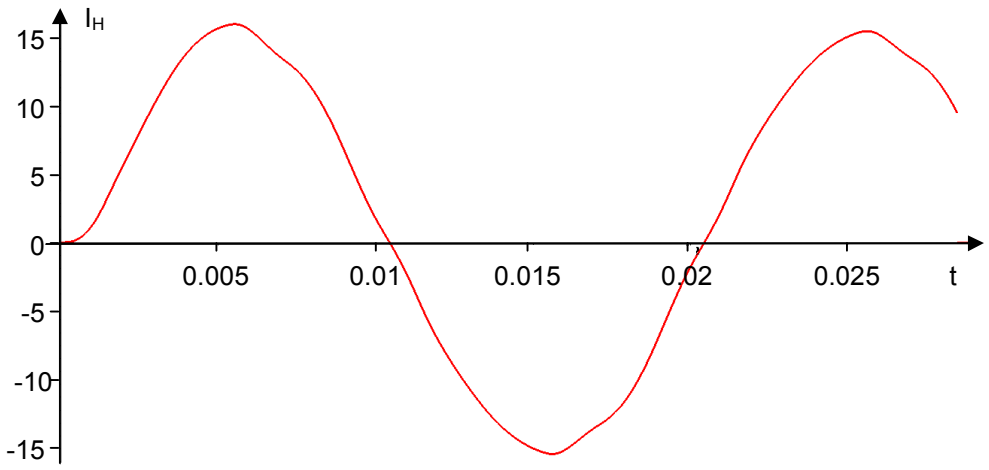


Рис. 5. Часова діаграма струму в навантаженні – аналітичний розрахунок

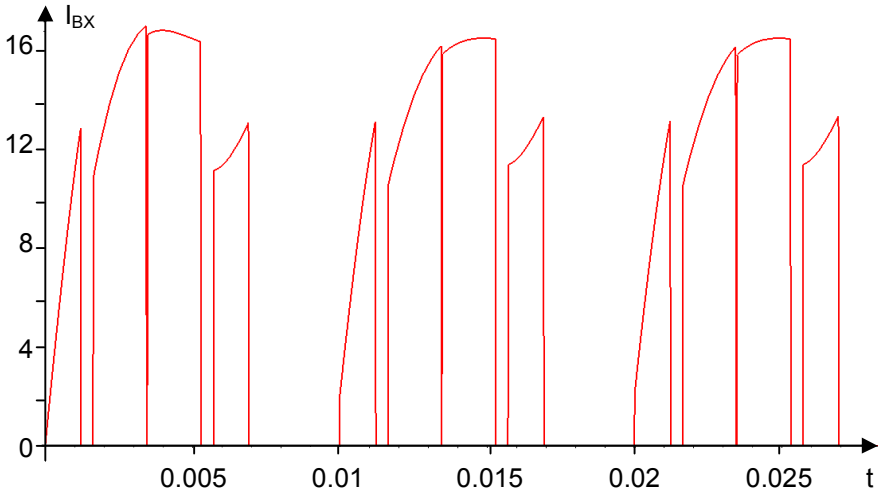


Рис. 6. Часова діаграма струму джерела – аналітичний розрахунок

За аналогічною методикою, враховуючи відповідні початкові умови, були розраховані складові струмів на наступних інтервалах.

З порівняння струмів навантаження (рис.5) та джерела (рис.6) інвертора, видно, струм в навантаженні має квазісинусоїдальну форму, в той час як вхідний струм – суттєво спотворений, причиною чого є особливості комутації транзисторів VT1 – VT4 (рис.3).

Моделювання АІН в Matlab

На наступному етапі досліджень була розроблена модель мостового інвертора в програмі Matlab Simulink (рис.7), в якій використовується ШІМ з частотою 50 кГц.

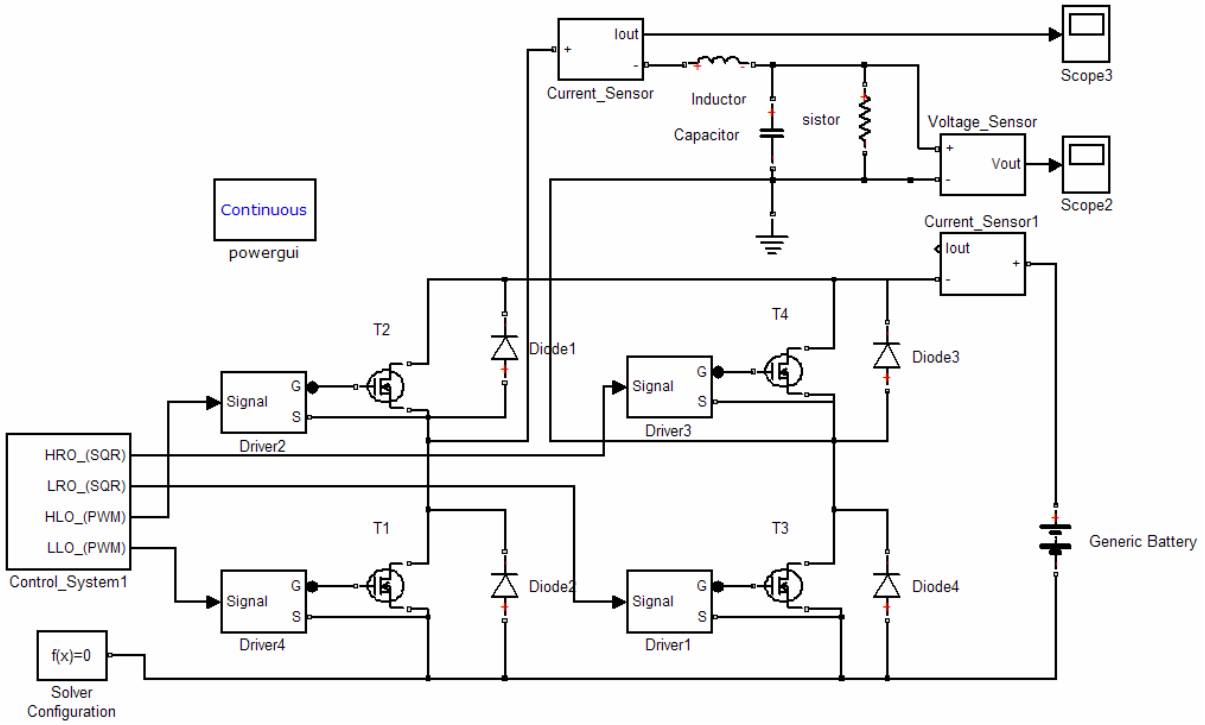
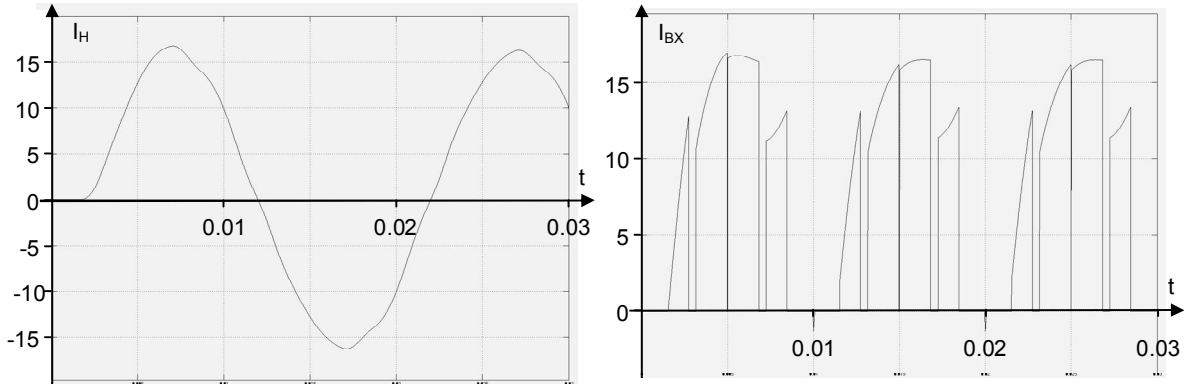


Рис. 7. Модель автономного інвертора напруги в Matlab Simulink

Як видно з рис.8, на якому представлені часові залежності струмів, Matlab-модель і аналітичний розрахунок при однакових параметрах схеми дають однаковий результат

як кількісно, так і якісно. Єдина відмінність аналітичного методу – він не враховує зворотний викид струму, який буде втікати в джерело (моменти часу 0.01, 0.02, …, 0.01·n на рис.8б).



а) *б)*

Рис. 8. Результати моделювання інвертора напруги: часова залежність струму в навантаженні (а), часова залежність струму джерела (б)

Зазначений вище зворотний викид струму потрібно враховувати в деяких схемах, оскільки протікання струму в джерелі в зворотному напрямі може призвести до його виходу з ладу.

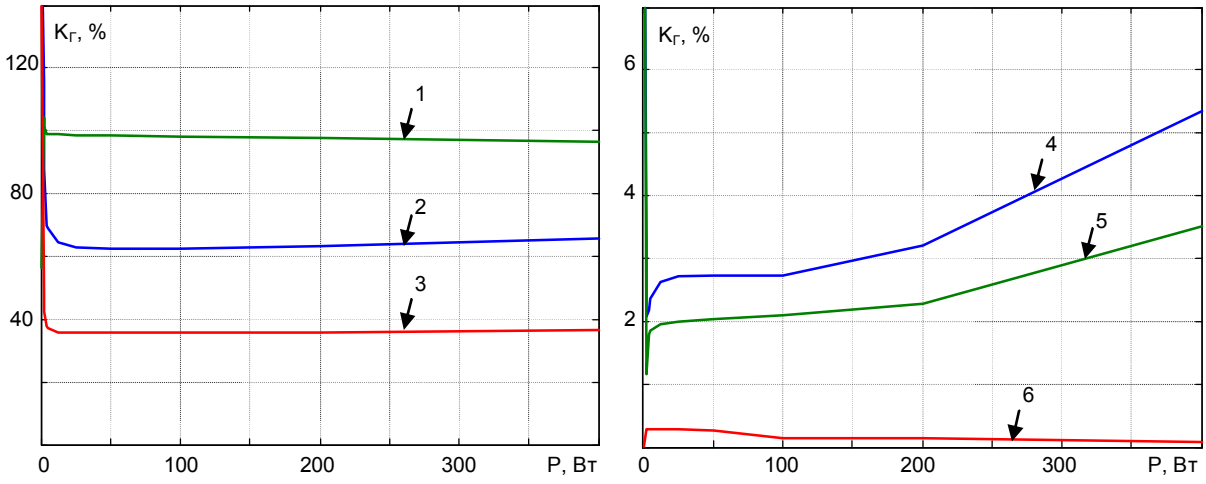
Якщо ж в якості джерела живлення для інвертора виступатиме джерело, в якому струм не може протікати в зворотному напрямку, наприклад, діодний випрямляч, то потрібно передбачити спеціальну електричну ланку, в яку буде відгалужуватися цей струм. Без розсіювання енергії цього струму може виникнути значний сплеск напруги на ключових елементах схеми, що негайно виведе їх з ладу.

Для оцінки впливу автономного інвертора на мережу живлення на основі моделі (рис.7), були досліджені наступні параметри:

- амплітуда зворотного сплеску струму $I_{зв}$;
- коефіцієнт гармонік струму джерела $K_{Г\ Ідж}$, виражений у відсотках відносно складової з частотою 100 Гц;
- величина постійної складової струму джерела $I_{ПОСТ.ДЖ.}$, виражена у відсотках відносно складової з частотою 100 Гц;
- амплітуда гармоніки струму джерела з частотою 50 кГц $I_{Г\ 50К}$, виражена у відсотках відносно складової з частотою 100 Гц;
- коефіцієнт гармонік напруги на навантаженні $K_{Г\ Uн.}$, виражений у відсотках відносно складової з частотою 50 Гц;
- амплітуда гармоніки напруги на навантаженні з частотою 150 Гц $U_{г.150}$, виражена у відсотках відносно складової з частотою 50 Гц;
- амплітуда гармоніки напруги на навантаженні з частотою 50 кГц $U_{г.50к}$, виражена у відсотках відносно складової з частотою 50 Гц.

Графічні залежності цих величин від потужності навантаження інвертора ($P_Н$) представлені на рис.9, 10.

Як видно з рис.9а, найбільш важливий показник якості – коефіцієнт гармонік струму джерела $K_{Г\ Ідж}$ – приймає найменше значення (біля 62,5%) в діапазоні навантажень від 25 до 100 Вт. Подальше збільшення навантаження призводить до незначного збільшення $K_{Г\ Ідж}$. Коефіцієнт гармонік напруги на навантаженні $K_{Г\ Uн}$ приймає найменше значення при $P_Н$=2,5 Вт, і також зростає при збільшенні навантаження.



а) *б)*

Рис. 9. Залежність параметрів струму джерела (а) і вихідної напруги (б) від потужності навантаження, 1 – $I_{ПОСТ.ДЖ}$, 2 – $K_{Г\,1дж}$, 3 – $I_{Г\,50К}$, 4 – $K_{Г\,Uн}$, 5 – $U_{Г\,150}$, 6 – $U_{Г\,50К}$

Амплітуда зворотного викиду струму джерела (рис.10) при P_H>150 Вт майже лінійно зростає при збільшенні потужності навантаження. Нелінійність спостерігається лише при невеликих значеннях P_H.

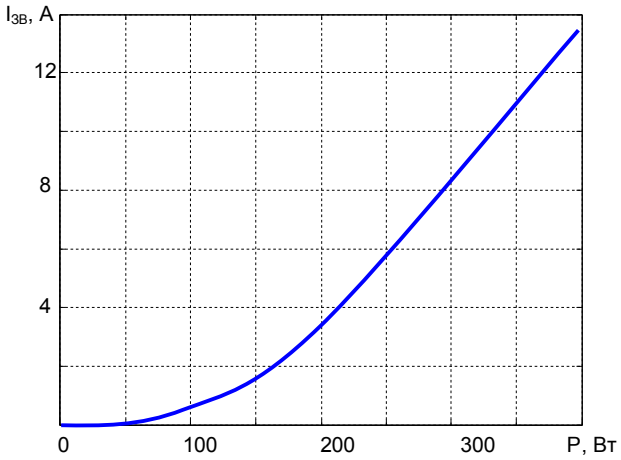


Рис. 10. Амплітуда зворотного сплеску струму джерела в залежності від потужності навантаження

Типовий спектр вхідного струму інвертора при P_H=200 Вт показаний на рис.11. Основний внесок вносять основна гармоніка 100 Гц (подвійна частота вихідної напруги) та частота синусоїдальної ШІМ 50 кГц. Амплітуда всіх інших високочастотних складових не перевищує 15% від основної гармоніки.

Висновки і пропозиції

1. Аналітичний розрахунок за методом контурних струмів часових характеристик (струмів джерела та навантаження), і моделювання в пакеті Matlab показали однакові якісні та кількісні результати.

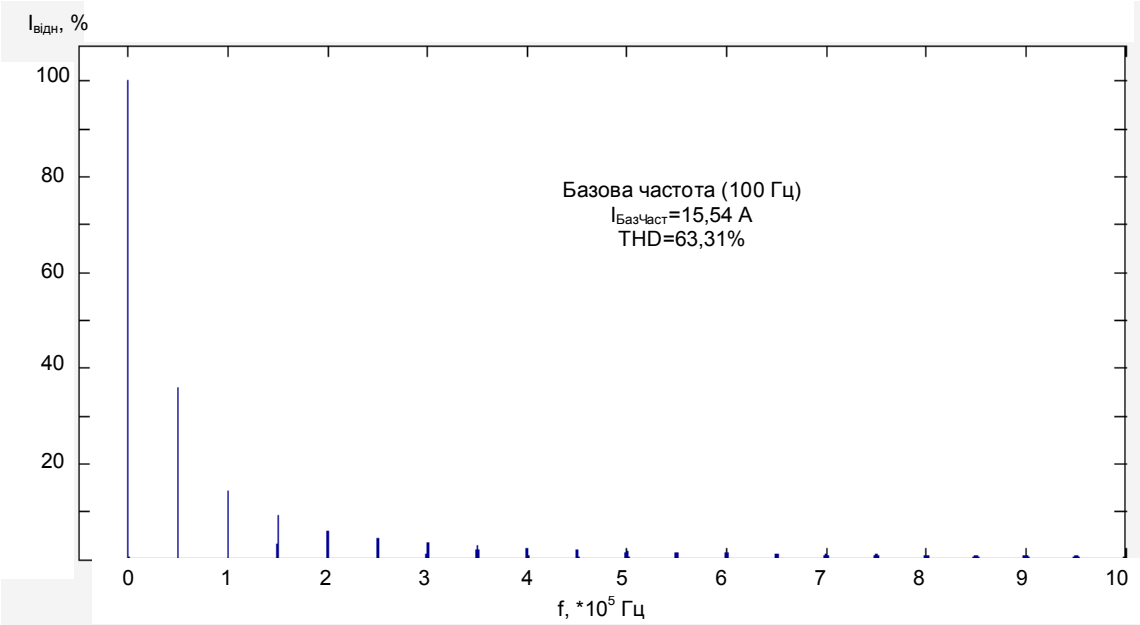


Рис. 11. Спектр струму джерела при P_H=200 Вт

2. Найнижчий коефіцієнт гармонік струму, розрахований відносно частоти 100 Гц, лежить в області низьких коефіцієнтів гармонік вихідної напруги і становить 62,5% при P_H=25…100 Вт; при збільшенні P_H коефіцієнт гармонік незначно зростає.

3. При значній величині навантаження виникає викид зворотного струму джерела, який потрібно враховувати під час розробки інверторів, його амплітуда майже лінійно зростає при збільшенні потужності навантаження в діапазоні P_H>150 Вт.

4. Спектр вхідного струму простої мостової схеми інвертора складається з двох основних складових за частотами, що дорівнюють 100 Гц (подвоєна частота вихідної напруги) та 50 кГц (частота модуляції), а також вищих гармонік.

Список літературних джерел

1. Розанов Ю.К. Основы силовой электроники. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 296 с.
2. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника. – М.: Техносфера, 2005. – 632 с.
3. Тонкаль В.Е. Синтез автономных инверторов модуляционного типа. – К.: Наук. Думка, 1979. – 207 с.
4. Руденко В.С., Сенько В.И., Чиженко И.М. Преобразовательная техника. – 2-е изд., перераб., и доп. – К.: Вища школа, 1983. – 431 с.
5. Моин В.С. Стабилизированные транзисторные преобразователи. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 376 с.
6. Ramon O. Caceres. A Boost DC-AC Converter: Operation, Analysis, Control and Experimentation / Ramon O.Caceres, Ivo Barbi // IEEE Transaction On Power Electronics. – 1999. Vol. 14, №1. – P.134-141.
7. Pablo Sanchis. Boost DC–AC Inverter: A New Control Strategy / Pablo Sanchis, Alfredo Ursæa, Eugenio Gubía, Luis Marroyo // IEEE Transaction On Power Electronics. – 2005. Vol. 20, №2. – P. 343-353.

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.4

Акименко А.М., канд. фіз.-мат. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м.Чернігів, Україна

ВИКОРИСТАННЯ UML ПІД ЧАС ПРОЕКТУВАННЯ СКЛАДНИХ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ.

Розглянуто модель складної програмної системи, що формується за допомогою діаграм Universal Modeling Language (UML). Запропоновано методики застосування діаграм UML для різних стратегій конструювання складних програмних систем. Визначено особливості застосування запропонованих методик.

Постановка проблеми

Сучасна практика програмування вимагає вдосконалення прийомів розробки програмного забезпечення, прискорення та полегшення процесу його проектування. При цьому програмні засоби повинні бути орієнтовані на тривалу роботу з користувачем. Це ставить перед розробниками завдання, що спрямовані не тільки на виконання технологічних вимог до програмної системи, а й застосування сучасних методів програмної інженерії для розробки програмного забезпечення.

Аналіз сучасних досліджень і публікацій

Особливі можливості в цьому контексті надає об'єктно-орієнтована методологія і відповідне середовище проектування та програмування, що дозволяє швидко конструювати програмний засіб, використовуючи вже існуючі компоненти та моделюючи майбутню програмну систему.

Об'єктно-орієнтована технологія базується на так званій об'єктній моделі [1]. Основними її принципами є: абстрагування, інкапсуляція або обмеження доступу, модульність, ієрархічність, типізація, паралелізм та стійкість. Кожний з цих принципів сам по собі не є новим, але в об'єктній моделі вони вперше застосовані всі разом.

Основним недоліком об'єктно-орієнтованої технології програмування є зниження швидкості роботи середовища через більш складну організацію програмної системи. Але цей недолік не має критичного значення при урахуванні сучасного стану розвитку комп'ютерної техніки.

Процес розробки складної програмної системи на основі об'єктної моделі містить такі етапи, як аналіз, проектування, конструювання та супровід [2].

При цьому під аналізом розуміють роботи з метою формування функціональних вимог та обмежень майбутньої програмної системи. Метою аналізу є максимально повний опис поставленої задачі. На цьому етапі аналізується предметна область задачі, виконується об'єктна декомпозиція програми та визначаються особливості поведінки об'єктів. За результатами аналізу розробляється структурна схема програми, описуються об'єкти та події над ними.

Проектування – це діяльність, що спрямована на досягнення визначеного результату при заданих обмеженнях по ресурсах і термінах, а також вимогах до якості і допустимого рівня ризику. В результаті проектування предметні сутності проблемного середовища представляються системою взаємопов'язаних логічних об'єктів.

Конструювання – процес дій по:

– створенню програмної системи;

– реалізації проекту;

– перетворенню логічних об'єктів проекту у відповідні програмні або технічні сутності – принципові схеми, протоколи, тексти програм, схеми баз даних, і т.п.

Для вирішення завдань по аналізу, проектуванню та конструюванню складної програмної системи може бути застосована найбільш поширена на сьогоднішній день нотація UML.

Постановка завдання

Метою роботи є вивчення методики застосування діаграм UML на стадіях аналізу та проектування під час використання різних стратегій конструювання складних програмних систем.

Виклад основного матеріалу дослідження

Як було зазначено, на сьогоднішній день UML є найпоширенішим засобом для проведення та оформлення результатів аналізу та проектування програмних систем, підтримання процесу конструювання і супроводу програмного забезпечення, а також організації спілкування між виконавцем і замовником на всіх стадіях взаємодії з приводу розробки та супроводу програмного продукту [3].

На стадії аналізу з допомогою UML формулюються функціональні вимоги та обмеження майбутньої системи.

На стадії проектування предметні сутності втілюються в логічні об'єкти, що задовольняють канонам об'єктно-орієнтованого програмування, а відповідні діаграми показують їх взаємодію.

На стадії конструювання на основі отриманої моделі створюється програмний код.



Рис. 1. Схема взаємних зв'язків моделей и представлень складної системи в процесі об'єктно-орієнтованого аналізу и проектування.

В UML всі представлення про модель складної системи (рисунок 1) фіксуються у вигляді спеціальних графічних конструкцій, які отримали назву діаграм. В стандарті UML визначені наступні діаграми [4]:

1. Діаграма варіантів використання.
2. Діаграма класів.
3. Діаграми поведінки:

- діаграма станів,
- діаграма діяльності.

4. Діаграми взаємодії:
   - діаграма послідовності,
   - діаграма кооперації.
5. Діаграми реалізації:
   - діаграма компонентів,
   - діаграма розміщення.

Така концепція UML-моделі складної системи дозволяє отримати відповіді на типові питання, пов'язані з функціонуванням програмної системи, тобто:

– яке функціональне призначення програмного продукту,
– яким чином досягається виконання системою її функції,
– які інформаційні та матеріальні потоки пов'язані з системою та забезпечують її функціонування.

Створюючи UML, його розробники розуміли, що ключовим питанням під час використання мови моделювання повинна бути зручність та адаптивність до різноманітних умов, які виникають в процесі створення програмного забезпечення (ПЗ). Тому, на наш погляд, методику застосування UML необхідно розглядати в контексті застосування тієї чи іншої стратегії конструювання ПЗ. Під методикою, в даному випадку, слід розуміти порядок розробки діаграм на стадіях аналізу та проектування складних програмних систем.

На сьогоднішній день найпоширенішими стратегіями є [5]:

– водоспадна – лінійна послідовність виконання етапів конструювання ПЗ;
– інкрементна – конструювання виконується у вигляді створення послідовності версій програмного продукту. Кожна наступна версія повинна все більше відповідати остаточному продукту;
– еволюційна – програмний продукт будується у вигляді послідовності версій, але вимоги до нього уточнюються поступово.

Кожна з цих стратегій має свої характерні особливості, які і відрізняють їх одна від іншої. Методика застосування UML повинна враховувати ці особливості для організації процесу керування створенням програмного забезпечення.

Методика використання UML, яку можна назвати класичною або традиційною, наведена на рисунку 2. Такий підхід може застосовуватися як у випадку застосування водоспадної стратегії конструювання ПЗ, так і інкрементної. Які ж особливості методики дають можливість це зробити? По-перше, виділені стадії, що відповідають стратегіям конструювання (аналіз, проектування). По-друге, чітко визначена послідовність розробки діаграм UML. По-третє, методика дозволяє у випадку її застосування для інкрементної стратегії оптимізувати процес розробки моделі системи шляхом зменшення кількості діаграм, що розробляються, на початкових циклах конструювання.

Ще одним з позитивних моментів даної методики можна вважати те, що у разі її використання під час конструювання системи, яка не вважається складною, перелік діаграм, що повинні бути розроблені для створення повноцінної моделі, скорочується до трьох. Тобто, необхідними залишаються: діаграма варіантів використання, діаграма класів та діаграма компонентів. Розробник має можливість вирішити, чи влаштовує його даний рівень деталізації. У іншому випадку є можливість розглянути систему або її частину більш детально, розробивши необхідні діаграми.

На початку роботи над проектом і у випадку застосування водоспадної і інкрементної стратегії обов'язковим етапом є етап аналізу поставленої задачі. Згідно з методикою результати проведеного аналізу слід оформлювати за допомогою діаграми варіантів ви-

користання. Ця діаграма відповідає одному з класичних підходів об'єктного аналізу, який має назву аналіз варіантів.

Наступним кроком є розробка діаграми класів. Цей крок відноситься вже до стадії проектування. Діаграма класів розробляється з метою представлення статичної структури моделі системи в термінології класів. Для водоспадної стратегії характерним є те, що діаграма класів розробляється у класичній нотації та повинна враховувати всі особливості системи. Для інкрементної стратегії допустимим є те, що на початкових етапах проектування діаграма може тільки приблизно відповідати майбутній системі.

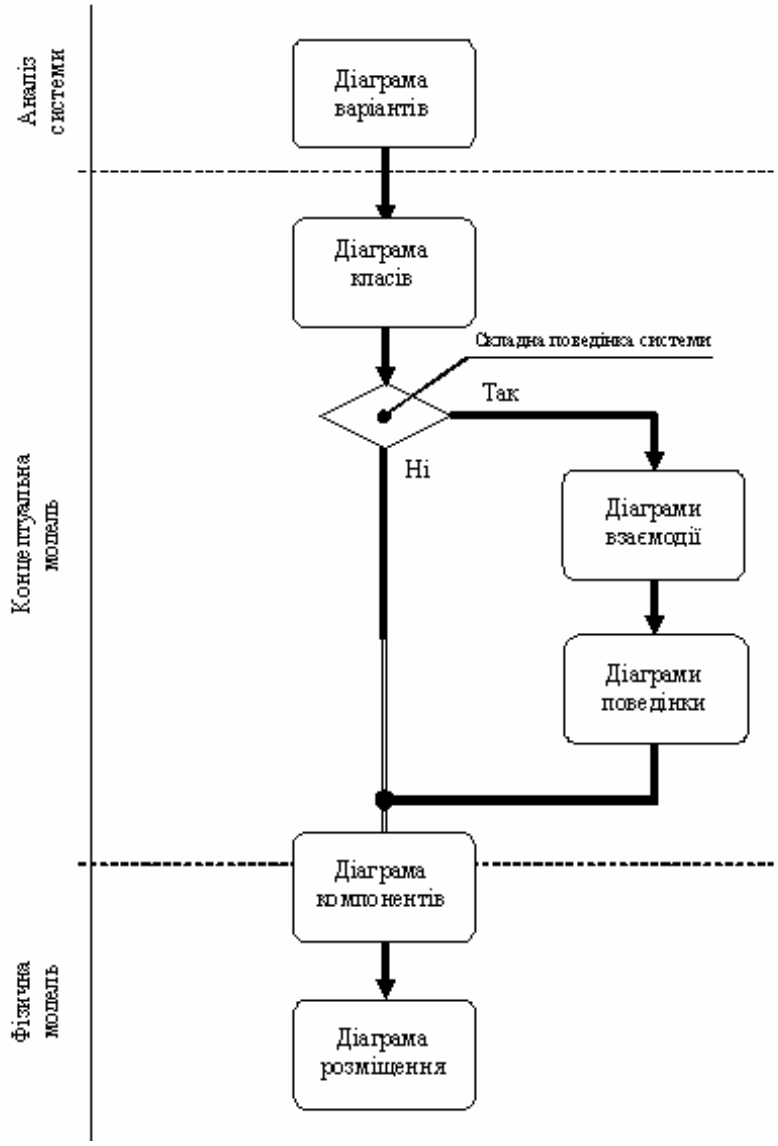


Рис. 2. Класична методика побудови моделі програмної системи за допомогою діаграм UML.

Діаграма класів аналізується і на основі проведеного аналізу формується висновок про необхідність створення діаграм поведінки та діаграм взаємодії. Для водоспадної стратегії це має вирішальне значення тому, що модель системи може не включати діаграм цих груп у випадку, коли поведінка класів не є складною. У випадку застосування інкрементної стратегії на початкових етапах ці групи діаграм взагалі можна не розглядати, а приступати відразу до побудови фізичної складової моделі системи. На більш

пізніх етапах проектування все ж таки аналіз поведінки проводити необхідно, після чого і приймається відповідне рішення.

Фізична складова моделі системи буде включати в себе дві діаграми: компонентів та розміщення. Діаграма компонентів є зв'язуючою між концептуальною та фізичною складовою, тому її розробка обов'язкова. Діаграма розміщення розробляється тільки у випадку створення розподіленої програмної системи.

Інший підхід при застосуванні еволюційної стратегії створення ПЗ показує наступна методика використання UML, яка наведена на рисунку 3. У відповідності до стратегії, для якої її застосовано, цю методику будемо називати еволюційною. На відміну від класичного підходу, еволюційний припускає можливість зворотнього зв'язку між етапами конструювання програмної системи. Цей принцип дуже чітко проглядається в наведеній методиці. Результати роботи, сформульовані у вигляді діаграм UML, можуть бути враховані на наступному циклі конструювання системи.

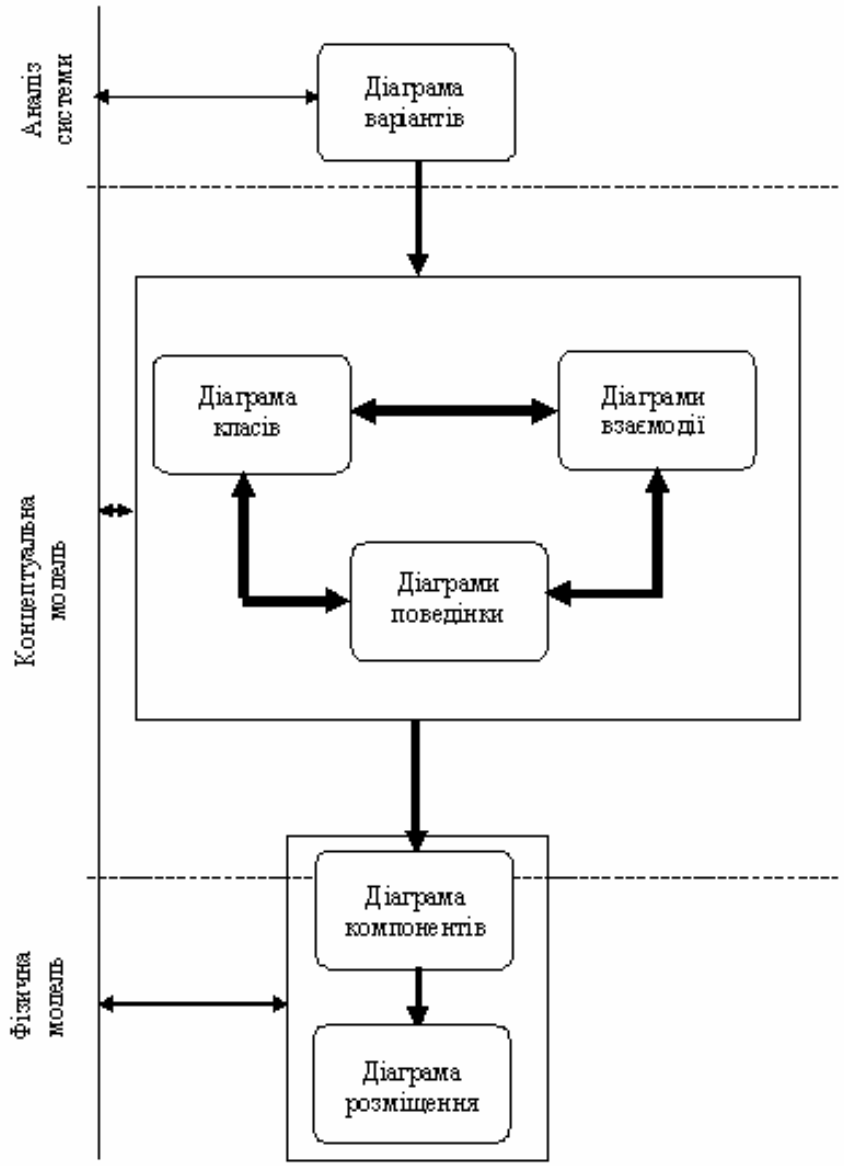


Рис. 3. Еволюційна методика побудови моделі програмної системи за допомогою діаграм UML.

Інша відмінність від класичної методики полягає в тому, що застосовувати еволюційний підхід має сенс тільки під час розробки складних програмних систем. Звідси випливає необхідність розробки всієї сукупності діаграм UML, що в деякій мірі ускладнює роботу над програмним проектом, але є необхідною складовою його успішної реалізації з урахуванням того факту, що еволюційний підхід дає можливість проаналізувати ризики, що виникають під час конструювання складних програмних систем.

Ще одна особливість методики полягає в тому, що окремі етапи створення моделі програмної системи розглядаються як єдина стадія аналізу чи проектування. Наприклад, концептуальна модель системи розглядається як єдиний набір діаграм UML, що включає в себе: діаграму класів, діаграми поведінки та діаграми взаємодії. При цьому навіть не важливо, яка з цих діаграм буде розроблятися першою, а яка останньою. Як показано на рисунку 3, концептуальна модель розглядається як необхідна складова моделі системи і повинна включати в себе весь діаграмний набір.

Висновки з даного дослідження

– запропонована класична методика розробки моделі складної програмної системи, яка може бути застосована для водоспадної та інкрементної стратегії конструювання програмного забезпечення;

– класичний підхід до використання діаграм UML при застосуванні інкрементної стратегії розробки ПЗ дозволяє оптимізувати процес створення моделі системи;

– запропонована еволюційна методика розробки моделі складної програмної системи, яка може бути застосована для еволюційної стратегії конструювання складних програмних систем;

– застосування еволюційного підходу дає можливість при розробці програмного забезпечення проаналізувати ризики, що виникають під час конструювання складних програмних систем.

Список літературних джерел

1. Гради Буч. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на C++. 2-е изд. / Буч Г.– М. : "Бином", 1999. – 560 с.
2. Иан Соммервилл. Инженерия программного обеспечения. 6-е изд. / Соммервилл И. – М.: "Вильямс", 2006. – 624 с.
3. Леоненков А. Самоучитель UML. Эффективный инструмент моделирования информационных систем. / Леоненков А. – BHV-Санкт-Петербург, 2001. – 304 с.
4. Фаулер М. UML в кратком изложении. Применение стандартного языка объектного моделирования. / Фаулер М., Скотт К. – М.: Мир, 1999. – 192 с.
5. Орлов С.А. Технологии разработки программного обеспечения: Учебник. / Орлов С. – СПб.: "Питер", 2002. – 464 с.

УДК 621.396.2.019.4 : 621.391.254

С.В. Зайцев, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

О.В. Кувшинов, д-р. техн. наук

Національний технічний університет України "КПІ", м. Київ, Україна

О.І. Восколович

Національний технічний університет України "КПІ", м. Київ, Україна

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ІТЕРАТИВНОЇ ОЦІНКИ ДИСПЕРСІЇ ЗАВАД ДЛЯ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ З ТЕХНОЛОГІЄЮ *MIMO*

Запропонована математична модель ітеративної оцінки дисперсії завад типу білий гаусівський шум для систем MIMO. Застосування математичної моделі під час моделювання статистичних характеристик завадозахищеності засобів радіозв'язку з технологією MIMO та турбо кодами дозволяє зменшити похибку оцінки стану каналу та підвищити завадозахищеність таких систем

Вступ

В теперішній час отримали розповсюдження системи зв'язку з рознесеними передавальними і приймальними антенами – системи *MIMO* (*multiple-input multiple-output*) [1-4]. Їх використання дозволяє проводити просторову і часову обробку сигналів, ефективніше використовувати випромінювану передавачем потужність і знижувати негативний вплив завад. При цьому напрямком підвищення завадозахищеності каналів засобів радіозв'язку (ЗРЗ) є застосування технології розширення спектра методом псевдовипадкового переналаштування робочої частоти (ППРЧ) та турбо кодування (ТК).

Основною завадою, яка впливає на засоби радіозв'язку, є флуктуаційний (білий) шум, який математично описується гаусівським випадковим процесом. Для придушення ЗРЗ з розширенням спектра постановником завад може застосовуватися різні види навмисних завад, які за певних умов здатні ефективно впливати на характеристики завадозахищеності ЗРЗ [5]. Основними видами завад, які найбільш часто реалізуються в системах постановки навмисних завад, є: шумова загороджувальна перешкода, шумова завада в частині смуги (ШЗЧС) і завада у відповідь [5], моделі яких представляють обмежений по смузі частот адитивний білий гаусівський шум (АБГШ).

У зв'язку з підвищеною вимогою до якості передачі голосу й даних радіоканалами виникає необхідність побудови системи зв'язку, параметри й структура фізичного рівня якої змінювалися б зі зміною характеристик середовища поширення сигналу. Цього можна досягти за допомогою ЗРЗ, які допускають динамічну зміну своїх параметрів або структури. Зважаючи на це, виникає необхідність розробки адаптивних систем, які дозволили б адаптивно змінювати свої параметри зі зміною характеристик середовища розповсюдження сигналу. Для цього необхідна інформація про стан каналу зв'язку.

Аналіз досліджень і публікацій

Класичний підхід до оцінки стану каналу полягає у використанні навчальної послідовності й адаптивних фільтрів [6-8]. Однак, цим двом способам протиставляються більш альтернативні методи, що використовують у якості апріорних відомостей тільки прийняту канальну послідовність [9,10]. Використовуючи ці методи, запропонуємо новий алгоритм оцінки стану середовища поширення з постійними параметрами для систем *MIMO* із ППРЧ з використанням принципу турбо декодування.

Постановка завдання

Метою статті є розробка математичної моделі ітеративної оцінки дисперсії завад типу білий гаусівський шум з метою покращення статистичних характеристик завадозахищеності засобів радіозв'язку з технологією *MIMO* та використання цієї оцінки в системах автоматичного управління.

Виклад основного матеріалу

На рис. 1 показана структурна схема системи *MIMO* із ППРЧ і турбо кодами. На рис. 1 джерело даних виробляє послідовність біт $\overline{U} = \{u_i\},\ i \in \overline{1,N}$ (де N – розмір послідовності), що надходить на кодер ТК. Кодер ТК, який представляє собою конкатенацію двох рекурсивних систематичних згорточних кодів (РСЗК), розділених перемежувачем (П), генерує послідовність кодованих символів $\overline{X} = \{x_j\},\ j \in \overline{1,W}$ (де W – розмір послідовності). У модуляторі НЧ послідовність $\overline{X}$ перетворюється в послідовність канальних символів $\overline{X}^* = \{x_{mnt}\},\ k \in \overline{1,K}$, $m \in \overline{1,M}$, $n \in \overline{1,2}$ (де K – розмір послідовності, M – розмір сигнального сузір'я методу модуляції) (синфазні та квадратурні складові неперервного сигналу). Буферний пристрій призначений для розділення послідовності канальних символів $\overline{X}^* = \{x_{mnt}\}$ на блоки розміром N/n, в результаті з'являються послідовності $\overline{X}_1^{**}, \ldots, \overline{X}_v^{**}$. У модуляторах ВЧ послідовності $\overline{X}_1^{**}, \ldots, \overline{X}_v^{**}$ перетворюються в неперервні сигнали $X_1(t)$, …, $X_v(t)$. Перебудова частоти здійснюється за допомогою синтезатора частот і генератора псевдовипадкової послідовності у модуляторі ППРЧ. В результаті сигнали $X_1(t)$, …, $X_v(t)$ перетворюються в сигнали $Z_1^*(t)$, …, $Z_v^*(t)$. У каналі зв'язку на сигнали $Z_1^*(t)$, …, $Z_v^*(t)$ впливають флуктуаційний шум та навмисні завади. Крім того, під час передачі по каналу мають місце загасання сигналів, повільні та швидкі завмирання сигналів. Прийняті сигнали $Z_1^{**}(t)$, …, $Z_v^{**}(t)$ з виходу приймача надходять на демодулятор ППРЧ, у якому за рахунок синтезатора частоти, керованого ГПВП, усуваються стрибки робочої частоти і сигнали $Z_1^{**}(t)$, …, $Z_v^{**}(t)$ перетворюються в $Y_1(t)$, …, $Y_v(t)$. Далі сигнали $Y_1(t)$, …, $Y_v(t)$ демодулюються і після буферного пристрою перетворюються в послідовність синфазних та квадратурних складових $\overline{Y}^* = \{y_k\},\ k \in \overline{1,K}$. Ця послідовність після пристрою перетворення синфазної і квадратурної складової у вигляді послідовності $\overline{Y}$ надходить на ітеративний декодер ТК, який перетворює прийняту послідовність символів в послідовність біт $\overline{U}^*$. Крім того, послідовність з виходу пристрою перетворення синфазної і квадратурної складової та з виходу декодера ТК поступає на модуль оцінки каналу, який здійснює оцінку рівня сигнал-завади в каналі. Значення цієї оцінки передається до модуля адаптації.

Передбачається, що канал зв'язку гаусівський і має ідеальну імпульсну характеристику $h_c(t) = 1$, внаслідок чого сигнал спотворюється тільки присутністю флуктуаційних шумів і навмисних завад.

На рис. 1 штрих-пунктирною лінією виділений дискретно-неперервний канал, який може бути замінений векторною моделлю [11].

Розглядається дискретно-неперервний канал з дискретним вхідним алфавітом і неперервним вихідним алфавітом з шумом та завадами типу АБГШ. У каналі відбувається посимвольне додавання синфазних та квадратурних складових сигналів з вибірками АБГШ на інтервалі тривалості символу T. Вибірки АБГШ – нормальні випадкові величини з нульовим математичним очікуванням і дисперсією $\sigma_n^2 = G_0 / 2$ – для флук-

туаційного шуму, $\sigma_j^2 = G_j / 2$ – для навмисної завади, де G_0 – спектральна щільність потужності шуму, G_j – спектральна щільність потужності завади.

На рис. 2, 3 показані структурні схеми кодера та ітеративного декодера ТК відповідно при паралельному з'єднанні двох РСЗК.

Схема кодера турбо коду використовує РСЗК зі швидкістю 1/*n* виду: $(1, g_1 / g_0, \ldots, g_{n-1} / g_0)$, де g_0 – поліноміальний генератор зворотнього зв'язку, а $g_1, \ldots, g_{n-1}$ – поліноміальні генератори прямих зв'язків. Кожен РСЗК виконує кодування інформаційної послідовності по своїй діаграмі, структура якої залежить від поліноміальних генераторів РСЗК [12].

Послідовність на виході кодера ТК має вигляд: $\overline{X} = (\overline{X}^{\mathrm{C}}, \overline{X}^{\mathrm{П}})$, де $\overline{X}^{\mathrm{C}} = \overline{U}$ – систематичний вихід кодера, а $\overline{X}^{\mathrm{П}} = (\overline{X}^{\mathrm{П1}}, \overline{X}^{\mathrm{П2}})$ – перевірочний вихід кодера ТК. При цьому $\overline{X}^{\mathrm{П1}} = (\overline{X}^{\mathrm{П11}}, \ldots, \overline{X}^{\mathrm{П1}v})$ – перевірочний вихід РСЗК 1, $\overline{X}^{\mathrm{П2}} = (\overline{X}^{\mathrm{П21}}, \ldots, \overline{X}^{\mathrm{П2v}})$ – перевірочний вихід РСЗК 2, *v* – загальна кількість перевірочних символів кожного РСЗК кодера ТК.

Демодульована послідовність символів подається на декодери 1 і 2 (рис. 2): $\overline{Y}^1 = (L_c \overline{Y}^{\mathrm{C1}}, L_c \overline{Y}^{\mathrm{П1}})$ – для декодера 1, де $\overline{Y}^{\mathrm{П1}} = (\overline{Y}^{\mathrm{П11}}, \ldots, \overline{Y}^{\mathrm{П1}v})$, L_c – параметр канальної "надійності". Відповідно $\overline{Y}^2 = (L_c \overline{Y}^{\mathrm{C2}}, L_c \overline{Y}^{\mathrm{П2}})$ – для декодера 2, де $\overline{Y}^{\mathrm{П2}} = (\overline{Y}^{\mathrm{П21}}, \ldots, \overline{Y}^{\mathrm{П2}v})$. $\overline{Y}^{\mathrm{C1}} = \overline{Y}^{\mathrm{C}}, \overline{Y}^{\mathrm{C2}}$ – послідовності систематичних символів з урахуванням відповідної операції перемеження.

Розглядається такт роботи в момент часу *t*. Дійсне представлення "м'якого" рішення або логарифмічне відношення функцій правдоподібності (ЛВФП) поза декодером визначається виразом [12]:

$$L(x_t \mid y_t) = \ln \frac{P(y_t \mid x_t = +1)}{P(y_t \mid x_t = -1)} + \ln \frac{P(x_t = +1)}{P(x_t = -1)} = L_a(x_t) + L(y_t \mid x_t), \quad (1)$$

де $L(y_t \mid x_t)$ – ЛВФП y_t, яке одержується шляхом виміру y_t на виході каналу при чергуванні умов, що може бути переданий $x_t = +1$ або $x_t = -1$, а $L_a(x_t)$ – апріорне ЛВФП біта даних x_t. Для спрощення позначень рівняння (1) може бути переписане таким чином [12]:

$$L'(x_t) = L_c(y_t) + L_a(x_t). \quad (2)$$

Тут $L_c(y_t)$ означає, що член ЛВФП виходить у результаті канальних вимірів, зроблених у приймачі. Для систематичних кодів ЛВФП на виході декодера дорівнює наступному [12]:

$$L(x_t) = L'(x_t) + L_e(x_t). \quad (3)$$

У цьому виразі $L'(x_t)$ – ЛВФП поза демодулятором (на вході декодера), а $L_e(x_t)$ – "зовнішнє" ЛВФП, що представляє зовнішню інформацію, що випливає з процесу декодування. З рівнянь (2) і (3) вихідне ЛВФП декодера прийме вид:

$$L(x_t) = L_c(y_t) + L_a(x_t) + L_e(x_t). \quad (4)$$

Знак $L(x_t)$ є твердим рішенням про символ x_t, а модуль $|L(x_t)|$ – ступенем надійності (правдоподібності) цього рішення.

Декодер 1 у відповідності зі своїм алгоритмом виробляє "м'які" рішення про декодовані символи (вихідне ЛВФП), які складаються з трьох частин [10,11]:

$$L^1(x_t^{\mathrm{C}}) = L_c \cdot y_t^{\mathrm{C1}} + L_a^1(x_t^{\mathrm{C}}) + L_e^1(x_t^{\mathrm{C}}),$$

де x_t^{C} – систематичний символ кодера ТК.

При цьому "зовнішня" інформація декодера 1 про символ x_t^{C}, що є апріорною для декодера 2 (з урахуванням операції перемежіння), прийме вид [12]:

$$L_e^1(x_t^{\mathrm{C}}) = L_a^2(x_t^{\mathrm{C}}) = L^1(x_t^{\mathrm{C}}) - L_a^1(x_t^{\mathrm{C}}) - L_c \cdot y_t^{\mathrm{C1}}.$$

Другий елементарний декодер, одержавши апріорні відомості про інформаційні символи, робить аналогічні обчислення, визначаючи свою "зовнішню" інформацію про символ x_t^{C} [12]:

$$L_e^2(x_t^{\mathrm{C}}) = L_a^1(x_t^{\mathrm{C}}) = L^2(x_t^{\mathrm{C}}) - L_a^2(x_t^{\mathrm{C}}) - L_c \cdot y_t^{\mathrm{C2}},$$

яка надходить на вхід декодера 1 наступної ітерації декодування.

Після виконання необхідної кількості ітерацій або у випадку примусової зупинки ітеративної процедури декодування виноситься рішення про декодовані символи:

$$x_t^{\mathrm{C}} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } L(x_t^{\mathrm{C}}) \geq 0 \\ 0, & \text{якщо } L(x_t^{\mathrm{C}}) < 0 \end{cases}.$$

Основні принципи турбо кодування/декодування описані в [12].

Для систем *MIMO* з повільною ППРЧ, що не використовує турбо кодування, дисперсія завад у кожному каналі буде визначатися таким способом:

$$\sigma_l^2 = \frac{1}{L_l} \sum_{t=0}^{L_l - 1} \left(y_{lt}^{**} - y_{lt}^{**} \right)^2, \ldots, \tag{5}$$

$$\sigma_v^2 = \frac{1}{L_v} \sum_{t=0}^{L_v - 1} \left(y_{vt}^{**} - y_{vt}^{**} \right)^2, \tag{6}$$

де L_k – кількість даних, переданих за один стрибок частоти для *k*-го каналу системи *MIMO*, $k \in \overline{1, v}$, y_{kt}^{**} – оцінений переданий символ для *k*-го каналу системи *MIMO*, $k \in \overline{1, v}$, $y_{kt}^{**} = 1$, якщо $y_{kt}^{**} > 0$ й $y_{kt}^{**} = -1$, якщо $y_{kt}^{**} < 0$. Оцінене значення σ^2 ($\sigma^2 = f\left(\sigma_n^2 + \sigma_j^2\right)$) враховує вплив навмисних і ненавмисних завад.

Для систем *MIMO* зі швидкою ППРЧ, що не використовує турбо кодування, дисперсія завад у кожному каналі буде визначатися відповідно таким чином:

$$\sigma_l^2 = \frac{1}{N_l} \sum_{t=0}^{N_l - 1} \left(y_{lt}^{**} - y_{lt}^{**} \right)^2, \ldots, \tag{7}$$

$$\sigma_v^2 = \frac{1}{N_v} \sum_{t=0}^{N_v - 1} \left(y_{vt}^{**} - y_{vt}^{**} \right)^2, \tag{8}$$

де N_k – кількість символів у переданому блоці для відповідного каналу.

Слід звернути увагу на те, що формули (5)-(8) можна використовувати при малих рівнях шумів (завад) у каналі, а якщо рівні шумів значні, то результати будуть відрізнятися від дійсних.

У випадку застосування постановником завад ефективних навмисних завад (стратегія постановки завад і спектральна щільність потужності завади вище порогових) стан каналу зв'язку зміниться значним чином. У цьому випадку формули (5)-(8) стають неефективними, і оцінка стану каналу повинна проводитись з використанням ітеративного принципу, заснованого на використанні декодера ТК.

Для систем *MIMO* із ППРЧ при наявності в каналі зв'язку навмисних завад з високим значенням спектральної щільності потужності завади оцінка каналу буде здійснюватися з використанням ітеративного декодування ТК. У цьому випадку дисперсія завад для кожної ітерації декодування кожного каналу системи *MIMO* буде визначатися таким чином:

для першої ітерації декодування

$$\sigma_{11}^2 = \frac{1}{N_1}\sum_{t=0}^{N_1-1}\left(y_{1t} - y_{1t}\right)^2 , \ldots, \sigma_{1v}^2 = \frac{1}{N_v}\sum_{t=0}^{N_v-1}\left(y_{vt} - y_{vt}\right)^2 , \quad (9)$$

де y_{kt} – оцінений переданий символ для 1-ї ітерації декодування, $k \in \overline{1,v}$ $y_{kt} = 1$, якщо $y_{kt} > 0$ й $y_{kt} = -1$, якщо $y_{kt} < 0$;

для *n*-ї ітерації декодування

$$\sigma_{n1}^2 = \frac{1}{N_1}\sum_{t=0}^{N_1-1}\left(y_{1t} - y_{1t}\right)^2 , \ldots, \sigma_{nv}^2 = \frac{1}{N_v}\sum_{t=0}^{N_v-1}\left(y_{vt} - y_{vt}\right)^2 , \quad (10)$$

де y_{kt} – оцінений переданий символ для *n*-ї ітерації декодування, $y_{kt} = 1$, якщо $L^{2,n}(x_{kt}^{\mathrm{C}}) > 0$ й , якщо $L^{2,n}(x_{kt}^{\mathrm{C}}) < 0$.

Параметр канальної "надійності" основних функцій алгоритмів декодування ТК для кожного каналу системи *MIMO* визначається наступним виразом:

$$L_{c1} = \frac{2 \cdot E_{s1}}{\sigma_1^2}, \ldots, L_{cv} = \frac{2 \cdot E_{sv}}{\sigma_v^2}, \quad (11)$$

де $E_s = E_b \cdot R \cdot \log_2 M$. Таким чином, у виразі (11) дисперсія завад для першої ітерації декодування буде визначатися згідно (9), відповідно для *n*-ї ітерації декодування – згідно (10) для відповідного каналу системи *MIMO*.

Структурна схема декодера ТК і модуля оцінки каналу в загальному випадку показана на рис. 4.

Слід зазначити, що оцінка каналу може проводитись як для схеми (рис. 1), коли використовується один ТК для всіх каналів системи *MIMO*, так і для схеми, коли ТК використовується в кожному каналі системи *MIMO* (рис. 5).

Для оцінки ефективності запропонованого методу була розроблена статистична імітаційна модель, що дозволяє оцінити завадозахищеність засобів радіозв'язку з врахуванням оцінки дисперсії завад при декодуванні турбо кодів.

Розглянемо один канал системи *MIMO*. Результати моделювання показані на рис. 6, 7. На рис. 6 показаний графік залежності ітеративної оцінки відношення енергії сигналу до спектральної щільності потужності білого шуму (відношення сигнал-шум – ВСШ) $\left(\frac{E_b}{G_0}\right)'$ від кількості ітерацій декодування. Моделювання проводилось при впливі флуктуаційного шуму на ЗРЗ з модуляцією ФМ-2, ТК із поліноміальними генераторами $g_0 = 7$, $g_1 = 5$, швидкістю кодування $R = 1/3$, 1000 символів у блоці, 8 ітерацій декодування, псевдовипадковим перемежувачем, алгоритмом декодування *Map*. Аналіз графіка свідчить, що при збільшенні кількості ітерацій декодування оцінка ВСШ в каналі стає більш точною. Після восьмої ітерації декодування поліпшення оцінки ВСШ вже не відбувається, крім того, оцінене значення ВСШ від номінального відрізняється максимально на 0,3 дБ для різних номінальних значень ВСШ. Наприклад, при номінальному значенні ВСШ $\frac{E_b}{G_0} = 1{,}0$ дБ після першої ітерації декодування оцінене значення ВСШ $\left(\frac{E_b}{G_0}\right)' = 1{,}7$ дБ (похибка оцінки складає 0,7 дБ), а після восьмої ітерації декодування $\left(\frac{E_b}{G_0}\right)' = 0{,}75$ дБ, тобто похибка оцінки складає 0,25 дБ.

На рис. 7 показаний графік залежності середньої ймовірності бітової помилки декодування від відношення сигнал-завада $\frac{E_b}{G_j}$ (ВСЗ) при впливі на один канал системи *MIMO* з ФМ-2 ШЗЧС з коефіцієнтом перекриття $\gamma = 1$. Використовується ТК із поліноміальними генераторами $g_0 = 7$, $g_1 = 5$, швидкістю кодування $R = 1/3$, 1000 символів у блоці, 8 ітерацій декодування, псевдовипадковим перемежувачем, алгоритмом декодування *Map*. На графіку показані залежності для декодування ТК при значенні $L_c = 1$, при ідеальній оцінці каналу та при запропонованій ітеративній оцінці каналу. Аналіз свідчить, що характеристики завадозахищеності ЗРЗ при ідеальній оцінці каналу та при запропонованій ітеративній оцінці каналу практично співпадають. Енергетичний виграш в характеристиках завадозахищеності при використанні під час декодування ітеративної оцінки каналу в порівнянні з використанням під час декодування $L_c = 1$ становить до 0,3 дБ для різних значень ймовірності бітової помилки декодування.

Висновки

1. Відмінність розробленої математичної моделі від існуючих, що визначає її новизну, полягає у введенні допоміжної процедури розрахунку дисперсії завад з використанням ітеративного принципу декодування та інформації про логарифмічне відношення функції правдоподібності про передані біти та врахуванні її в основних алгоритмах декодування турбо кодів системи *MIMO* та при адаптації.

2. Результати імітаційного моделювання статистичних характеристик завадозахищеності засобів радіозв'язку з технологією *MIMO* та турбо кодами показали, що використання запропонованої математичної моделі дозволяє покращити їх статистичні характеристики завадозахищеності та зменшити похибку оцінки дисперсії завад в каналі.

3. Напрямком подальших розробок вважається розробка алгоритмів адаптації станів засобів радіозв'язку з технологією *MIMO* та турбо кодами до зміни завадової обстановки.

Список літературних джерел

1. Holma H. HSDPA/HSUPA for UMTS: High Speed Radio Access for Mobile Communications / H. Holma, A. Toskala. – John Wiley & Sons, 2006. – 268 p.
2. Peng F. Adaptive Modulation and Coding for IEEE 802.11n / F. Peng, J. Zhang , W. Ryan // Wireless Communications and Networking Conference, 11-15 March 2007. – 2007. – P. 656-661.
3. IEEE 802.16. Broadband Wireless Metropolitan Area Network (WirelessMAN) [Electronic resource] // Mode of access: http://standards.ieee.org/getieee802/802.16.html. – Title from the screen.
4. Ergen M. Mobile Broadband. Including WiMax and LTE / M. Ergen/ – Springer, 2009. – 513 p.
5. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты / [Борисов В. И., Зинчук В. М., Лимарев А. Е. и др.]. – М.: Радио и связь, 2000. – 384 с.
6. Советов Б.Я. Построение адаптивных систем передачи информации для автоматизированного управления / Б. Советов, В. Стах. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 120с.
7. Prashanth H. Channel estimation for frequency hopping systems: Master of science thesis / H. Prashanth. – Cornell University, 2000. – P. 72.
8. Reed M. A novel variance estimator for turbo-code decoding / M. Reed, J. Asenstorfer // Proc. Int. Conf. on Telecommunication., Melbourne, Australia, Apr. 1997. – P. 173–178

9. Valenti C. Iterative channel estimation and decoding of pilot symbol assisted turbo codes over flat-fading channels / C. Valenti, B. Woerner // IEEE journal on selected areas in communications. – 2001. – Vol. 19. – P. 1697-1705.
10. Worm A. Turbo-decoding without SNR estimation / A. Worm, N. Wehn // IEEE communications letter. – 2000. – Vol. 4. – P. 193-195.
11. Зайцев С. В. Анализ пропускной способности дискретно-непрерывного канала связи для программируемых радиостанций с цифровыми методами модуляции сигнала при воздействии организованных помех / С. В. Зайцев // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення систем захисту інформації в Україні. – 2006. – № 2(13). – С. 27-32.
12. Woodard J. Comparative Study of Turbo Decoding Techniques: An Overview / J. Woodard, L. Hanzo // IEEE Transactions on Vehicular Technology. – 2000. – Vol. 49, No. 6. – P. 2208 – 2232.

УДК 621.391

О. В. Кувшинов, д-р техн. наук

Національний технічний університет України "КПІ", м. Київ, Україна

С.В. Зайцев, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

МЕТОД РОЗПОДІЛУ ПОТУЖНОСТІ СИГНАЛУ З OFDM В СИСТЕМАХ РАДІОЗВ'ЯЗКУ

Розглядається задача підвищення енергетичної ефективності систем радіозв'язку під час передачі сигналів по багатопроменевим каналам. Пропонується метод оптимізації параметрів системи радіозв'язку з OFDM, який дозволяє знизити потужність передавача окремих абонентів системи, необхідну для досягнення заданої швидкості передачі. Запропонований метод може бути використаний під час проектуваніі систем та засобів радіозв'язку, що функціонують в умовах селективних завмирань.

Вступ

Одним з факторів, який обмежує ефективність сучасних систем радіозв'язку (СРЗ), є явище багатопроменевості в радіоканалі. Багатопроменеві канали характеризуються випадковою зміною коефіцієнта передачі, тому параметри сигналів на вході приймача є випадковими й невідомими. Завадостійкість каналів передачі при цьому погіршується, оскільки під час приймання немає можливості використати відомості про дійсні значення параметрів сигналів [1].

Одним з напрямків вирішення цієї проблеми є застосування багаточастотного методу передачі сигналів – методу ортогонального частотного розділення з мультиплексуванням (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – OFDM) [2, 3]. Основними перевагами даного методу є висока стійкість відносно селективних завмирань, а також висока частотна ефективність.

Аналіз досліджень і публікацій

При побудові СРЗ з OFDM велика увага приділяється питанням оптимізації алгоритмів формування та обробки сигналів, які дозволяють підвищити енергетичну ефективність системи при заданих обмеженнях на інші показники [4, 5]. Стратегічним напрямом при вирішенні задачі підвищення ефективності системи радіозв'язку є перехід від систем з жорсткою структурою до адаптивних систем. В адаптивних системах алгоритми передачі і прийому сигналів можуть узгоджено змінюватися залежно від зміни зовнішніх умов. Алгоритми адаптації повинні дозволяти в умовах мінімальної апріорної інформації досягти оптимальних параметрів системи. Одним з методів підвищення ефективності функціонування СРЗ з OFDM є адаптивний розподіл потужності передавача по підканалам. Недоліками відомих методів є неповне використання пропускної здатності системи з OFDM [6, 7] та висока обчислювальна складність запропонованих алгоритмів [8, 9]. Таким чином, задача ефективного розподілу потужності передавача по підканалам СРЗ з OFDM залишається актуальною і потребує подальшого розвитку.

Формулювання цілей статті

Метою даної роботи є розробка методу оптимізації параметрів системи радіозв'язку з OFDM, який дозволяє підвищити енергетичну ефективність, необхідну для досягнення заданої швидкості передачі окремих абонентів системи.

Виклад основного матеріалу статті

Енергетичну ефективність системи радіозв'язку будемо оцінювати коефіцієнтом використання потужності сигналу β_E [4]:

$$в_E = \frac{v}{P_c/G_0}\ , \qquad (1)$$

де v – швидкість передачі інформації; G_0 – спектральна щільність потужності шуму; P_c – потужність сигналу (передавача).

Як видно з виразу (1), для підвищення енергетичної ефективності СРЗ необхідно зменшити потужність передавача.

Постановка завдання.

Задано: параметри передавального пристрою і каналу зв'язку $\Psi = \{\psi_i\}$, $i = \overline{1,n}$, де $\psi_1 \ldots \psi_n$ – відношення сигнал/шум, вид модуляції, значення передатної характеристики каналу зв'язку, смуга пропускання каналу зв'язку, розмірність ансамблю сигналів, довжина кодової комбінації, швидкість коригувального коду, величина кодової відстані.

Необхідно: максимізувати енергетичну ефективність СРЗ β_E при виконанні обмеження на швидкість передачі $v \le v_{доп}$.

Обмеження та припущення: розмірність ансамблю сигналів $2 \le M \le 256$; вид коригувального коду – турбокоди зі швидкістю R = 0,5-0,9; ймовірність помилкового приймання сигналів $P_{пом} \le 10^{-5}$; для оцінки передатної характеристики каналу зв'язку використовується один з відомих методів [10].

Завдання визначення параметрів СРЗ з максимальними показниками енергетичної ефективності зводяться до типової оптимізаційної задачі. Система рівнянь для розв'язання оптимізаційної задачі має вигляд

$$\begin{cases} в_E = F_1(v, P_c, M, h, n, R, d) = \max; \\ v = F_2(\Delta F, M, n, R, d) \le v_{доп}, \end{cases} \qquad (2)$$

де n – довжина кодової комбінації, P_c – потужність сигналу, h – коефіцієнти передатної функції каналу, M – розмірність ансамблю сигналів, R – швидкість коригувального коду, d – величина кодової відстані.

Принцип OFDM полягає в тому, що потік переданих даних розподіляється по множині частотних підканалів і передача ведеться паралельно у всіх цих підканалах. При цьому висока швидкість передачі досягається саме за рахунок одночасної передачі даних по всіх підканалах, а швидкість передачі в окремому підканалі може бути і невисокою.

Важливо, що хоча самі частотні підканали можуть частково перекривати один одного, ортогональність несучих сигналів гарантує частотну незалежність каналів один від одного, а, отже, і відсутність міжканальної інтерференції (рис. 1).

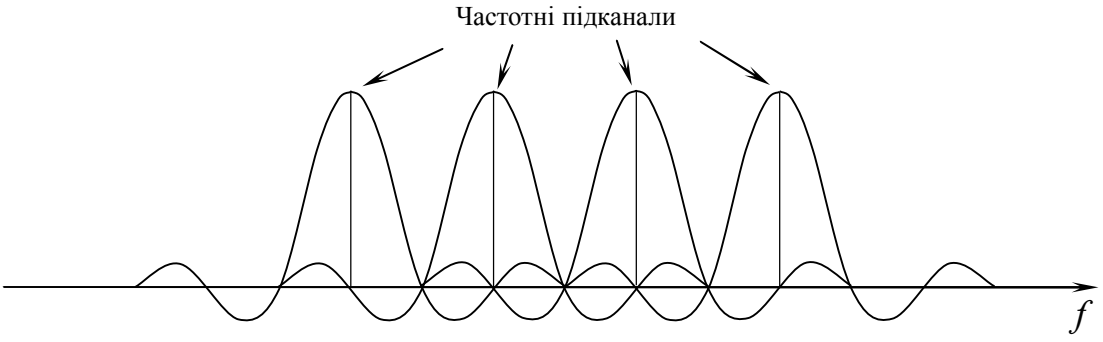


Рис. 1. Принцип ортогонального частотного розділення з мультиплексуванням

У багаточастотній системі прийнятий сигнал для кожного з K абонентів і N підканалів може бути подано як

$$Z_{ki}^{(j)} = h_{ki}^{(j)} A_i^{(j)} + B_{ki}^{(j)},\ i = 1 \ldots N,\ k = 1 \ldots K,$$

де $h_{ki}^{(j)}$ – передатний коефіцієнт i-го підканалу, спостережуваний k-м абонентом у момент часу j; $A_i^{(j)}$ – сигнал, переданий по i-му підканалу в j-й момент часу; $B_{ki}^{(j)}$ – відліки шумової завади.

Припустимо, що абоненти можуть за допомогою кодового розділення спільно використовувати підканали системи з OFDM або їх блоки (підсмуги), що складаються з суміжних підканалів, тобто

$$A_{qG_f+s}^{(jG_t+m)} = \sum_{i=1}^{G_t G_f} A_{qp}^{(j)} c_{p,sG_t+m};\ s = 1 \ldots G_f;\ m = 1 \ldots G_t,\ q = 1 \ldots N/G_f, \qquad (3)$$

де G_t, G_f – коефіцієнти розширення абонентського сигналу за часом і по частоті; $A_{qp}^{(j)}$ – модульований сигнал, призначений p-му абонентові, призначеному на q-й підканал (підсмугу); $c_p = (c_{p,0}, \ldots, c_{p,G-1})$ – p-а розширювальна послідовність; $G = G_t G_f$ — загальний коефіцієнт розширення. Помітимо, що кожний з K абонентів системи може бути призначений на довільний набір підканалів (підсмуг) і на кожній з них можна використати довільний набір (розміром від нуля до G) розширювальних послідовностей. При цьому різні абоненти, призначені на даний підканал, повинні використати різні розширювальні послідовності. Це дозволяє розглядати кожний їх N/G_f підканалів (підсмуг) як набір з G логічних підканалів з ідентичними властивостями.

Для k-го абоненту необхідно забезпечити швидкість передачі даних

$$v_k = \sum_{i=1}^{N} \text{ч}_{ki} v_{ki};\ k = 1 \ldots K,\ i = 1 \ldots N_f, \qquad (4)$$

де $v_{ki} = \log_2 M_{ki}$ – кількість біт в одному символі, переданому k-м абонентом по підканалу i; M_{ki} – розмірність сигнального ансамблю.

При використанні кодового розділення підканалів на основі ортогональних розширювальних послідовностей довжини $G_t = G$. Це означає, що множина припустимих коефіцієнтів розділення підканалів має вигляд $\chi_{ki} \in \{0, 1/G, \ldots, (G-1)/G, 1\}$... Ясно, що шляхом збільшення G точність оптимізації може бути підвищена.

Нехай $f(\text{о}_{ki}^{(0)}, v_{ki}) = f(v_{ki})$ вказує значення відношення канал/шум, які необхідно забезпечити для досягнення необхідної ймовірності помилки при швидкості передачі даних v_{ki}. Припустимо, що ця функція є опуклою, монотонно зростаючою і задовольняє умові $f(0) = 0$. Для більшості відомих методів модуляції і кодування ця функція може бути приблизно представлена як

$$f(v) = F(2^v - 1), \qquad (5)$$

де F є функцією ймовірності помилки.

Відношення канал/шум для абонента k по підканалу i

$$\text{о}_{ki} = \frac{|h_{ki}|^2}{\text{у}^2}.$$

Тоді оптимізаційна задача (2) може бути сформульована як задача мінімізації потужності передавача абонента

$$F_1 = \sum_{i=1}^{N} \sum_{k=1}^{K} \frac{\text{ч}_{ki} f(v_{ki})}{\text{о}_{ki}} = \min \qquad (6)$$

з обмеженнями

$$\sum_{k=1}^{K} ч_{ki} = 1; \qquad ч_{ki} \geq 0. \tag{7}$$

Після заміни $p_{ki} = v_{ki}\chi_{ki}$, одержимо задачу опуклого програмування з функцією Лагранжа

$$L(ч_{ki}, p_{ki}, л_k, в_i, ф_{ki}) = \sum_{i=1}^{N}\sum_{k=1}^{K} \frac{ч_{ki}}{о_{ki}} f\left(\frac{p_{ki}}{ч_{ki}}\right) - \sum_{k=1}^{K} л_k \left(\sum_{i=1}^{N} p_{ki} - v_k\right) - \\ - \sum_{i=1}^{N} в_i \left(\sum_{k=1}^{K} ч_{ki} - 1\right) - \sum_{i=1}^{N}\sum_{k=1}^{K} ф_{ki} ч_{ki}, \tag{8}$$

де $л_k, в_i, ф_{ki}$ – множники Лагранжа.

Диференціюючи цей вираз і з врахуванням умови Куна-Таккера [11], одержимо

$$\frac{dL}{dp_{ki}} = \frac{f'(p_{ki}/ч_{ki})}{о_{ki}} - л_k = 0;$$

$$\frac{dL}{dч_{ki}} = \frac{1}{о_{ki}}\left(f(p_{ki}/ч_{ki}) - \frac{p_{ki}}{ч_{ki}} f'(p_{ki}/ч_{ki})\right) - в_i - ф_{ki} = 0; \tag{9}$$

$$ф_{ki} ч_{ki} = 0; \quad \sum_{k=1}^{K} ч_{ki} = 1; \quad \sum_{i=1}^{N}\sum_{k=1}^{K} ф_{ki} \geq 0.$$

Ця система може бути перетворена до наступного вигляду:

$$(в_i^{(k)} - в_i) ч_{ki} = 0. \tag{10}$$

$$v_k = \sum_{i=1}^{N} ч_{ki} f'^{-1}(л_k о_{ki}); \tag{11}$$

$$\sum_{k=1}^{K} ч_{ki} = 1; \tag{12}$$

$$в_i^{(k)} = \frac{f(f'^{-1}(л_k о_{ki})) - л_k о_{ki} f'^{-1}(л_k о_{ki})}{о_{ki}} \geq в_i. \tag{13}$$

Нескладно помітити, що система складається з $NK + K$ рівнянь і N нерівностей і є розрідженою. У цей час відомі різні методи, призначені для чисельного рішення більших розріджених систем нелінійних рівнянь [11]. Незважаючи на це, виявляється, що рішення цієї системи досить утруднене через наявність великої кількості рішень, тобто наборів значень χ_{ki}, що задовольняють описаним обмеженням. Наслідком цього є наявність великої кількості точок у просторі параметрів завдання, у яких матриця Якобі системи рівнянь (10)-(13) є виродженою. Це призводить до істотної затримки збіжності багатьох чисельних методів. У зв'язку з цим виникає необхідність побудови оптимізаційного алгоритму, орієнтованого на дане завдання.

Для побудови спеціалізованого оптимізаційного алгоритму помітимо, що з формули (11) витікає, що для заданого набору $\{\chi_{ki}\}$ λ_k може бути однозначно знайдене з v_k. З іншого боку, з (10) видно, що β_i повинне дорівнювати $\min в_i^{(k)}$, і тільки абоненти з $в_i^{(k)} = \beta_i$ можуть використовувати підканал i. Тому величина $в_i^{(k)}$ може розглядатися як міра непридатності абонента k для роботи по підканалу i. Використовуючи цей факт, можна визначити етапи розподілу потужності сигналу в багатоабонентських системах радіозв'язку з OFDM.

Введення вихідних даних. Формується початковий набір коефіцієнтів розділення підканалів $\{\chi_{ki}\}$.

Визначення параметрів оптимізаційної задачі. Обчислюються множники Лагранжа λ_k з виразу (11) і після підстановки цих значень у формулу (13), визначаються коефіцієнти $в_i^{(k)}$.

Визначення граничних значень ефективності підканалів. Визначається найгірший підканал і найгірший абонент, призначений на цей підканал $(i_-, k_-) = \arg \max\limits_{i,k:ч_{ki}>0} (в_i^{(k)} - в_i)$, а також найкращий абонент $k_+ = \arg \min\limits_k в_{i_-}^{(k)}$.

Перерозподіл значень коефіцієнтів розділення підканалів. Зменшується частка $ч_{k_-,i_-}$ підканалу i_-, що займає абонент k_-, на $1/G$ і збільшується частка $ч_{k_+,i_-}$, що займає абонент k_-, на цю ж величину. Ітераційна процедура перерозподілу значень коефіцієнтів розділення підканалів повторюється задану кількість разів. Обчислення можуть бути припинені достроково, якщо протягом декількох кроків не відбувається зменшення величини $\max\limits_{i,k:ч_{ki}>0} (в_i^{(k)} - в_i)$.

Розподіл потужності сигналу по підканалах. Для подальшого розподілу потужності використовується одним з алгоритмів оптимізації одноабонентських систем з OFDM для знаходження розподілу потужності переданого сигналу і швидкостей передачі по підканалах, виділених кожному з абонентів [12].

Точний теоретичний аналіз адаптивної багатоабонентської системи виявляється досить складним завданням, що обумовлено ускладненням системи рівнянь (10)-(13) у порівнянні з аналогічною системою в одноабонентському випадку. Через те, що рішення оптимізаційної задачі залежить не тільки від передатних коефіцієнтів, але й від їх співвідношення для різних абонентів, тут уже не можна напряму скористатися апаратом порядкових статистик, використаним при аналізі одноабонентської системи. У зв'язку з цим виникає необхідність введення додаткових спрощень.

Для дослідження виграшу, який дає застосування запропонованого алгоритму адаптивного розподілу абонентів по підканалах, було проведено імітаційне моделювання. При цьому передбачалося, що відношення канал/шум для всіх користувачів мають однакове середнє значення. Кількість підканалів $N = 256$. Дисперсію шуму прийнято $\sigma^2 = 1$. Значення середньої потужності передавача, необхідної для досягнення заданої ймовірності помилки, дорівнює

$$P_{\text{сер}} = M\left[\frac{\sum_{i=1}^{N}|A_i|^2}{N у^2}\right].$$

На рис. 2 наведений графік залежності потужності передавача від величини часу багатопроменевості каналу зв'язку (крива 1 – стандартна система радіозв'язку з кодовим розділенням, 2 – запропонований метод без застосування завадостійкого кодування, 3 – запропонований метод із застосуванням турбокоду).

Для збільшення ефективності СРЗ використовувалося турбокодування. Параметрами адаптації були розмір сигнального ансамблю з квадратурною амплітудною модуляцією, коефіцієнти підсилення, параметри розподілу каналу, параметри турбокоду. Видно, що адаптивна передача дозволить істотно знизити необхідну потужність у порівнянні з неоптимізованою схемою передачі.

Висновки

Таким чином, розроблений в роботі метод оптимізації параметрів системи радіозв'язку з OFDM, дозволяє знизити потужність передавача окремих абонентів системи, необхідну для досягнення заданої швидкості передачі. Запропонований метод, заснований на виборі найкращих підканалов, дозволяє одержати виграш до 6 дБ для каналів в залежності від кореляційних характеристик селективного каналу.

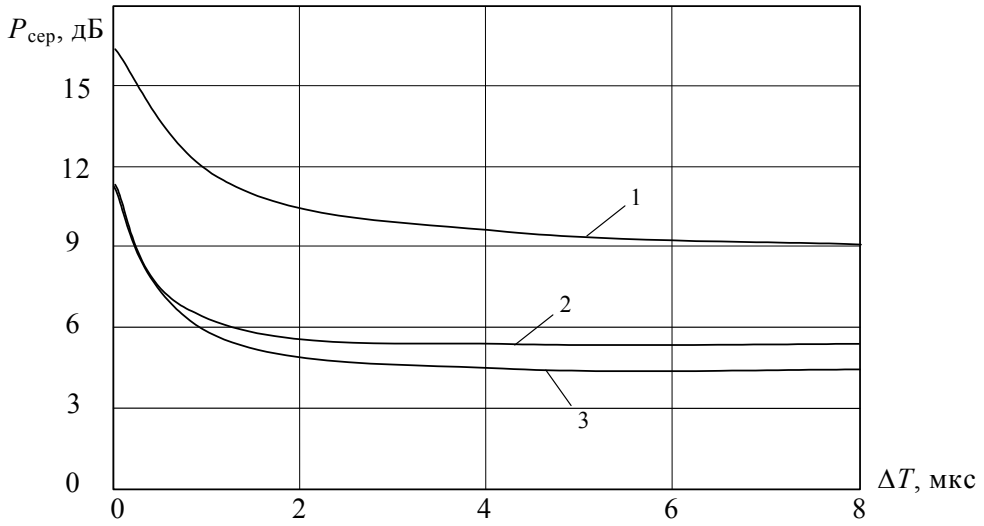


Рис. 2. Залежність потужності передавача від величини часу багатопроменевості

Сполучення цього підходу з адаптивним розподілом потужності й адаптивною модуляцією і кодуванням дозволяє додатково виграти 2 дБ.

Список літературних джерел

1. Финк Л. М. Теория передачи дискретных сообщений. – М.: Сов. радио, 1970. – 727 с.
2. Вишневский В. М., Ляхов А. И., Портной С. Л., Шахнович И. В. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
3. Кувшинов О. В., Гурський Т. Г. Технологія OFDM: огляд проблем та шляхів їх розв'язання // Зв'язок. – 2008. – №. 1 (77). – С. 42-46.
4. Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации / Под ред. А. Г. Зюко. – М.: Радио и связь, 1985. – 272 с.
5. Кувшинов О. В. Метод підвищення енергетичної ефективності систем рухомого радіозв'язку // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ "КПІ". – 2003. – Вип. № 3. – С. 72-78.
6. Dardari D. Ordered subcarrier selection algorithm for OFDM-based high-speed WLANs // IEEE Transactions On Wireless Communications. – 2004. – September. – Vol. 3, no. 5.
7. A multicarrier CDMA system with adaptive subchannel allocation for forward links / Y. H. Kim, I. Song, S. Yoon, S. R. Park // IEEE Transactions On Vehicular Technology. – 1999. – September. – Vol. 48, no. 5.
8. Krongold B., Ramchandran K., Jones D. Computationally efficient optimal power allocation algorithms for multicarrier communication systems // IEEE Transactions on Communications. – 2000. – January. – Vol. 48, no. 1. – Pp. 23–27.
9. Multiuser OFDM with adaptive subcarrier, bit, and power allocation / C. Y. Wong, R. S. Cheng, K. B. Letaief, R. D. Murch // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. – 1999. – October. – Vol. 17, no. 10.

10. Коричнев Л. П., Королев В. Д. Статистический контроль каналов связи. – М.: Радио и связь, 1989. – 240 с.
11. Стеклов В. К. та ін. Оптимізація та моделювання пристроїв і систем зв'язку : Підр. для вищ. навч. закл. – К.: Техніка, 2004. – 576 с.
12. Bergamaschi L., Moret I., Zilli G. Inexact quasi-Newton methods for sparse systems of nonlinear equations // Future Generation Computer Systems. – 2001. – Vol. 18, no. 1. – Pp. 41–53.

УДК 621.396
А.Ю.Сорокин, ассистент

Черниговский государственный технологический университет, г. Чернигов, Украина

АРХИТЕКТУРА ФОРМИРОВАТЕЛЯ МОДУЛИРОВАННОГО РАДИОСИГНАЛА С БОЛЬШОЙ БАЗОЙ

Проведен анализ и выполнен выбор элементной базы, структурных схем и алгоритмов работы, необходимых для реализации широкополосного формирователя модулированного радиосигнала с большой базой на основе частотных скачков с непрерывной фазой.

Постановка проблемы

Проблемы обеспечения помехозащищенности, электромагнитной совместимости радиотехнических систем передачи данных эффективно решаются с помощью применения сигналов с расширенным спектром, но необходимо значительное повышение стабильности, точности, производительности средств формирования и обработки радиосигналов с большой базой [1], что приводит к увеличению потребляемой мощности, температуры элементов, массогабаритных показателей, снижению надежности.

Следовательно, анализ и выбор оптимального сочетания элементной базы, структурных схем и алгоритмов работы, необходимых для реализации широкополосного формирователя модулированного радиосигнала, является актуальной задачей.

Анализ исследований и публикаций

Вследствие того, что стоимость аналоговых электронных компонентов снижается существенно медленнее, чем стоимость цифровых [2], основной тенденцией развития аппаратуры радиотехнических систем является перенос функциональности с аналоговой схемо-техники на цифровую и использование универсальных программируемых вычислителей для выполнения специализированных функций под управлением программного обеспечения [3].

Достоинствами цифровых методов формирования и обработки сигналов являются стабильность параметров, точность, гибкость и масштабируемость решений, возможность интегрировать разрабатываемые системы и находящиеся в эксплуатации. Цифровые системы синтеза частот полностью решают ряд проблем аналоговых систем, например, скорость подстройки, разрешающая способность по частоте, устойчивость и т.д.

Недостатками цифрового формирования и обработки сигналов являются относительно низкая полоса частот сигнала, высокий уровень фазового шума и побочных узкополосных спектральных составляющих, повышенное потребление энергии, а также особенности, связанные с эффектами квантования, периодичностью спектра дискретного сигнала, видом экстраполяции при переходе от цифровой к импульсной форме.

Осуществление радиопередачи, в конечном счете, требует получения аналогового модулированного высокочастотного радиосигнала. В процессе формирования аналогового модулированного радиосигнала на основе цифровых технологий можно выделить несколько этапов:

- формирование цифрового модулированного радиосигнала путем формирования модулирующего сигнала по цифровым данным, формирования несущей частоты и ее модуляции;
- подготовка цифровых отсчетов модулированного радиосигнала к цифро-аналоговому преобразованию с помощью передискретизации и интерполяции;
- цифро-аналоговое преобразование;
- согласование с аналоговой высокочастотной частью изделия.

Обеспечение высоких технико-экономических показателей системы требует эффективного сочетания цифровой и аналоговой элементной базы, схемотехнических и алгоритмических решений.

Хотя прямое цифровое формирование радиосигнала современными средствами возможно на несущей частоте до нескольких гигагерц и полосой до нескольких сот мегагерц, но в массовых изделиях, по технико-экономическим показателям, частота несущей не превышает нескольких сотен мегагерц, а полоса – десятков мегагерц. Основными ограничениями являются проблемы электромагнитной совместимости, увеличение потребления электроэнергии и тепловыделения, а также крайне высокие требования к подсистеме синхронизации. Необходим компромисс между частотой формируемого цифрового сигнала, отношением сигнал/шум, свободным динамическим диапазоном, джиттером сигнала тактовой синхронизации, наводками от цифровых цепей, потреблением электроэнергии и тепловыделением [4, 5].

Цель статьи

Целью данной работы является выбор элементной базы, структурных схем и алгоритмов работы, обеспечивающих высокие технико-экономические показатели формирователя модулированного радиосигнала с расширением спектра скачками частоты с непрерывной фазой и передачей данных скачками фазы [6].

Изложение основного материала

Выбор вычислительной элементной базы определяется требуемой производительностью, особенностями разрабатываемой системы и реализуемого алгоритма, устойчивостью к внешним воздействиям, коммерческой доступностью. В качестве аппаратных средств построения вычислителей для формирования и обработки сигналов применяются процессоры цифровой обработки сигналов, программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС), заказные специализированные интегральные схемы [3].

Достоинством процессоров цифровой обработки сигналов является возможность эффективной программной отладки, высокая точность вычислений как целочисленных операций, так и с плавающей точкой. К недостаткам следует отнести относительно низкую вычислительную производительность. Область эффективного применения современных процессоров цифровой обработки сигналов для формирования и обработки сигналов в реальном масштабе времени ограничивается полосой до единиц мегагерц.

Достоинством вычислителей на базе ПЛИС является возможность построить архитектуру вычислителя, наилучшим образом адаптированную для выполнения реализуемого алгоритма, возможность программирования в системе, что резко снижает расходы и сроки готовности при незначительных модификациях структуры. Изменяя степень параллелизма вычислительного процесса, можно оптимизировать количество используемых ячеек под необходимую скорость вычислений. Высокая степень интеграции позволяет разместить узлы проектируемого устройства в одном кристалле, включая микропроцессорные ядра и стандартные периферийные устройства. ПЛИС обеспечивают производительность, сравнимую с производительностью вычислителей на заказных специализированных интегральных схемах, а процесс разработки вычислителей на их базе значительно проще. К недостаткам следует отнести более высокую единичную стоимость и сложность разработки по сравнению с системами на процессорах цифровой обработки сигналов. Область эффективного применения современных ПЛИС для формирования и обработки сигналов в реальном масштабе времени ограничивается полосой до сотен мегагерц, что позволяет решать все типичные радиотехнические задачи.

Заказные специализированные интегральные схемы позволяют достичь максимальной абсолютной производительности, низких величин энергопотребления и используемой площади кристалла, отнесенных к производительности.

Высокая стоимость разработки и подготовки производства заказных специализированных интегральных схем определяет целесообразность их применения только для крупносерийных изделий, что и обусловило тенденцию к применению ПЛИС как хорошего компромисса между стоимостью, временем разработки и техническими качествами изделия, особенно для малосерийных изделий, требующих высокопроизводительной обработки.

Для правил формирования широкополосного радиосигнала, которые были определены в [6], при реализации на основе цифровых технологий, наиболее целесообразна схема на основе фазового аккумулятора и таблиц преобразования тригонометрических функций синуса и косинуса. Данная схема позволяет реализовать формирователь, частично совмещая функции генератора несущей частоты и смесителя, что снижает ресурсоемкость. Структура фазового аккумулятора оптимальна для реализации на ПЛИС, т.к. состоит из сумматоров, регистров и запоминающего устройства объемом несколько килобайт [7]. Принцип действия формирователя радиосигнала (рис. 1) с расширенным спектром описан далее.

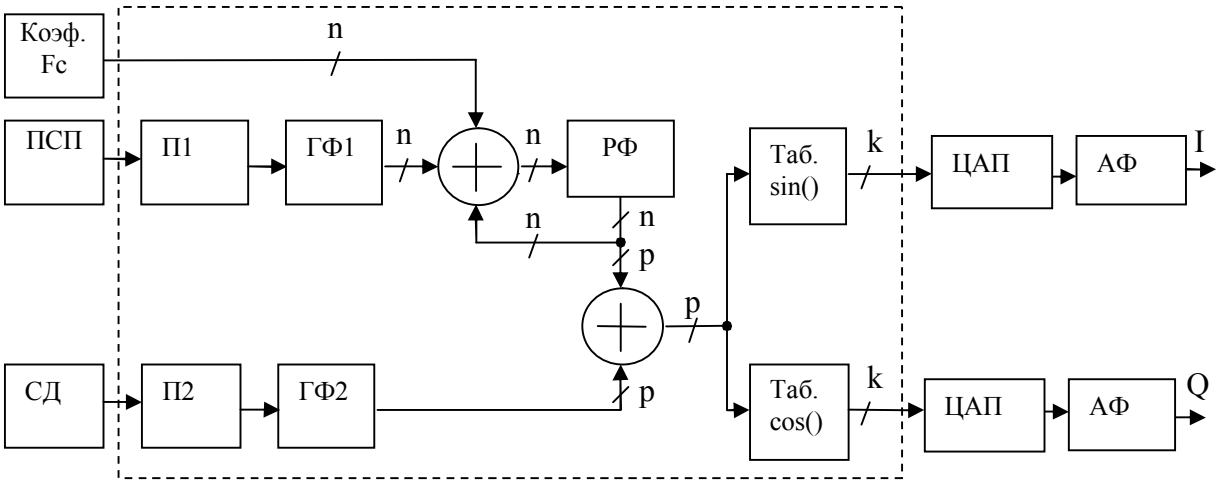


Рис. 1. Структурная схема цифровой части формирователя

Генератор псевдослучайной последовательности (ПСП) формирует последовательность значений фазы для расширения спектра. Путем передискретизации (П1) и интерполяции нерекурсивным фильтром с гауссовской импульсной характеристикой (ГФ1) формируется сглаженная последовательность значений фазы для расширения спектра. После суммирования с коэффициентом (Коэф. Fc), равным набегу фазы несущей частоты на интервале дискретизации, отсчеты поступают в регистр фазы (РФ), где формируется псевдослучайная последовательность значений фазы радиосигнала с расширенным спектром. Одновременно последовательность символов данных (СД) преобразовывается в последовательность многоразрядных отсчетов, затем путем передискретизации (П2) и интерполяции нерекурсивным фильтром с гауссовской импульсной характеристикой (ГФ2) формируется сглаженная последовательность значений фазы модулирующего сигнала. Далее осуществляется суммирование последовательностей фазы псевдослучайного радиосигнала и фазы модулирующего сигнала. Затем осуществляется табличное вычисление (Таб. sin() и Таб. cos()) значений квадратурных составляющих радиосигнала с расширенным спектром и информационной модуляцией, каждое из которых преобразуется в импульсный сигнал в цифро-аналоговом преобразователе (ЦАП) и интерполируется в аналоговом фильтре (АФ) для восстановления непрерывного сигнала.

Для выбора значения из таблицы можно использовать только 12..16 старших значащих разрядов регистра накопления набега фазы, что уменьшает размер таблицы, но не ухудшает разрешающую способность по частоте, которая определяется выражением

$$F_{out} = MF_S / 2^n ,$$

где M – значение коэффициента, определяющего частоту генерации;

F_S – частота дискретизации;

n – разрядность аккумулятора.

При этом возможно формирование синусоидального сигнала с периодом, отличающимся в соседних интервалах времени, но средняя частота генерируемого синусоидального сигнала будет равна заданному значению. Обычно разрядность шин: n=24..40, p=12..20, k=8..16, p-k=3 [8]. Для уменьшения необходимого объема памяти используют 1 или 2 старших разряда адреса для управления знаком и четвертью тригонометрического преобразования, разделяют таблицы для приближенных и уточняющих значений функции, применяют алгоритм CORDIC, полиномиальные аппроксимации.

Эффекты дискретизации и квантования адреса, данных, коэффициентов приводят к появлению фазового шума и побочных узкополосных спектральных составляющих. Смещения побочных составляющих спектра по частоте за пределы рабочей полосы можно достичь выбором опорной частоты, а для уменьшения их амплитуды (распределения на несколько пиков) используется ряд приемов: добавление псевдослучайного шума, многокаскадные переполняющиеся аккумуляторы, сигналы переноса которых объединены через сумматоры и элементы задержки.

Восстановление непрерывного сигнала на основе ряда Котельникова предполагает использование всех значений сигнала до и после текущего момента и имеет нецелесообразно высокую сложность технической реализации при увеличении длительности сигнала, а при обработке потокового сигнала все будущие значения физически невозможно получить. При практической реализации, допуская некоторую погрешность преобразования, цифро-аналоговое преобразование выполняется сочетанием получения импульсного квантованного сигнала путем экстраполяции цифровых отсчетов на интервале дискретизации и, собственно, получения аналогового радиосигнала путем выделения нужного образа спектра с помощью аналогового фильтра, характеристики которого оказывают существенное влияние на качество преобразования.

Результирующий аналоговый сигнал в частотной области можно определить как произведение спектра дискретного сигнала, комплексного коэффициента передачи экстраполятора ЦАП (фиксатор нулевого порядка с длительностью импульса $\tau \le T_S$ и единичной амплитудой) и комплексного коэффициента передачи аналогового фильтра, выделяющего нужный образ спектра

$$\dot{S}_a(\omega) = \frac{\tau}{T_s} \cdot \sum_{k=-\infty}^{\infty} \dot{S}_d(\omega - k\frac{2\pi}{T_s}) \frac{\sin(\omega\tau/2)}{\omega\tau/2} e^{-j(\omega\tau/2)} \cdot \dot{H}_\Phi(\omega),$$

где $\dot{S}_a(\omega)$ – спектр результирующего аналогового сигнала;

$\dot{S}_d(\omega - k\frac{2\pi}{T_s})$ – периодический спектр формируемого дискретного сигнала;

$\dot{H}_\Phi(\omega)$ – частотный коэффициент передачи аналогового фильтра;

T_S – период дискретизации во времени;

k – номер образа спектра.

Следовательно, практическая реализация цифро-аналогового преобразования на основе экстраполяции нулевого порядка и фильтрации с помощью аналогового фильтра, при незначительном превышении частоты дискретизации относительно теоретически допустимой, требует применения аналоговых фильтров высокого порядка, что определяет высокую стоимость и внесение искажений в фильтруемый сигнал из-за пульсаций амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) и нелинейности фазочастотной характеристики (ФЧХ) в зоне пропускания. Используя передискретизацию и интерполяцию значений отсчетов, предыскажение частотного спектра для компенсации неравномерности частотной характеристики ЦАП и аналогового фильтра, модификации работы экстраполятора "zerostuffed"(в первой зоне Найквиста) или “mix” (во второй или третьей зоне Найквиста) можно снизить порядок фильтра и выбрать тип частотной характеристики с большей линейностью ФЧХ в зоне пропускания.

Процесс передискредизации и интерполяции с помощью цифровых фильтров низких частот фактически является аппроксимацией восстановления непрерывного сигнала на основе ряда Котельникова в цифровой форме, что снижает требования к аналоговому фильтру.

Для компенсации частотно-селективного ослабления формируемого ЦАП сигнала используют цифровой фильтр с АЧХ, обратной АЧХ ЦАП, до частоты 0,4Fs, а затем плавно спадающей к нулю.

Для снижения вычислительной нагрузки на ПЛИС целесообразно использование средств передискретизации, интерполяции и коррекции АЧХ экстраполятора, интегрированных в ЦАП.

Модификации режима работы экстраполятора позволяют облегчить формирование широкополосного сигнала или радиосигнала на промежуточной частоте. Режим экстраполяции «zerostuffed» реализуют путем сокращения длительности экстраполяционного импульса**.** Фактически режим эквивалентен передискретизации без интерполяции. В результате сокращения длительности амплитудно-модулированных импульсов на выходе ЦАП в два раза, расширяется зона частот с незначительным спадом коэффициента передачи, но приводит к снижению уровня полезного сигнала на 6 дБ в области низких частот и, соответственно, к снижению реального отношения сигнал/шум. Режим экстраполяции «mix» реализуют переходом к противоположной величине отсчета на половине интервала дискретизации. Фактически выполняется перенос спектра на частоту дискретизации, что позволяет с большей эффективностью формировать сигнал во 2 или 3 зоне Найквиста.

Обеспечение высокого отношения сигнал/шум требует не только достаточной разрядности преобразователя, но и низкого значения джиттера тактового сигнала синхронизации. Необходимое значение джиттера тактового сигнала для преобразования синусоидального сигнала с частотой f и требуемым отношением сигнал/шум SNR можно оценить по формуле

$$t_a = \frac{1}{2\pi f} 10^{-\frac{SNR}{20}}.$$

Например, при необходимом SNR 72дБ (12 эффективных двоичных разрядов квантования) и частоте сигнала 70 МГц джиттер должен быть не более 500фс. Получение джиттера менее 500фс представляет сложную техническую задачу.

Следовательно, для формирования радиосигнала в более высокочастотном диапазоне, целесообразно сочетание прямого цифрового формирования радиосигнала на стан-

дартной промежуточной частоте и применения аналоговых средств для переноса спектра с промежуточной частоты на рабочую частоту.

Количество необходимых переносов спектра следует минимизировать (меньше искажения, фазовые шумы, количество зеркальных каналов), но их количество должно быть достаточным для того, чтобы добиться заданного подавления зеркальных каналов, паразитного проникновения сигнала гетеродина на выход передатчика, что определяется величиной смещения спектра, типом смесителя, АЧХ фильтра, использованием фазофильтровых схемотехнических решений.

Для минимизации количества переносов спектра целесообразна схема прямого переноса спектра на квадратурном смесителе. Перенос спектра с использованием квадратурного смесителя позволяет выполнять преобразование полосы частот вверх с подавлением несущей частоты и зеркальной полосы частот на 20…50 дБ в зависимости от разбалансировки по амплитуде и фазе каналов квадратурного модулятора. Хотя наиболее эффективно использовать квадратурные составляющие сигнала при каждом переносе спектра и преобразовывать их к вещественному аналоговому сигналу возможно ближе к антенне, но на основе аналоговой схемотехники согласование соотношения фаз и амплитуд квадратурных составляющих в широкой полосе частот трудновыполнимо. Перенос спектра в области более высоких частот, когда несущая частота и зеркальные полосы достаточно разнесены, целесообразен по супергетеродинной схеме на балансном смесителе.

Достоинством двухступенчатого переноса спектра путем сочетания схем прямого переноса спектра на квадратурном смесителе и супергетеродинной, является низкая стоимость реализации, минимальные требования по быстродействию к цифровой части, а также предотвращение ряда паразитных эффектов схемы прямого переноса спектра, возникающих, когда управляемый генератор радиочастоты и выходной усилитель мощности работают на одной частоте, например, паразитное проникновение сигнала несущей частоты от управляемого гетеродина на выход передатчика, изменение частоты гетеродина из-за изменения величины нагрузки, величины напряжения питания или непосредственного влияния сигнала усилителя мощности на управляющий вход гетеродина [3, 4, 9, 10].

Выводы

Обеспечение высоких технико-экономических показателей системы формирования сигналов с расширением спектра скачками частоты с непрерывной фазой и передачей данных скачками фазы требует эффективного сочетания цифровой и аналоговой элементной базы, схемотехнических и алгоритмических решений.

Исходя из возможностей современной элементной базы, целесообразно использовать цифровое формирование квадратурных сигналов на промежуточной частоте 10..70 МГц на основе ПЛИС по методу прямого цифрового синтеза и двухступенчатый перенос спектра путем сочетания схем прямого переноса спектра на квадратурном смесителе и супергетеродинной**.** Необходима возможность балансировки квадратурных составляющих по фазе и амплитуде для компенсации погрешностей аналогового квадратурного смесителя.

В зависимости от соотношения полосы радиосигнала, несущей частоты и частоты дискретизации требуется применение способов снижения влияния особенностей цифро-аналогового преобразования и характеристик аналогового фильтра: передискретизации, интерполяции, коррекции частотной характеристики экстраполятора в рабочем диапазоне частот, модификации режима работы экстраполятора.

Список литературных источников

1. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами / Л.Е. Варакин. – М.: Радио и связь, 1985. – 384с.
2. Чмиль В.М. Техника и технология систем миллиметровых волн / В.М. Чмиль, К.С. Сундучков, И.К Сундучков. //Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2003. – №4. – С. 6-14.
3. McCarthy D. Software-defined radio: Integration for innovation / D. McCarthy // RFDesign. – 2005. – №9. – Pp. 44-50.
4. Kosunen M. Digital Signal Processing and Digital-to-Analog Converters for Wide-Band Transmitters: dissert. Doctor of Science / M. Kosunen. – Helsinki University of Technology, 2006. – 138 p.
5. Cerda R.M. Impact of ultralow phase noise oscillators on system performance / R.M. Cerda // RFDesign. – 2006. – №7. – Pp. 28-34.
6. Сорокін О.Ю. Оптимальні параметри розширення спектра радіосигналу на основі швидких стрибків частоти з безперервною фазою / О.Ю. Сорокін // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту. – 2010. – №. 42 – С. 242-246.
7. A Technical Tutorial on Digital Signal Synthesis // Analog Devices. – 1999. – Режим доступа: http://www.analog.com/static/imported-files/tutorials/450968421DDS_Tutorial_rev12-2-99.pdf
8. Ридико Л. DDS: прямой цифровой синтез частоты / Л. Ридико // Компоненты и технологии. –2001. – №7. – С. 50-54.
9. Кушинг Р. Прямой цифровой синтез (DDS) и преобразование квадратурных сигналов в диапазон 800 – 2500 МГц с одной боковой полосой / Р. Кушинг. //Мир электронных компонентов, – 2004. – №1. – С. 14-19.
10. Sommarek J. Transmitter Architectures with Digital Modulators, D/A Converters and Switchingmode Power Amplifiers: dissert. Doctor of Science / J. Sommarek. – Helsinki University of Technology, 2007. – 138 p.

УДК 004.891.2

М.В. Кондратенко, магистрант

А.В. Хижняк, старший преподаватель

Черниговский государственный технологический университет, г.Чернигов, Украина

СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИЯ РАБОТЫ ОТДЕЛА ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

Предложена система автоматизации работы отдела технической поддержки пользователей, которая заключается в интеграции системы отслеживания ошибок и экспертной системы.

Постановка проблемы

На сегодняшний день крупные компании, предоставляющие конечному пользователю услуги или товар, должны заботиться о своих клиентах и обеспечивать их поддержкой. С этой целью создаются отделы технической поддержки пользователей.

Существующая практика решения проблем и вопросов, поступивших от конечных пользователей, заключается в поиске инженером ответа на этот вопрос или последовательности действий для устранения проблемы. Если у инженера не хватает его собственных знаний, он вынужден прибегнуть к поиску ответа во внутренней документации компании, спросить у коллег, попытаться найти решение в Интернете. Такой подход имеет ряд недостатков: память и навыки человека ограничены; документация не содержит всей необходимой информации; коллеги не всегда рядом и не все знают.

Второй стороной проблемы для компаний является необходимость в обучении нового персонала. В среднем срок обучения составляет 3 месяца. Это довольно трудоемкий процесс, который необходимо сократить, и повысить качество обучения.

Формирование цели статьи

Целью работы есть создание системы, которая предоставляла бы инженеру отдела технической поддержки пользователей возможности:

- создания и накопления единой базы знаний;
- использования проверенных методов решения проблем;
- использования инструмента, облегчающего процесс решения задач и предоставляющего помощь в принятии решений.

Изложение основного материала работы

В существующей практике взаимодействия конечного пользователя и отдела технической поддержки пользователей используется какой-либо интерфейс. В большинстве случаев это система отслеживания ошибок- прикладная программа, разработанная с целью помочь разработчикам программного обеспечения учитывать и контролировать ошибки, найденные в программах, пожелания пользователей, а также следить за процессом устранения этих ошибок и выполнения или невыполнения пожеланий.

Система отслеживания ошибок хранит в себе всю историю переписки между конечным пользователе и инженерами отдела технической поддержки пользователей, программистами и отделом тестирования. Но такая система не способна сама находить правильный ответ на поставленные пользователем вопросы или искать причины неполадок. Поэтому инженеру приходится прибегать к помощи сторонних средств.

Также эта система может выступать в качестве учебного материала при обучении нового персонала. Стажёр, проходящий курс обучения, имеет возможность на примере опытных коллег научиться основным методикам поиска и устранения неполадок, способам взаимодействия с пользователем с целью нахождения и решения проблемы. Кроме того на сегодняшний день существует много методик решения проблем, которыми стажер должен овладеть и уметь правильно их применять. Ещё немаловаж-

ным является факт, что в среднем процесс обучения занимает около трех месяцев и необходимость в сокращении этого срока возникает все чаще.

С такими ситуациями при решении вопросов от конечных пользователей и подготовке нового инженера сталкиваются компании, которые предоставляют своим клиентам техническую поддержку.

В качестве усовершенствования существующего процесса решения проблем в отделе технической поддержки пользователей, улучшения качества обучения нового инженера и сокращения срока обучения было предложено создать систему, основной задачей которой является предоставление помощи инженеру при решении проблем и в процессе обучения. Такая система может совместить в себе знания, которые можно извлечь из внутренней документации, опыта других инженеров, истории удачно решенных вопросов от пользователя, и предоставлять их по требованию инженера.

Структура системы автоматизации работы отдела технической поддержки пользователей представлена на рисунке 1.



Рис 1. Структурная схема системы автоматизации работы отдела технической поддержки пользователей

Ядро системы представляет собой совокупность подсистем, среди которых можно выделить такие:

- сбор/предоставление данных;
- управление данными;
- управление экспертными системами;
- администрирования.

Подсистема сбора/предоставления данных предназначена для сбора данных, необходимых для формирования запроса на консультацию к экспертной системе и дальнейшей их передачи в подсистему управления данными. Также данная подсистема преобразовывает данные, полученные от экспертной системы, к виду необходимому

системе отслеживания ошибок для дальнейшего отображения инженеру, который оформил соответствующий запрос на консультацию.

Подсистема управления данными предназначена для управления потоками данных от системы отслеживания ошибок и экспертной системы. На данном уровне архитектуры системы данные преобразовываются во внутренний формат и передаются в следующую подсистему.

Подсистема управления экспертной системой необходима для взаимодействия с экспертной системой – формирование запросов на консультацию, используя полученные данные из подсистемы управления данными, а также знания об используемой экспертной системе. Эти знания необходимы для построения синтаксических конструкций и учета особенностей, присущих каждой экспертной системе в отдельности. Также данная подсистема отвечает за получения ответов на запросы от экспертной системы и проводит их интерпретацию, формируя результат во внутреннем формате разработанной системы для передачи их в подсистему управления данными.

Основная задача подсистемы управления– предоставление возможности настройки и управления всей системой автоматизации. Этой подсистемой будет пользоваться администратор. Перед началом работы разрабатываемой системы её необходимо настроить- выбрать систему отслеживания ошибок, экспертную систему и указать список пользователей, которые имеет право на использование системы автоматизации. Также при помощи данной подсистемы администратор имеет возможность получить статистику о работе системы и выполняемых запросах.

Описание компонентов разработанной системы

Архитектура разработанной системы представлена на рисунке 2.

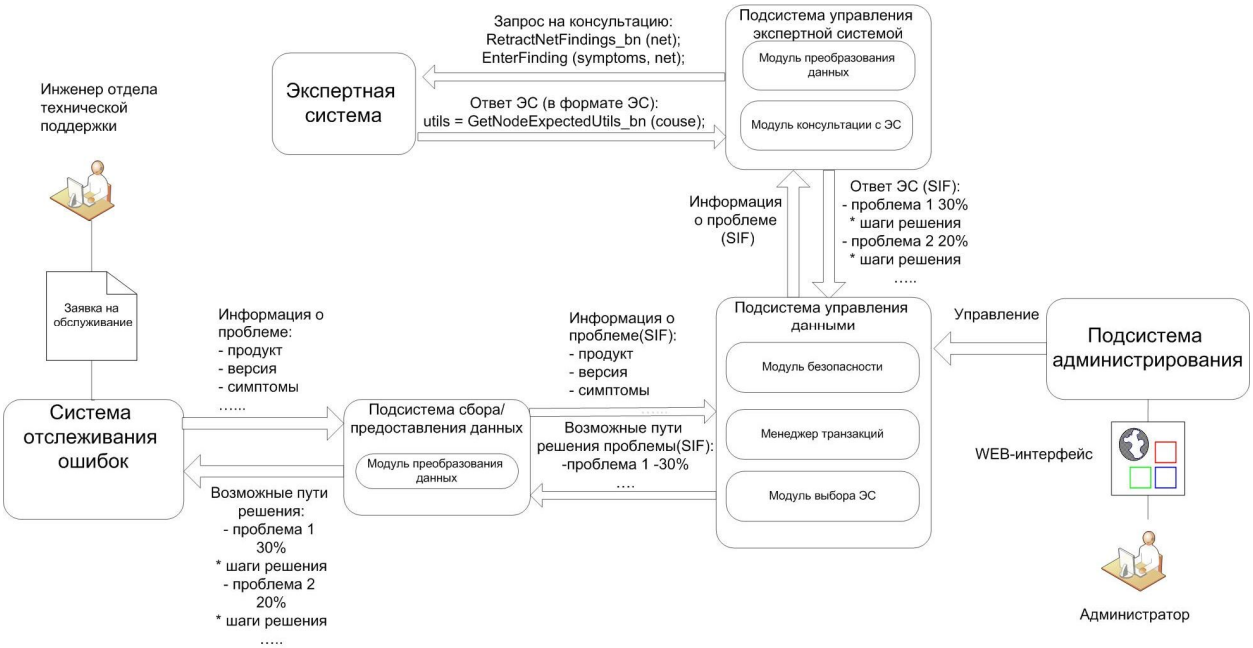


Рис 2. Архитектура системы автоматизации работы отдела технической поддержки пользователей.

Данная архитектура состоит из следующих компонентов:

- система отслеживания ошибок;
- экспертная система;
- система интеграции системы отслеживания ошибок и экспертной системы.

Экспертная система- это программа для компьютера, которая оперирует со знаниями в определенной предметной области с целью выработки рекомендаций или решения проблем[1].

Перечень типовых задач, решаемых экспертными системами, включает:

- извлечение информации из первичных данных;
- диагностика неисправностей;
- структурный анализ сложных объектов;
- выбор конфигурации сложных многокомпонентных систем;
- планирование последовательности выполнения операций, приводящих к заданной цели.

Базовые функции экспертных систем:

- приобретение знаний;
- представление знаний;
- управление процессом поиска решения;
- разъяснение принятого решения.

Для представления знаний в экспертных системах часто используют вероятностные сети. Вероятностный подход к представлению знаний состоит в том, что область знаний представляется совокупностью переменных и совместным распределением их вероятностей или его приближение. Это позволяет вычислить или оценить условное распределение вероятностей части переменных, когда некоторые из остальных приняли определённое значение[3].

На основании сведений о распределении вероятностей можно:

- определить ожидаемые значения ненаблюдаемых переменных и их совокупностей;
- подтвердить или отвергнуть гипотезы о событиях (о том, что переменные приняли совокупность значений);
- верифицировать (обнаружить противоречия или убедиться в их отсутствии) значения переменных, составивших наблюдение[4].

Частным случаем вероятностных сетей являются Байесовые сети - это вероятностные сети, рёбрам которых приписаны числовые коэффициенты, позволяющие вычислять вероятности ненаблюдаемых переменных для каждой конфигурации наблюдаемых.

Например, байесовская сеть может быть использована для вычисления вероятности того, почему не работает компьютер по наличию или отсутствию ряда симптомов, основываясь на данных о зависимости между симптомами. На рисунке 3 показана вероятностная сеть для решения этого вопроса.

Коэффициенты и манипуляции над ними выводятся из формулы Байеса. Формула Байеса связывает взаимные относительные вероятности событий.

Формула Байеса:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)\,P(A)}{P(B)}, \qquad (1)$$

где

P(A) - априорная вероятность гипотезы A;

P(A | B) - вероятность гипотезы A при наступлении события B (апостериорная вероятность);

P(B | A) - вероятность наступления события B при истинности гипотезы A;

P(B) - вероятность наступления события B.

Теорема Байеса - одна из основных теорем элементарной теории вероятностей, которая определяет вероятность того, что произошло какое-либо собы-

тие (гипотеза), имея на руках лишь косвенные тому подтверждения (данные), которые могут быть неточны. Полученную по формуле вероятность можно далее уточнять, принимая во внимание данные новых наблюдений[2].

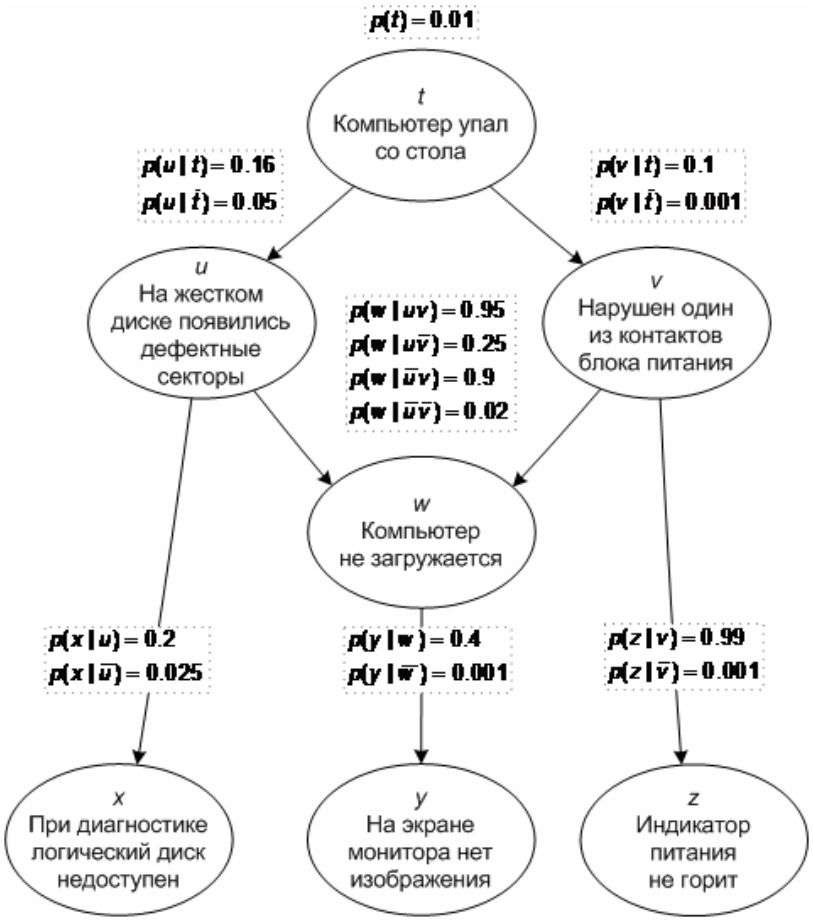


Рис 3. Вероятностная сеть для нахождения поломки в компьютере.

Ключевым моментом при работе с экспертной системой является её обучение новым знаниям. На рисунке 4 показан процесс накопления знаний, которые инженер предоставляет ей для обучения при помощи разработанной системы.

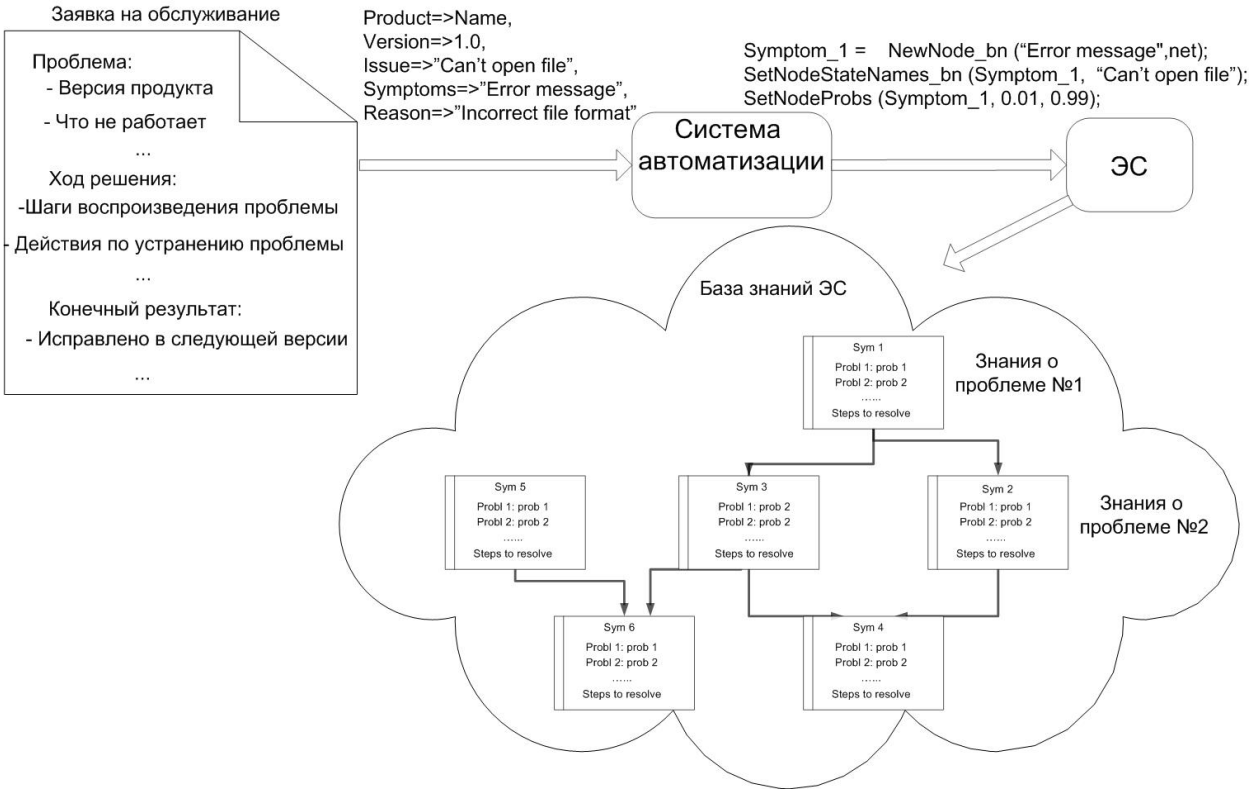


Рис 4. Схема обучения экспертной системы

Изначально экспертная система обучается на основе уже решенных заявок. Инженер выполняет формирование данных для занесения их в базу знаний экспертной системы. Из каждой заявки выделяются:

- проблема, с которой столкнулся пользователь системы,
- симптомы, которые наблюдаются при данной проблеме,
- шаги для решения этой проблемы.

Эти данные формируются в запрос и передаются системе на обработку. На выходе системы получаются последовательности действий для обучения экспертной системы. Эти последовательности специфические для каждой экспертной системы. После того, как экспертная система обработает такую последовательность, у неё построится вероятностная сеть, состоящая из узлов (симптомов) и связей между ними. У каждого симптома существует список проблем, которые могли привести к появлению этого симптома, и вероятности возникновения такой проблемы.

Вторым компонентом в разработанной системе является система отслеживания ошибок - прикладная программа, разработанная с целью помочь разработчикам программного обеспечения (программистам, тестировщикам и др.) учитывать и контролировать ошибки, найденные в программах, пожелания пользователей, а также следить за процессом устранения этих ошибок и выполнения или невыполнения пожеланий.

Главный компонент такой системы - база данных, содержащая сведения об обнаруженных дефектах. Эти сведения могут включать в себя:

- номер (идентификатор) дефекта;
- кто сообщил о дефекте;
- дата и время, когда был обнаружен дефект;
- версия продукта, в которой обнаружен дефект;
- серьёзность (критичность) дефекта и приоритет решения;

- описание шагов для выявления дефекта (воспроизведения неправильного поведения программы);
- кто ответственен за устранение дефекта;
- обсуждение возможных решений и их последствий;
- текущее состояние (статус) дефекта;
- версия продукта, в которой дефект исправлен.

В корпоративной среде, система отслеживания ошибок может использоваться для получения отчётов, показывающих продуктивность программистов при исправлении ошибок. Однако, часто такой подход не даёт достаточно точных результатов, из-за того что разные ошибки имеют различную степень серьёзности и сложности. При этом серьёзность проблемы не имеет прямого отношения к сложности устранения ошибки.

Выводы

Разработанная архитектура системы автоматизации работы отдела технической поддержки пользователей предоставляет инженеру возможность:

- создания и накопления единой базы знаний;
- использования проверенных методов решения проблемы;
- использования инструмента, облегчающего процесс решения задач и предоставляющий помощь в принятии решений.

Предложенная концепция интеграции системы отслеживания ошибок и экспертной системы позволяет в результате уменьшить затраты времени и ресурсов на поиск источника проблемы и путей её решения, повысить качество обслуживания, а также сократить время обучения нового персонала.

Список литературных источников

1. Pearl, J. Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems. Networks of Plausible Inference. Palo Alto,CA.: Morgan Kaufmann, 1988
2. Vivien Rossi, Jean-Pierre Vila. Bayesian Multioutput Feedforward Network Comparison, IEEE Transactions on Neural Networks, 2006
3. M.P. Wellman. Fundamental concepts of qualitative probabilistic networks. Arti_cial Intelligence, 1990
4. M. J. Druzdzel and M. Henrion. E_cient reasoning in qualitative probabilistic networks. In Proceedings of the 11th National Conference on AI (AAAI-93), Washington D.C., 1993
5. Bratko I. PROLOG Programming for Artificial Intelligence, 2nd eds. Wokingham, UK: Addison-Wesley. (Русский перевод первого издания: Братко И. Программирование на языке PROLOG для искусственного интеллекта. — М.: Мир, 1990. — 559 с.)

УДК 681.3.06 : 681.3.082.5
Нестеренко С.О., канд.техн.наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ОБХІД СПЕЦІАЛЬНИХ СТРУКТУР ДАНИХ З ДОПОМОГОЮ ЦИРКУЛЯТОРІВ

Вступ

Формування комп'ютерної графіки як інженерної дисципліни стимулювало розвиток одразу багатьох напрямів інформатики, зокрема, обчислювальної геометрії та комп'ютерного геометричного моделювання (КГМ).

Однією з типових задач КГМ є побудова методів та алгоритмів відтворення тривимірних тіл. Досить сталим на сьогоднішній день способом для цього є так зване поверхневе уявлення [1], при якому об'єктом вважається власне його поверхня.

Для одержання компактного опису об'єктів до цих поверхонь нерідко висуваються додаткові вимоги. Наприклад, що ці поверхні складаються з плоских багатокутників. До того ж площини цих багатокутників вважаються орієнтованими таким чином, щоб нормаль до них була спрямована всередину тіла. Остання вимога по суті тотожна вимозі однакового (проти годинникової стрілки) для всіх граней напрямку обходу ребер (або вершин) багатокутника грані (рис.1).

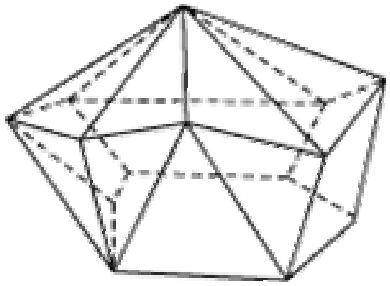


Рис. 1 Тривимірний об'єкт у поверхневому уявленні

Таким чином, для кожного тривимірного тіла графічна програма має зберігати три множини описів: для граней, для ребер і для вершин. Найбільш складною задачею при цьому є моделювання топологічної інформації, приміром «які грані є інцидентними вибраній грані», «яке ребро є загальним для вибраної пари граней» і т.ін.

Після декількох спроб моделювання різними авторами тривимірних тіл списковими структурами даних [2] в науковій літературі визнано, що найбільш адекватною топологічною моделлю тривимірного об'єкта слід вважати уявлення, що базується на використанні примітиву, що одержав не досить вдалу назву «напівребро», або «півребро» (англійське «halfedge») [2].

Суть підходу пояснимо рисунком 2.

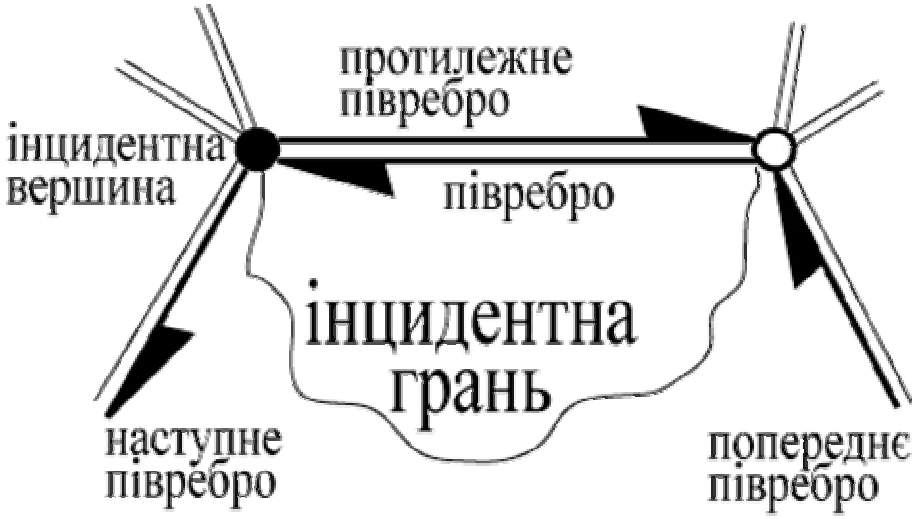


Рис.2 Графічна інтерпретація півреберної структури даних

Сформульована вище вимога незмінного напрямку обходу сторін багатокутника призводить до незручності – одне й те ж ребро (яке теж є орієнтованим) в одній з інцидентних граней матиме напрямок, що співпадає з напрямком обходу грані, але ж в інцидентній грані напрямок обходу та орієнтація ребра обов'язково будуть протилежні.

Вихід було знайдено в тому, що кожне ребро розглядатиметься не як один єдиний вектор від початкової точки до кінцевої, а як два протилежно спрямовані вектори («півребра»), що з'єднують одну й ту ж пару точок. Кожне півребро належить (є інцидентним) тільки своїй грані і в ній його орієнтація узгоджена з напрямком обходу грані. Пара протилежних півребер – це і є ребро, яке розділяє (або поєднує, якщо завгодно) дві інцидентні грані.

Таким чином, півреберна структура зберігає для кожного півребра такі дані:

- вказівник на кінцеву (цільову) вершину півребра;
- вказівник на протилежне півребро;
- вказівник на попереднє (відносно напрямку обходу грані) півребро;
- вказівник на наступне півребро;
- вказівник на інцидентну грань.

Мовою C++ це може бути записано так:

```
typedef  struc {
    Vertex_handle  v;
    Half_edge_handle  opp;
    Half_edge_handle  prev;
    Half_edge_handle  next;
    Face_handle  f;
} HDS;
typedef * HDS Half_edge_handle;
```

Обхід об'єктів структури, що моделює поверхню тіла

Під час обробки тривимірних тіл, заданих поверхневою моделлю, часто виникають задачі обходу структур даних, що відображають згадану модель.

Наприклад, в алгоритмі шейдингу Фонга [3] виникає потреба обчислювати середню нормаль для групи граней, що мають загальну вершину. Це можливо зробити, якщо визначено алгоритм обходу всіх граней навколо їх загальної вершини.

Друга задача такого роду – це обхід всіх ребер однієї грані. Ця дія входить до алгоритму [4] обчислення площі грані.

Третя задача – обхід всіх граней тривимірного тіла, починаючи з довільної. Ця дія виконується, наприклад, в алгоритмі Робертса [5] для визначення невидимих граней та ребер.

Перша і друга задачі характерні тим, що в кожній з них множина об'єктів обходу являє собою кільцеву структуру: перехід від поточного об'єкту до наступного (в напрямку обходу) кінець кінцем приводить до початкового об'єкта. Нижче ми зосередимося саме на цих двох задачах; третя задача (обхід всіх граней полігональної сітки через півреберну структуру) представляє самостійний науковий інтерес і тут не розглядатиметься.

Для обходу кільцевих структур з попередньо не визначеною кількістю об'єктів введемо поняття «циркулятор».

Будемо розуміти під циркулятором різновид ітератора [6], в якому перехід від останнього ітеративно оброблюваного об'єкта до наступного приводить знову до першого об'єкта.

З цього визначення витікає, що на відміну від звичайних ітераторів, для циркуляторів немає потреби зберігати кінцеве значення для ітеративної обробки об'єктів. Кінець циклу обробки буде визначатись не умовою `(current_value == end_value)`, а умовою `(++current_value == begin_value)`.

Але використання такого підходу вимагатиме визначення в класі циркулятора, як мінімум, перевантажених операторів `operator++()`, `operator !=()` та `operator ==()`.

Все сказане проілюструємо фрагментом коду на C++:

```
template <class T>
class circulator
{
private:
    typedef *  T    Thandle;
     void *         value;
    Thandle      operator++ (Thandle) {};
    Thandle       operator!= (Thandle s)
          {value != s};
    Thandle       operator== (Thandle s)
          {value == s};

public:
    circulator (); {
        begin = this;
        value = this;
     }
    ~circulator (); {}
    Thandle       begin;
}.
```

Розглянемо конкретизацію класу `circulator` для його використання при обході ребер (edges) деякої грані. Оголошення змінної-циркулятора та перевантаження оператора ++ виглядатимуть наступним чином:

```
circulator<HDS>  ecir;

namespace circulator<HDS> {
     Thandle operator++ (){
         value = value-> HDS::next;
     }
}.
```

Сам обхід можна реалізувати в циклі, аналогічному цьому:

```
do {
     half_edge_process ((Half_edge_handle)ecir.value); // об-
робка півребра
}while (++(ecir.value)!= ecir.begin ); .
```

Обхід граней навколо загальної вершини має свої особливості, пов'язані, в першу чергу, з іншим перевантаженням оператора ++ для конкретизованого класу `circulator<Face_handle>`. Вершина, навколо якої відбуватиметься обхід, буде задана змінною

```
HDS start_hds;,
```

тобто

```
Face_handle f_start = start_hds.f;.

namespace circulator<Face_handle> {
    circulator<Face_handle>  fcir;
     Thandle operator++ (){
          value = value-> HDS::next->HDS::opp;
     }
}
```

Обробка граней буде виконуватись в такому циклі:

```
do {
     face_process (((Half_edge_handle)fcir.value).f);
                                  // обробка грані
}while (++(fcir.value)!= fcir.begin ); .
```

Таким чином, в першому випадку зупинка циклу станеться, коли будуть перебрані всі ребра грані, а в другому – коли будуть перебрані всі грані навколо заданої вершини.

Висновки

1. Складні структури даних, що використовуються в комп'ютерному геометричному моделюванні, часто потребують специфічних методів обробки, особливо у випадку обходів – ітеративної обробки, пов'язаної з перебором кожного об'єкта в циклічних множинах.
2. Циклічний обхід ребер грані та граней навколо загальної вершини зручно реалізовувати з допомогою циркуляторів – різновиду ітераторів зі спеціальною умовою закінчення циклів.
3. Реалізацію циркуляторів раціонально вести з допомогою технології шаблонів класу з перевантаженням оператора інкременту, який для кожного випадка обходу прийматиме особливу форму.

Список літературних джерел

1. Шикин Е., Боресков А. Компьютерная графика. Полигональные модели. – М.: Диалог-МИФИ, 2000. – 464 с.
2. Heckbert P . , Garland M. Survey of polygonal surface simplification // SISGRAPH. – 1997. – Course 25.
3. Блінова, Т.О., Порєв В.М. Комп'ютерна графіка – К.: Видавництво «Юніор», 2004. – 456 с., іл.
4. Hoppe H., De Rose T., Duchamp T., McDonald J. Stuetzle W. Mesh Optimization // Computer Graphics Proceedings. – 1993. – p. 19–26.
5. Фокс Ф., Пратт М. Вычислительная геометрия. Применение в проектировании и на производстве. – М.:Мир, 1982. – 577 с.
6. Аммерааль Л.STL для программистов на С++.–М.: Изд-во «ДМК», 1999 – 240 с.

УДК 004.627

І.С. Деркач, студент магістратури
С.О. Нестеренко, канд. техн. наук, доцент

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

МОДИФІКАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ФРАКТАЛЬНОГО СТИСКАННЯ РАСТРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Запропонована модифікація фрактального методу стискання і декодування растрових зображень, яка полягає у використанні нового способу пошуку відповідності доменних блоків ранговим з використанням дискретного косинусного перетворення (ДКП).

Постановка проблеми

З розвитком нових технічних засобів одержання растрових зображень в різних галузях науки і техніки вони все частіше використовуються як образи оброблюваних та досліджуваних об'єктів в системах. Представлення растрових зображень у вигляді двомірних числових матриць висуває високі вимоги до продуктивності мережевого устаткування при передачі їх каналами зв'язку і до ємкості зовнішніх носіїв при зберіганні.

Останнім часом вирішенню проблеми ефективного кодування растрових зображень приділяється серйозна увага. Розроблена велика кількість різних методів їх стискання. Серед них є як видозмінені універсальні, так і абсолютно нові методи, орієнтовані виключно на стискання саме зображень.

Як правило, більшість існуючих методів забезпечує високий коефіцієнт стискання при збереженні достатньої якості для одного виду зображень, а для інших високий коефіцієнт стискання досягається ціною значних витрат, помітних навіть візуально. Крім того, методи стискання з витратами, як правило, мають параметри, що дозволяють керувати співвідношенням між об'ємом зображення та його якістю: чим менше об'єм, тим нижче якість і навпаки. Це робить актуальним завдання розробки методики створення програмних засобів, що здійснюють для конкретного зображення автоматичний вибір відповідних параметрів кодування.

Формування цілі статті

Метою роботи є покращення результатів фрактального стискання растрових зображень завдяки більш досконалим математичним прийомам їх обробки.

Виклад основного матеріалу дослідження

Всі методи стискання інформації базуються на тому припущенні, що набір даних завжди містить надлишкові елементи. Стискання досягається за рахунок пошуку і видалення надлишкових елементів. Ефективним вирішенням даної проблеми як за часом, так і за вартістю є розробка алгоритмів кодування – декодування інформації з метою її компактного представлення.

Всі алгоритми стискання можуть бути поділені на два класи:

- Алгоритм стискання без витрат;
- Алгоритм стискання з частковими витратами.

На рисунку 1 приведена класифікація методів стискання зображень.

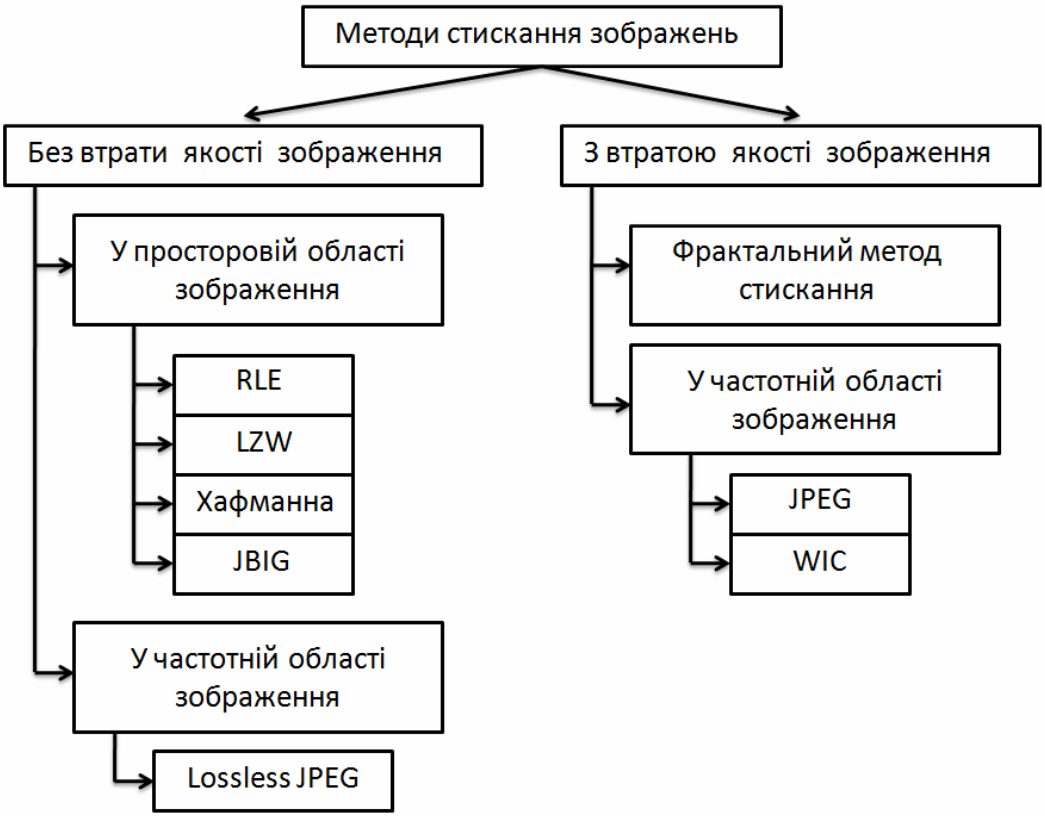


Рис. 1. Класифікація методів стискання зображень

У реальних зображеннях існує явище самоподібності (фрактальності), яке полягає в тому, що деякі великі ділянки растру за заданими критеріями подібні іншим ділянкам, але меншого розміру. Таке спостереження сприяло виникненню ідеї використання теорії фракталів для кодування зображень. Приклад фрактального зображення наведено на рисунку 2.



Рис. 2. Приклад природного фрактального об'єкта – листя папороті

Нами використовувалась програмна система саме для фрактального стискання растрових зображень в сірій гамі кольорів. Ця система складається, по-перше, з компресора, який оброблює вхідне зображення і створює закодоване зображення, і, по-друге, з декомпресора, що виконує зворотну дію, тобто відновлює закодоване зображення.

Ядро системи являє собою сукупність модулів, які необхідні для виконання всіх завдань, пов'язаних з компресією і декомпресією файлів зображень, а отже пов'язує між собою такі підсистеми. Серед їх можна виділити такі:

- компресор;
- декомпресор;
- модуль завантаження зображень;
- модуль збереження зображень.

На рисунку 3 представлена архітектура системи дослідження стискання і декомпресії зображень.

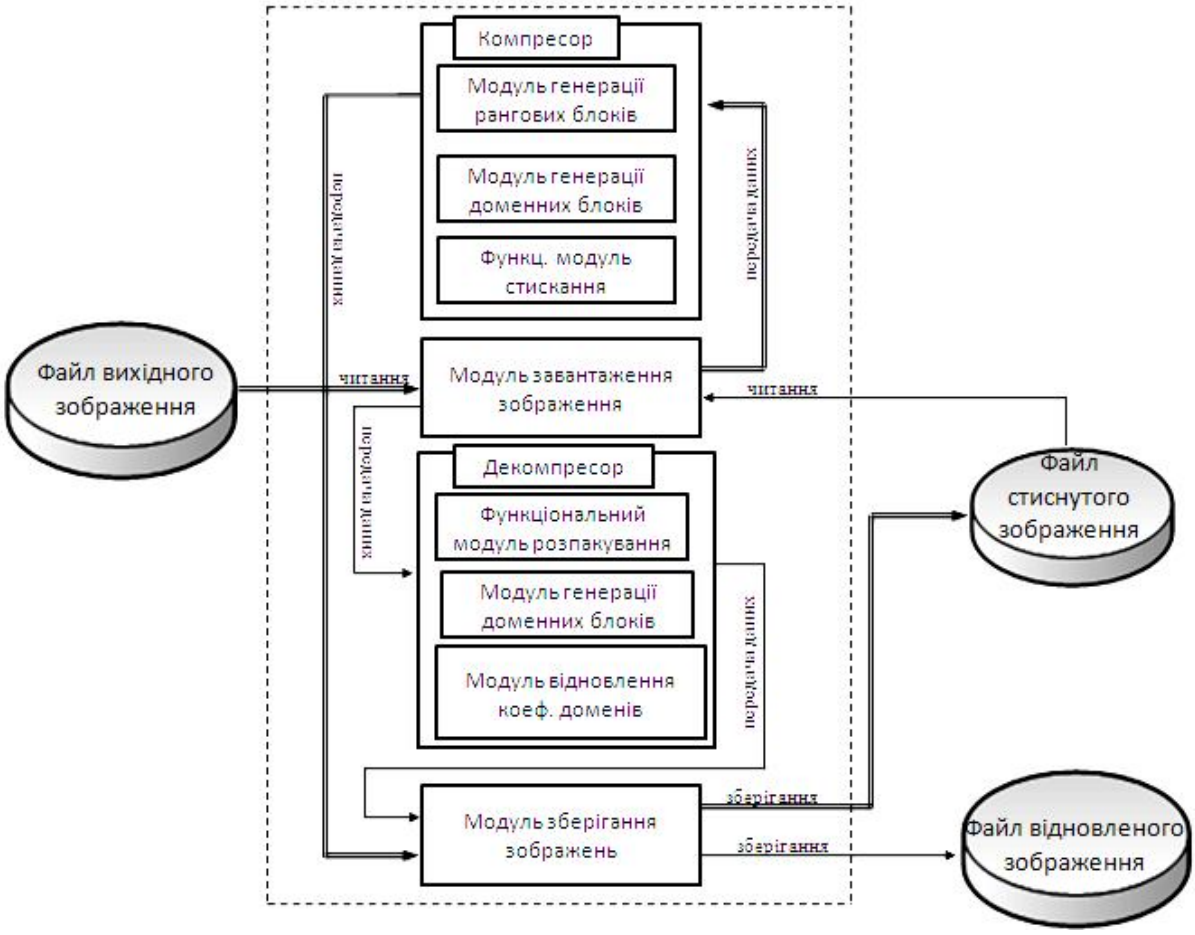


Рис. 3. Архітектура системи фрактальної компресії - декомпресії

Робота системи починається з того, що в неї необхідно завантажити зображення для подальшої роботи з ним. Цю функцію виконує модуль завантаження зображень. Модуль завантаження зображень завантажує як оригінальне зображення для виконання стискання, так й вже закодоване зображення для відновлення останнього. Далі завантажене зображення передається компресору, який виконує безпосереднє стискання зображення. Результат роботи компресора потім передається в модуль збереження зображень у файл.

Для відновлення закодованого зображення використовується декомпресор. Відновлення зображень до вхідних розмірів починається з завантаження закодованого зображення модулем завантаження зображень. Як тільки закодоване зображення буде завантажене, воно починає оброблюватись декомпресором, який виконує відновлення зображення. Результат роботи декомпресора передається в модуль збереження зображень, який відновлене зображення зберігає у файл.

Опис алгоритму фрактального кодування зображень

При кодуванні зображення фрактальним методом [1] в першу чергу слід знайти множину стискаючих афінних перетворень, які будуть відображати доменні блоки в множину рангових блоків, що покривають зображення. Для того щоб відображення було стискаючим, домен повинен бути більше рангового блоку. Хороший ступінь стискання залежить від можливості знайти найкращу відповідність між доменними і рангових блоками без необхідності додаткового розбиття останніх.

У використаному програмному комплексі для опису домена було вирішено використовувати структуру з п'яти параметрів. Дані параметри будуть зберігатися як частина заголовка файлу закодованого зображення,

До п'яти параметрів віднесемо:

1. рядок домена ρ;
2. стовпчик домена γ;
3. рівень домена λ;
4. горизонтальне перекриття;
5. вертикальне перекриття.

Сукупність цих параметрів дає можливість встановити кількість доменів, їх розміри та рівень перекриття.

Рангові блоки можуть бути однакового розміру, але частіше використовують адаптивне розбиття зі змінним розміром блоків. В описуваній системі для роботи з блоками змінного розміру використовується метод так званого квадродерева [2]. На рисунку 4 наведено приклад стискаючого відображення доменного блоку в ранговий.

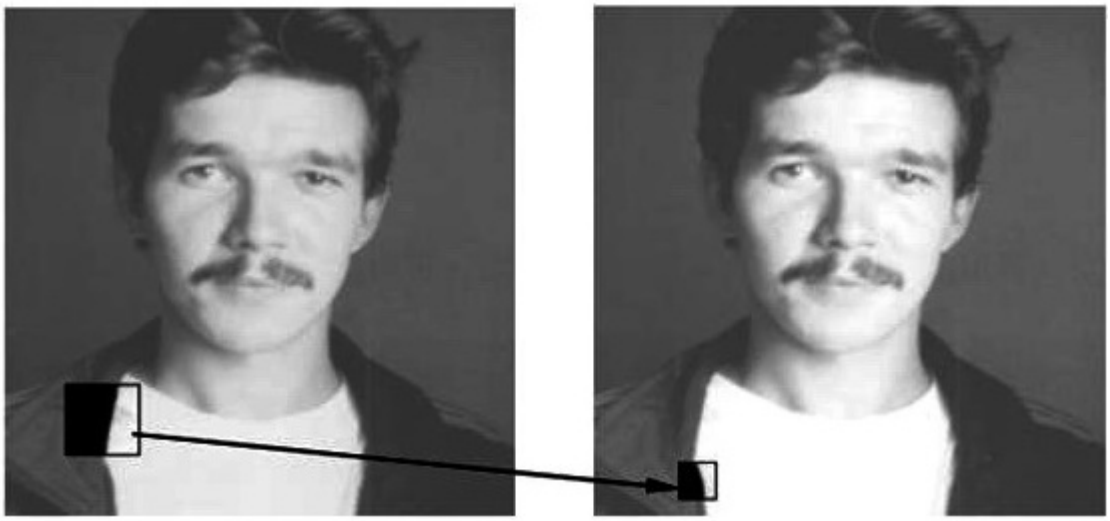


Рис. 4. Приклад стискаючого відображення доменного блоку в ранговий. Видно, що доменний блок (зліва) приблизно відповідає ранговому блоку меншого розміру (справа)

Відмінністю реалізованої системи від інших є використання вдосконаленого методу пошуку відповідності доменного блоку ранговому, тобто знаходження для кожного рангового блоку найкращого (за визначеними критеріями) домену разом з параметрами афінного перетворення [3], яке найкращим чином описує взаємну орієнтацію та масштабування пари блоків.

Задача знаходження індексу доменного блока, який найліпше відповідає черговому ранговому блоку, який розглядається в циклі кодування, потребує перебору множини всіх доменних блоків. Саме цей перебір призводить до уповільнення процесу кодування. Для подолання цього недоліку нами було запропоновано наступне.

Для репрезентації блоків на етапі їх створення для кожного доменного та рангового блоку розраховуються їх частотні характеристики. Це робиться шляхом стандартного дискретного косинусного перетворення (ДКП) [4]. Після застосування ДКП з результуючої матриці амплітуд будуть вибрані перші чотири (вони зазвичай є найбільшими за величиною), і цю четвірку називатимемо гармонійним параметром блоку. На рисунку 5 наведено правило формування гармонійного параметру блока з матриці амплітуд, одержаної через ДКП.

a_{00}	a_{01}	a_{02}	a_{03}	a_{04}	a_{05}
a_{10}	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}
a_{20}	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}	a_{25}
a_{30}	a_{31}	a_{32}	a_{33}	a_{34}	a_{35}
a_{40}	a_{41}	a_{42}	a_{43}	a_{44}	a_{45}
a_{50}	a_{51}	a_{52}	a_{53}	a_{54}	a_{55}

Рис. 5. Правило формування гармонійного параметру блока

Гармонійний параметр блоків будемо використовувати для визначення відповідності доменного блоку ранговому. Для цього створимо тимчасову базу доменних блоків і проіндексуємо за складовим ключем – гармонійним параметром. В результаті цього створюється можливість використовувати бінарний пошук, що збільшить швидкість стискання зображення, порівняно зі простим перебором, який реалізовано у класичному фрактальному методі. На рисунку 6 можна побачити принцип пошуку відповідного доменного блоку для рангового.

Гармонійні параметри доменних блоків

№	d1	d2	d3	d4
0.	12	23	15	89
				98
			46	74
		78	34	26
				54
…				
126	141	6	58	15
				26
			79	90
		34	12	36
				48
			43	15
				75
127	192	41	17	89
				254
			56	17
		72	68	59
				88
			93	9
		102	14	15
				16
			121	126
		151	70	24
			144	19
				87
128	205	12	14	128
			64	35
				74
		56	4	68
			47	77
				164

Гармонійні параметри рангових блоків

№	r1	r2	r3	r4
0.	199	64	25	91
1.	127	128	12	9
…				
128.	245	79	34	26

Рис. 6. Приклад пошуку доменного блок, відповідного ранговому

Опис формату закодованого файлу

Формат рангового файлу призначений для зберігання даних закодованого зображення. Для того щоб декодувати зображення, необхідно знати, як зображення було розбито на рангові блоки, а також знати домен і перетворення, пов'язані з кожним ранговим блоком. Найпростішою структурою рангового файлу є, як відомо, текстова. Перевага текстового формату рангового файлу в тому, що він дозволяє легко побачити результати роботи алгоритму кодування. Виходячи з того, що даний формат зберігання закодованого зображення розробляється для підвищення наочності фрактального методу стискання, то слід винести інформацію про доменні і рангові блоки в цей файл. На рисунку 7 наведено приклад одного запису рангового файлу з усіма перерахованими вище параметрами.

Більш ефективним уявленням файлу стисненого зображення слід вважати його створення одразу у двійковому форматі. Переглядаючи рядок даних у рангової файлі на малюнку 6, можна бачити, що більше половини рядка займають індекси квадродерева. Не дивлячись на те, що індекси приймають значення тільки від 1 до 4 і, отже, вимагають тільки 2 біти для їх зберігання, в сукупності вони займають значний об'єм. Для більш раціонального зберігання даних слід використовувати структуру двійкового дерева. В такій структурі для опису переходу на гілку чергового рівня потрібен тільки один біт. Для кожного рангового блоку залишається тільки індекс домену, індекс орієнтації в просторі і гармонійний параметр. На малюнку 8 показана організація даних в двійковому ранговому файлі.

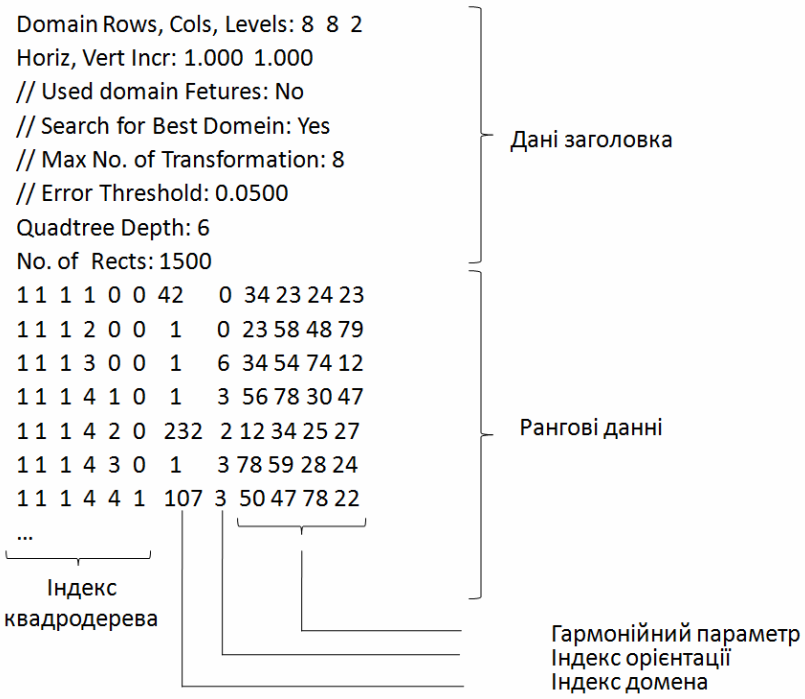


Рис. 7. Приклад текстового формату рангового файлу

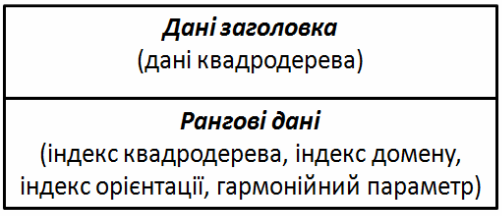


Рис. 8. Приклад структури двійкового рангового файлу

Особливості алгоритму фрактального декодування зображень

Одна з унікальних особливостей фрактального стиснення зображень полягає в тому, що декодування зображень не залежить від роздільної здатності. Зауважимо, що ніде у ранговому файлі не присутня інформація про розміри початкового зображення, оскільки це не потрібно [5].

У процесі декодування ми можемо отримати зображення будь-якого розміру, незалежно від розміру зображення, яке було закодовано методом фрактального стискання. Ця властивість дозволяє надзвичайно підвищити продуктивність методу стискання.

Інша особливість декодування зображень фрактальним методом полягає в тому, що це декодування додає деталі в зображення більшого розміру. Ці деталі є штучними в тому сенсі, що їх немає у вхідному зображенні, проте вони не суперечать контексту.

У розробленому декомпресорі зображення декодуються шляхом ітеративного застосування перетворень W до довільного початкового блоку зображення g, де

$$W(g)(x, y) = w_i(g)(x, y), \qquad (x, y) \in R_1 \tag{3.15}$$

Якщо перетворення $\{W_i\}$ були обрані коректно, то і ітерація буде близька до вихідного зображення при деякому прийнятному значенні. Зауважимо, що відповідно до теореми про стискаючі відображення [6], ітерації будуть сходитися незалежно від вибору початкового зображення. В якості початкового зображення рекомендується [7] використовувати однорідне сіре зображення.

Щоб реалізувати ітеративну схему декодування у вигляді програми, необхідно визначити два масиви зображень. Наприклад old_image і new_image. Стискаюче відображення визначається як окреме перетворення для кожного рангового блоку. Кожен ранговий блок має пов'язаний з ним перетворюваний доменний блок. Вміст рангового блоку обчислюється застосуванням перетворень до доменного блоку. Значення пікселів для доменного блоку виходять з масиву old_image. Результуюче значення пікселів рангового блоку зберігаються в масиві new_image. Одна ітерація завершується, коли буде оброблено всі рангові блоки. Перед початком нової ітерації слід замінити масив old_image масивом new_image. Необхідно зауважити, що немає необхідності фізично переміщати вміст масивів. Набагато ефективніше це можна виконати за допомогою простого перепризначення значень вказівників. Ідея описаного тут алгоритму декодування пояснюється рисунком 9.

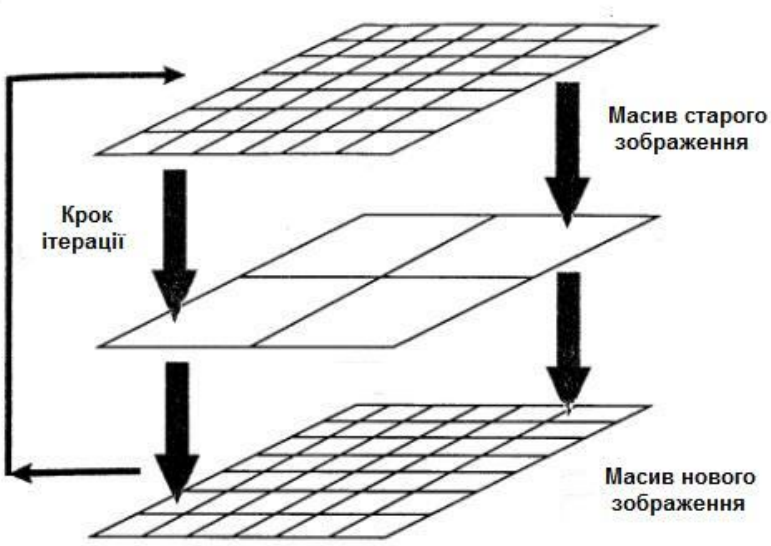


Рис. 9. Послідовність дій на одній ітерації алгоритму фрактальної декомпресії

Висновки

Таким чином, за допомогою покращеного механізму знаходження відповідності рангових і доменних блоків з використанням гармонійних параметрів можна суттєво зменшити затрати часу на фрактальне кодування растрових зображень, яке, в цілому, виконується за класичною схемою. Алгоритм декомпресії при цьому не змінюється.

Список літературних джерел

1. С. Уэлстид. Фракталы и вейвлеты для сжатия изображений в действии. Учебное пособ.— М.: Издательство «Триумф», 2003 – 320 с.
2. Fisher Y., ed. Fractal Image Compression. — New-York:Springer-Verlag, 1995.
3. The Science of Fractal Images / Ed. H.O. Peitgen, D. Saupe.— Berlin: Springer-Verlag, 1988.
4. Barthel K.U., Schuttemeyer J., Voye T., Noll P. A new image coding technique unifying fractal and transform coding.— Proc. IEEE ICIP-94. Nov. 1994.
5. Barnsley M., Hurd L. Fractal Image Compression / M. Barnsley, L. Hurd. — AK Peters, Wellesley, 1993. — 237 p.
6. Алимов Ш.А. Принцип сжатых отображений (Методы прикладного анализа). —М.: Знание, 1983.— 64 с.
7. Barnsley, M. Fractals Everywhere, 2nd ed. — Boston: Academic Press., 1993.

УДК 004.627

Стельмашенко А.О., магістрант
Лукін О.В., ст. викладач

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

АРХІТЕКТУРА ПЛАТФОРМИ ПРОГРАМНО-АПАРАТНОЇ IP-ФІЛЬТРАЦІЇ

Запропонована архітектура платформи програмно-апаратної IP-фільтрації, яка поєднує швидкодію апаратних та гнучкість програмних IP-фільтрів, шляхом створення апаратного фільтру, що може виконувати аналіз пакетів до рівня 3 стандартної моделі OSI та взаємодіяти із програмним IP-фільтром.

Вступ

Керованість та контроль мережі завжди були і будуть актуальними питаннями. Для цього необхідні інструменти аналізу та керування трафіком, щоб мати змогу робити певні дії відповідно до результатів аналізу. Найбільш зручним та ефективним інструментом для вирішення цієї задачі є пакетний фільтр [1], що працює на рівнях 2, 3 і вище стандартної моделі OSI.

Мережа Інтернет постійно зростає, майже експоненціально, зростають обсяги і швидкості трафіку, тому програмні рішення не встигають опрацювати потрібні обсяги трафіку. З появою великої кількості нових сервісів, що використовують протоколи нестандартним чином, наприклад передача відео по протоколу HTTP, робить неможливою задачу для апаратних пакетних фільтрів, оскільки необхідно аналізувати трафік аж до прикладного рівню моделі OSI, а іноді й аналізувати дані пакетів, що є дуже нетривіальною задачею для апаратного фільтра.

Таким чином, актуальною є розробка комплексного апаратно-програмного рішення, яке б поєднувало швидкодію апаратних фільтрів та гнучкість програмних.

Сучасні тенденції розвитку мережних екранів

Пакетні фільтри базуються на ланцюгах правил, що зазвичай складаються із шаблону, за яким класифікується пакет, і дією відносно даного класу. Для забезпечення якісної фільтрації правил може бути дуже велика кількість.

Основними функціями IP фільтрів є:

- блокування, підрахунок, пропущення будь-яких IP пакетів, що проходять між інтерфейсами маршрутизатора;
- фільтрація пакетів за адресами одержувача/відправника;
- вибіркова фільтрація TCP, UDP, ICMP протоколів;
- вибіркова фільтрація пакетів, що передаються фрагментами, та пакетів з встановленими IP опціями;
- встановлення інформації про фрагментацію пакета та використання однакових дій для всіх фрагментів даного пакета;
- використання перевизначення або заміни IP адреси одержувача/відправника для прозорого проксі-з'єднання та трансляції мережних адрес (NAT);
- збирання статистики про пропущенні та заблоковані пакети по правилах;
- аутентифікація пакетів, що проходять крізь фільтр;
- повідомлення відправника про заблоковані пакети по протоколу ICMP або пакетом TCP RST;
- розділення мереж;
- пріоритезація трафіку залежно від контенту сесій, пов'язаних з даними пакетами.

Деякі функції фільтрів прості і виконуються швидко, а деякі — потребують більших обчислювальних витрат на аналіз пакетів. Так, перегляд відео через браузер потребує більшого пріоритету, ніж завантаження файлу в той самий час. В цьому випадку фільтр повинен аналізувати стек протоколів включно до рівня 7 стандартної моделі OSI, тому що браузер використовує TCP протокол для встановлення з'єднання із сервісом, в який інкапсульован HTTP, що й передає відео. Натомість, є спеціальні протоколи для передачі відео, наприклад RTP з поміткою «відео».

Пріоритезацію необхідно робити на маршрутизаторі, оскільки мережна карта комп'ютера може знаходитись у локальній мережі і не має можливості локальний трафік виділити від інтернет-трафіку. Пріоритезувати можна тільки вихідний трафік, на кожному з WAN та LAN інтерфейсів маршрутизатору.

Існують апаратні рішення, що працюють на процесорах, які підтримують швидкісну мережу (наприклад ClassiPi[2] та Strata II [3]). Але вони побудовані за архітектурою Фон-Неймана, що в кінцевому підсумку стає вузьким місцем при рості кількості шаблонів для перевірки пакетів. Також такі процесори націлені на вирішення конкретних проблем, так, наприклад, корінний маршрутизатор повинен опрацьовувати мільйони пактів, але робота над кожним з них не ресурсоємна. З іншого боку, процесори, що націлені на контроль доступу до мережі опрацьовують меншу кількість пакетів, але кожний пакет потребує ресурсоємних операцій, наприклад таких, як фрагментація, перепакунок, криптування, транскодування та ін. Таким чином апаратні пакетні фільтри можуть бути швидкими, але для конкретної задачі.

До того ж мережний трафік в Інтернеті дуже різний, починаючи від маленьких пакетів сервісів миттєвого обміну повідомлень, до медіапотоків аудіо та відео. Тому важко розробити універсальний процесор.

В роботі [4] використовується розробка на базі FPGA Network Interface Controller (NIC) з вбудованим апаратним фільтром, що перевіряє п'ять записів IP заголовку з наперед заданими. Але вони використовують дуже примітивний аналіз, що має лише запрограмовані перевірки пакетів за шаблонами.

В роботі [5] розглядається ідея створення гібридного мережного екрану, що буде складатися з програмної частини, та додаткової плати, яка буде також займатися фільтрацією на апаратному рівні. У якості програмного фільтру вибрали Linux Netfilter Firewall, що гнучко конфігурується та розширюється. В якості апаратної частини використовується додаткова плата, що знаходиться на шині PCI та має спеціальний мережний процесор IXP2800 , який, на відміну від процесорів загального призначення, містить у собі 16 мікропристроїв, кожен з яких має достатньо регістрів, щоб зберігати контексти восьми обчислювальних потоків, а переключення контекстів проходить всього в декілька тактів. Це дає високу швидкість обробки пакетів.

Із аналізу зрозуміло, що програмні мережні екрани можуть забезпечити необхідну функціональність, але при цьому повільно працюють. Апаратні фільтри виконують швидко фільтрацію пакетів, але не можуть забезпечити складних функцій глибокого аналізу.

Потрібна, з одного боку, гнучкість та універсальність програмних фільтрів та, з іншого боку, швидкодія та ефективність апаратних фільтрів.

Тому логічний висновок – це розробка гібридного мережного фільтра, що має апаратну і програмну частини, які взаємодіють між собою, виконуючи спільну роботу.

В проаналізованих роботах [4] та [5] використовуються додаткові плати для апаратної фільтрації, що є ініціаторами додаткової затримки на час, коли отриманий пакет буде переданий до апаратного фільтра та отриманням результату його обробки. Якщо розглянути роботу ethernet контролеру, який приймає пакет із мережі у внутрішній буфер, після чого передає його у пам'ять комп'ютера за допомогою

прямого доступу до пам'яті, а потім ініціює переривання для оповіщення операційної системи. Стає зрозумілим що існує сенс суміщати функції фільтру та ethernet контролеру та робити перевірку пакету під час прийому його із мережі, таким чином забезпечити мінімальну затримку, а іноді й перевірку в реальному часі, оскільки для перевірки потрібен лише заголовок пакету і немає необхідності чекати закінчення прийому.

Для коректної побудови спеціалізованого процесора фільтрації пакетів (СПФП) необхідно провести формальний аналіз правил сучасних програмних пакетних фільтрів, який надасть змогу виділити базові елементи правил, що складатимуть основу СПФП.

Формальний аналіз синтаксису мов мережних фільтрів

На апаратному рівні має сенс робити тільки прості перевірки, що покриють найпоширеніші правила, на рівнях моделі OSI від другого до третього. Такі перевірки можуть бути ланками більш складної фільтрації, що виконуються на програмному рівні.

Існує багато програмних мережних екранів для різних операційних систем, наприклад iptables/netfilter для linux, packet filter та ipfirewall для BSD систем. Кожна з реалізацій має свою мову опису правил, що обумовлено різною реалізацією IP-стеку.

Планується забезпечити підтримку та легку зміну програмних мережних екранів, що базуються на правилах. Проаналізувавши роботу [6] можна зробити висновки про необхідні типи та структури даних, та структуру правил. Це дасть змогу робити компіляцію правил для апаратної частини для будь-якого типу мови опису правил.

Таким чином, необхідні три простих базових типи даних: строковий (String), слово (Word) та мережна адреса (NetAddress). Також необхідні два комплексні типи: діапазон адрес (IPRange) та діапазон портів (PortRange).

Строковий тип потрібен для визначення та використання строкових параметрів, що потрібні для задання значень полів комплексних типів, що будуть описані нижче, та для задання тексту повідомлень для дій журналів пакетів.

Тип слово, що має розмір 16 бітів, необхідний для задання числових значень та номерів портів. Реалізація саме цього типу була продиктована тим, що діапазон значень портів може змінюватись від 0 до 65535, що може бути закодоване як раз у шістнадцять бітів.

Базовий тип мережна адреса призначена для задання адреси мережного пристрою і задання мережі IP адрес. Використовуючи цей тип даних можна визначити до якої мережі належить мережний пристрій. Складається з IP адреси та її маски.

Також цей тип даних підтримує будь-який з існуючих видів запису мережної маски.

IP адреса – це окремий випадок мережної адреси, коли маска мережі дорівнює 255.255.255.255. Якщо мережна адреса приводиться без маски, то маска мається на увазі 255.255.255.255.

Дані синтаксичні структури можна зобразити у формі BNF (Бекуса-Наура, що використовується для опису мов), на рисунку 1.

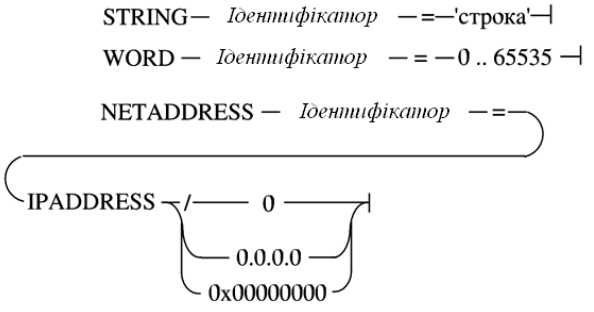


Рис. 1. Синтаксична діаграма простих типів даних

Комбінований тип даних IPRange введений для задання діапазону IP адрес, що неможна об'єднати в одну мережу або задати за допомогою одної мережної адреси.

Тип даних PortRange введений для задання діапазонів портів комп'ютера. За його допомогою можна задавати одночасно значення портів та діапазони портів.

Дані синтаксичні структури зображені на рисунках 2, 3

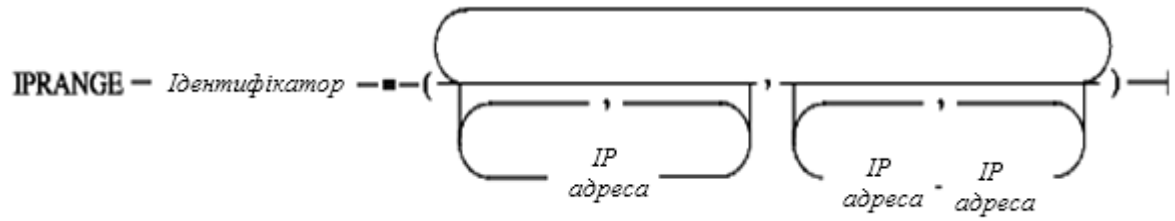


Рис. 2. Синтаксична діаграма діапазону IP-адрес

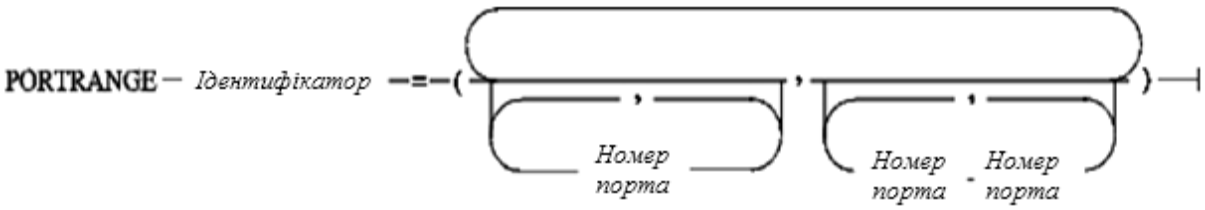


Рис. 3. Синтаксична діаграма діапазону значень портів

Реалізувавши блоки порівнянь даних примітивів та полів заголовку мережних пакетів на апаратному рівні дасть нам змогу перенести частини функцій програмних IP фільтрів на апаратний рівень.

До найпоширеніших правил вирізнення пакетів можна віднести наступні: по IP адресі одержувача/відправника, по діапазону мережних адрес, по портам або діапазоні портів одержувача/відправника, по мережі, правила, що стосуються певних протоколів (ICMP, IP, TCP, UDP), статистичні правила.

Дуже часто виникають ситуації, коли накопичується велика частина правил, що різняться лише IP-адресою. Такі правила можна згрупувати в одне єдине, де у якості параметру IP-адреси указати на певну таблицю, що буде їх містити. Таке спеціальне правило має сенс реалізувати на апаратному рівні, що приведе до економії пам'яті, не зберігаючи велику кількість схожих правил.

Як було описано вище, пріоритезація трафіку іноді потребує аналізу пакетів аж до рівня 7 стандартної моделі OSI, наприклад при перегляді відео через браузер. Але такі сесії можна ідентифікувати на більш низькому рівні, оскільки вони мають унікальний клієнтський порт та адресу на час життя всієї сесії. Тому можна визначати параметри такої сесії програмним мережним екраном, формувати правило, що буде визначати пакети даної сесії, і динамічно додавати його до списку правил на апаратному рівні на час життя сесії. Це дасть змогу розвантажити програмний мережний екран та спростити пріоритезацію мережного трафіку.

Розробка програмно-апаратної платформи фільтрації

Узагальнена архітектура гібридного мережного екрану приведена на рисунку 4.

Модуль керування апаратною частиною необхідний для формування повідомлень для апаратної частини, робить компіляцію правил у бінарний формат та передає їх через інтерфейс взаємодії з апаратною частиною.

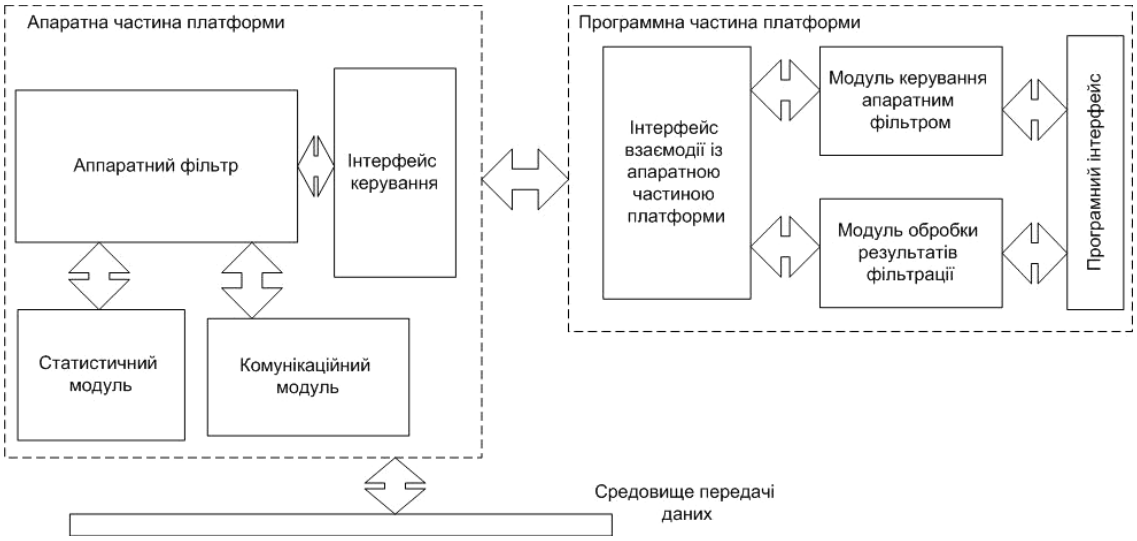


Рис. 4. Узагальнена архітектура гібридного мережного екрану

Модуль обробки результатів фільтрації повертає пакет із сформованим результатом у вигляді набору бітів у ядро операційної системи.

Інтерфейс взаємодії з апаратною частиною визначає набір функцій апаратної частини, що може бути використаний із ОС.

Інтерфейс управління апаратною частиною приймає запити від програмної частини, щодо конфігурації апаратного мережного екрану та правил фільтрації.

Правила надходять від програмної частини у скомпільованому бінарному вигляді, тому необхідно розробити процесори правил, що по заданому бінарному правилу виконуватиме дії над пакетами. В роботі [4] вже використовувалися апаратні правила, але були проблеми зі швидкістю, тому буде задіяно декілька паралельних процесорів.

На рисунку 5 приведена структура процесору правил.

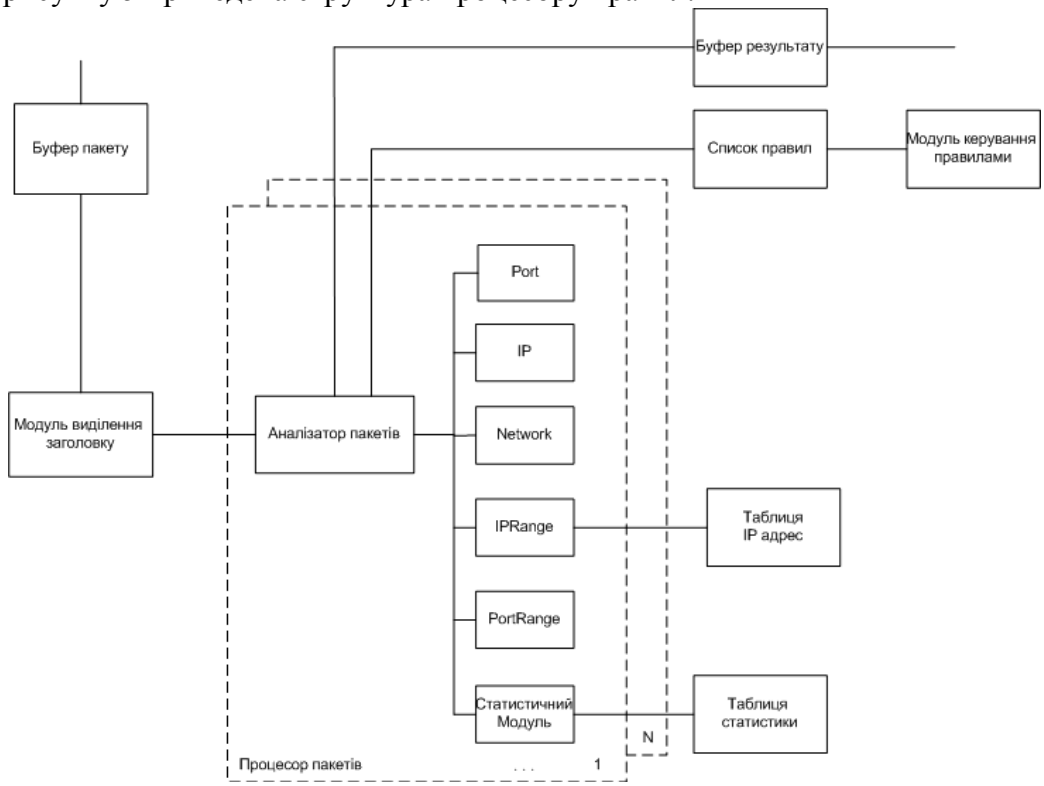


Рис. 5. Структура процесору правил

Із буферу пакету виділяємо заголовок пакету, де містяться поля, що необхідно проаналізувати. Заголовок потрапляє до процесору правила. Процесор правила складається із аналізатору заголовку та блоків примітивних порівнянь для порівняння полів типу порт, IP-адреса та ін. Аналізатор пакету бере чергове правило, що має певний зрозумілий для аналізатору формат і проходить по правилу, виконуючи відповідні порівняння. Далі результат заноситься до буферу результату і потім передається ОС.

Процесорів правил може бути декілька, що дасть змогу паралельно виконувати порівняння декількох правил.

Висновки

Дана платформа передбачає створення наступних систем:

- розробка мережних карт із вбудованим IP фільтром (предоставляється VHDL опис MAC та IP фільтру);
- розробка програмно-апаратних IP фільтрів (для чого предоставляється VHDL опис MAC та IP фільтру, API для інтеграції із програмним мережним екраном);
- розробка фільтруючих маршрутизаторів використовуючи SoC (для чого предоставляється VHDL опис MAC та IP фільтру, API для інтеграції із програмним мережним екраном та системні модулі інтеграції з мережним екраном, модулі, що розширюють правила мережних екранів для опису тих правил, що виконуються на апаратному рівні).

Для розробки цієї платформи необхідно проробити програмний та апаратний інтерфейси, компілятор «апаратних» правил, що працює в ОС і готує правила для виконання на апаратному рівні.

Запропонована програмно-апаратна платформа може бути використана для побудови складних IP фільтрів, що є основою для систем пріоритезації трафіку, детектування та протидії мережним атакам та систем захисту мереж.

Список літературних джерел

1. Firewall Q&A. – Viacon Inc. 2001
2. Product Datasheet . PM2329 ClassiPi Network Classification Processor Datasheet. – PMC Sierra Inc. 2001
3. Product brief. Strata Switch II BCM5616 – Integrated multi-layer switch. – Broadcom Inc. 2001
4. Mou-Sen Chen, Ming-Yi Liao. NetFPGA Offloader Linux Netfilter Firewall. – Institute of Computer and Communication Engineering, Dept. of Electrical Engineering 2005
5. Kristen Accardi, Tony Bock, Frank Hady. Network Processor Acceleration for a Linux Netfilter Firewall. – Intel® Corporation 2001
6. Лукін О.В., Василевич О.В. Створення універсальної мови опису засобів захисту мережних систем. – Вісник ЧДТУ №18, 2002, С. 124-125

УДК 004.738.056.5:519.87:519.217.2

Дячок О.П., магістрант
Лукін О.В., ст. викладач

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ДЕТЕКТОР АНОМАЛЬНОЇ ПОВЕДІНКИ МЕРЕЖНИХ АВТОМАТНИХ ПРОТОКОЛІВ

На прикладі атаки по протоколу SSH запропоновано застосування марківських процесів для опису поведінки автоматних мережних протоколів, розпізнавання мережних атак по автоматних протоколах, а також загальна методика побудови розпізнавачів, що базуються на досліджуваному методі детектування. Проведено математичне моделювання отриманого опису та розроблено простий критерій детектування розподілених атак на підбір паролів.

Постановка проблеми

Тенденція зростання всесвітньої мережі Інтернет і практично експонентний приріст користувачів мережі, які не є фахівцями в області інформаційних технологій, призводить до появи у мережі величезної кількості комп'ютерів, які не оперуються професійно і являють собою легку мішень для комп'ютерної атаки або зараження вірусами. Швидкість роботи мережі на сьогодні для користувача становить від одиниць до сотень мегабіт в секунду. Такі потужні і "добре під'єднані" комп'ютери можуть бути використані і використовуються зловмисниками як платформа для організації розподілених систем, так званих ботнетів, метою яких є проведення різного роду розподілених комп'ютерних атак, серед яких найбільш набридливими і ефективними є розподілені атаки на відмову в обслуговуванні і атаки на злам паролів та криптографічних ключів.

Складність детектування розподілених атак полягає в тому, що по поведінці вони імітують роботу легітимних користувачів мережі. Проте, інтенсивність дій, а також інші статистичні характеристики поведінки можуть відрізнятися.

Статистичні методи розпізнавання добре відомі і широко використовуються в різних галузях науки і техніки. Статистична модель виявлення вторгнень широко застосовується в системах детектування атак [1]. Проте, статистичні системи хоч і добре адаптуються під мінливий характер атак, однак достатньо громіздкі і ресурсомісткі за рахунок того, що використовуються не для аналізу трафіку конкретного сервісу, а всієї мережі.

У даній роботі розглядається побудова ефективного та невимогливого до ресурсів методу статистичного детектування атак на підбір пароля або ключів. Робота більшості протоколів мережної взаємодії (eMail, SSH, www і т.д.) може бути представлена у вигляді кінцевого детермінованого автомата з кінцевою кількістю станів і набором сигналів.

У якості тестового протоколу був обраний SSH, який, з одного боку, дуже широко застосовується, а з іншого, піддається атакам на підбір паролів практично завжди. У рамках дослідження спочатку були зібрані експериментальні дані з хостів, що піддавалися атаці, проведено їх статистичний аналіз та показано наявність переважаючих траєкторій руху кінцевого автомата в просторі станів, які свідчать про наявність чи відсутність атаки.

У статті запропоновано застосування марківських процесів для опису поведінки автоматних мережних протоколів, розпізнавання мережних атак по автоматних протоколах, а також загальна методика побудови розпізнавачів, що базуються на досліджуваному методі детектування, також проведено математичне моделювання отриманого опису та розроблено простий критерій детектування розподілених атак на підбір паролів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В Інтернеті чималу увагу приділяють атакам по протоколу SSH. Про це свідчять як сотні блогів з постами про спроби злому по SSH, так і дослідження у відомому проекті Honeynet [2].

Є переліки дій щодо забезпечення безпеки SSH системи [3]. Але вони наводять лише рекомендації для адміністратора і часто малоефективні, оскільки зводяться до зміни порту протоколу, задавання більш складних (не словникових) паролів або відмови від використання парольної аутентифікації.

Методи боротьби з атакою різні. В основному вони базуються на обмеженні кількості спроб з'єднання за певний інтервал часу шляхом взаємодії з мережним екраном [4, 5], системою журналювання операційної системи, файлом /etc/hosts.deny [3]. Проте, всі ці методи захисту ефективні тільки при різкому підвищенні кількості невдалих спроб аутентифікації. У цій же статті розглянуто підхід, що дозволяє побудувати розпізнавач, який можна застосувати і у разі «розтягнутої» у часі атаки. Але що ще важливіше, описаний нижче метод може бути узагальнений для захисту не тільки SSH, але і інших автоматних протоколів, що широко використовуються в мережі Інтернет.

Використання ланцюгів Маркова вже знайшло своє застосування в багатьох областях: боротьба зі спамом [6], розрахунок розміру страхового збору [7] і багато іншого.

Аналіз експериментальних даних

Для дослідження було обрано протокол SSH, а в якості мережної атаки – підбір пароля, зареєстрованого в системі користувача.

Процес взаємодії клієнта і сервера за протоколом SSH можна розглядати як поведінку кінцевого автомата, власне, сервера під впливом випадкового потоку сигналів від клієнтів. Проаналізуємо протокол SSH з цієї точки зору.

Згідно зі специфікацією OpenSSH пакет містить дві основні складові частини – програму ssh і серверну частину sshd. При установці з'єднання у другій версії протоколу SSH в початковій стадії безпека забезпечується відповідно до згоди Діффі-Хелмана. Інша частина сесії кодується алгоритмом симетричного кодування.

Наступним етапом є діалог аутентифікації. Клієнт намагається аутентифікуватися, використовуючи один з алгоритмів аутентифікації: host-based authentication, public key authentication, challenge-response authentication, або password authentication [8].

Нас цікавить аутентифікація за паролем. Щоб визначитися з подіями, що виникають під час роботи сервера, був переглянутий файл системного журналу ssh-демона. Надалі саме цей файл і буде використовуватися при отриманні статистичних характеристик. Такий спосіб реєстрації подій не підійде під час проектування архітектури програмної системи, але цілком підходить для дослідження. Система журналювання ssh-демона зберігає записи в файл /var/log/secure. В результаті його вивчення були виділені наступні події, що відбуваються при аутентифікації за паролем:

невірний пароль для реального (зареєстрованого на сервері) користувача;

невірний пароль для недійсного користувача;

недійсний користувач;

успішна аутентифікація;

отримана команда розриву з'єднання;

з'єднання закрите клієнтом.

Дві останні події були об'єднані в одну, тому що несуть практично однаковий зміст. Також під час аналізу було відзначено, що повідомленням другого типу у журнальному файлі завжди передує запис третього типу. Тому було прийнято рішення не враховувати надалі другу подію. Таким чином, ми отримали чотири види подій, які виникають при роботі ssh-демона і пов'язані з аутентифікацією за паролем.

Наступним етапом були введені стани, в яких може перебувати сервіс (у даному випадку сервер, ssh-демон). У найпростішому випадку набір станів сервісу будується на підставі отриманого набору подій, що відбуваються в системі. У наведеному прикладі обрано саме такий підхід, у результаті чого було введено $K = 4$ всіх можливих фазових станів *s1, s2, s3, s4*.

Таблиця 1

Стани ssh-демона

Стан	Описання
s1	невірний пароль для реального користувача
s2	недійсний користувач
s3	успішна аутентифікація
s4	з'єднання закрите клієнтом

Проаналізувавши файл журналювання ssh-демона, отримали такі графи, що ілюструють переходи системи між станами (рис. 1, рис. 2). Різною товщиною стрілок показано відсоткове відношення кількості переходів зі стану в стан до загальної кількості переходів.

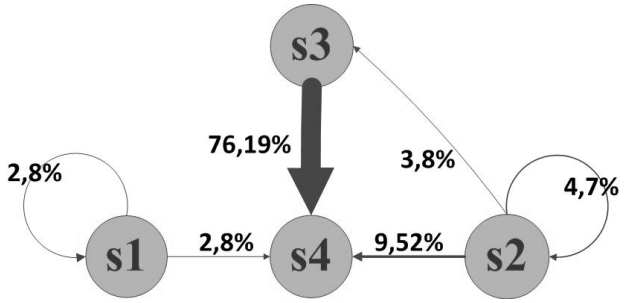


Рис. 1. Граф переходів у нормальному режимі роботи

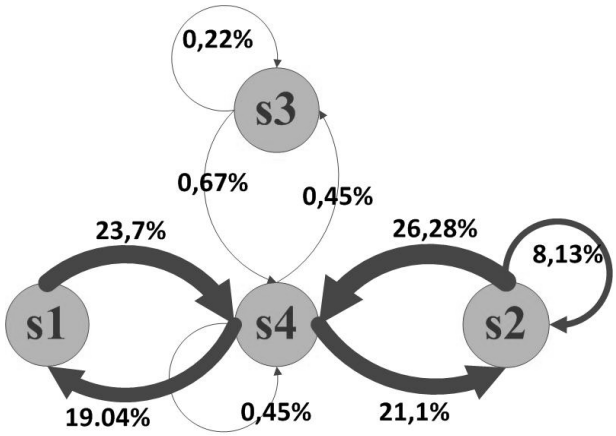


Рис. 2. Граф переходів у аномальному режимі

З рисунків видно, що переважаючі переходи при нормальній поведінці досліджуваного сервісу відрізняються від переважаючих переходів при аномальній поведінці. А якщо врахувати, що події при роботі сервера виникають по певних ланцюгах, то те ж саме можна сказати і про їх процентне відношення. Це можна продемонструвати гістограмою, отриманою в результаті аналізу. Кожен стовпець гістограми відповідає конкретному ланцюгу, вертикальна вісь показує частину кожного конкретного ланцюга в загальній кількості ланцюгів у частках від одиниці (рис. 3).

Звідси випливає припущення, що, якщо отримати опис поведінки мережного протоколу, то можна побудувати разпізнавач, який на підставі інформації про ланцюги подій

дозволить оцінити аномальність поведінки останнього, а також класифікувати ланцюги подій на нормальні та аномальні.

Для опису поведінки мережного протоколу SSH має сенс застосувати ланцюги Маркова, оскільки переходи детермінованого кінцевого автомата під дією випадкового вектора сигналів можна описати як ланцюг випадкових подій, в якому наступний стан автомата залежить, принаймні, від попереднього.

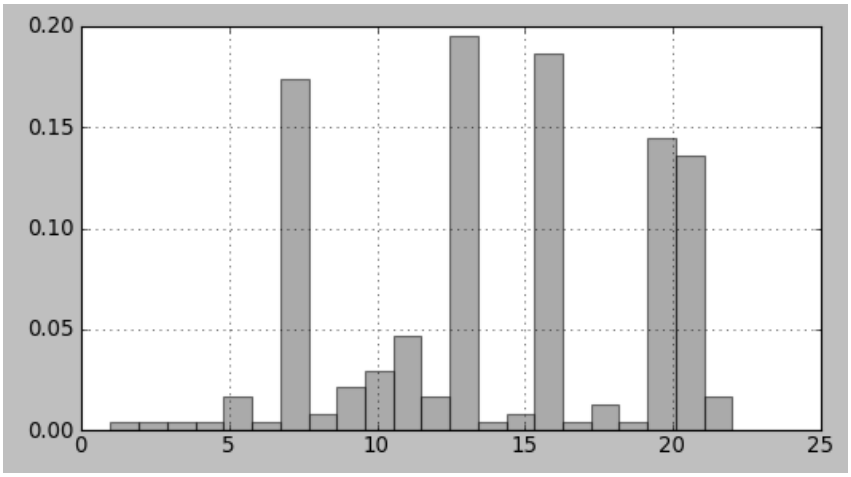


Рис. 3. Гістограма процентного вмісту ланцюгів, отримана в результаті аналізу журнального файлу ssh-демону

Суть теорії марківських процесів

Розглянемо деяку систему, що має кінцеве число K всіх можливих фазових станів $\vartheta_1, \vartheta_2, ..., \vartheta_k, ..., \vartheta_K$. Нехай в залежності від втручання випадку система крок за кроком стрибкоподібно змінює свій стан, тобто мають місце переходи $\theta_0 \to \theta_1 \to \theta_2 \to ...$, де $\theta_n = \theta(t_n)$ – стан системи через n кроків, а $\theta_0 = \theta(t_0)$ – початковий стан системи.

Повний імовірнісний опис поведінки такої системи описується скінченновимірними ймовірностями $P(\theta_0, \theta_1, ..., \theta_n)$ при різних n.

Для обчислення спільних ймовірностей $P(\theta_0, \theta_1, ..., \theta_n)$ потрібно задати початковий стан системи і вказати механізм здійснення зміни станів, що дозволяє обчислити вірогідність переходу $\{\pi_\mu\}$ [9].

Згідно [10] приходимо до висновку, що повний імовірнісний опис простого ланцюга Маркова досягається задаванням ймовірностей початкового стану і послідовності матриць ймовірностей однокрокових переходів (МЙОП).

Аналіз SSH як автоматного протоколу під впливом випадкових сигналів

Тепер розглянемо SSH саме як автоматний протокол, тобто отримаємо скінченні множини сигналів і станів автомата, що задає роботу протоколу.

З розглянутого раніше можна виділити наступні стани автомата, що задає роботу ssh-демона: очікування з'єднання (s1); очікування розриву встановленого з'єднання (s2); очікування введення пароля (s3); очікування введення пароля від незареєстрованого користувача (s4).

Автомат переходить між станами за сигналами: прийшов запит на з'єднання від існуючого (зареєстрованого в системі) користувача (sig1); прийшов запит на з'єднання від неіснуючого користувача (sig6); прийшов невірний пароль (sig5); прийшов вірний пароль (sig2); з'єднання розірвано (sig3); з'єднання закрите (sig4).

Тоді граф роботи протоколу SSH буде виглядати наступним чином (рис. 4). Приймаючи на вхід ланцюги сигналів, автомат переходить між станами, тобто утворюють-

ся ланцюги станів, які є реакцією автомата на вхідний вектор сигналів. Під час роботи сервісу автомат «ходить» по ланцюгах.

Після задіяння автомата був проведений експеримент, завдання якого – знайти вектор початкових ймовірностей (ВПЙ) і послідовність МЙОП, які відповідно до теорії однозначно задають процес Маркова.

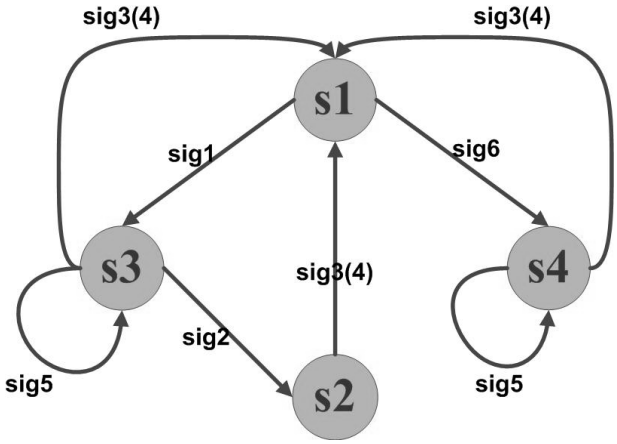


Рис.4. Автомат роботи протоколу SSH

Отримання ВПЙ, тобто вектора ймовірностей перебування системи в кожному з можливих станів автомата в початковий момент часу, полягає в збільшенні значення лічильника стану щоразу, коли новий ланцюг починається з відповідного стану, і в подальшому нормуванні за формулою:

$$p_k^0 = \frac{p_k^{0\ експ}}{\sum_{i=1}^{K} p_i^{0\ експ}},$$

де p_k^0 – ймовірність знаходження автомата у стані k у початковий момент часу.

В результаті отримано наступний вектор ймовірностей (таблиця 2).

Таблиця 2

Вектор ймовірностей початкового стану

Подія	s1	s2	s3	s4
Ймовірність	1	0	0	0

Алгоритм отримання МЙОП покажемо на прикладі. Нехай аналізується ланцюг станів $s1 \to s3 \to s3 \to s2$. Перший перехід був зроблений зі $s1$ стану в стан $s3$. Тоді в першій матриці необхідно інкрементувати елемент на перетині рядка, що задається подією $s1$, і стовпця, що задається подією $s3$. Наступний перехід – $s3 \to s3$. Дії аналогічні попереднім, за винятком того, що тепер інкрементується елемент другої матриці. І так для всіх ланцюгів.

Для нормування необхідно над кожною матрицею виконати дії у відповідності до наступної формули

$$\pi_{ij} = \pi_{ij}^{еккс} \Big/ \sum_{k=1}^{K} \pi_{ik}^{еккс},$$

де π_{ij} – елемент МЙОП на перетині i-рядка і j-стовпця.

В результаті були отримані наступні МЙОП (рис. 5).

Коли отримані ймовірності початкового стану і послідовності МЙОП, можна приступати до визначення критеріїв, за якими можна буде оцінити аномальність у поведінці досліджуваного сервісу. Але спочатку потрібно звернути увагу на природу «навча-

льного матеріалу», на підставі якого відбувалося отримання вищезгаданих ймовірностей (так зване навчання системи розпізнавання мережних атак).

$\pi(0,1)$	s1	s2	s3	s4
s1	0	0	1	0
s2	0	0	0	0
s3	0	0	0	0
s4	0	0	0	0

$\pi(1,2)$	s1	s2	s3	s4
s1	0	0	0	0
s2	0	0	0	0
s3	0,079	0,75	0,17	0
s4	0	0	0	0

$\pi(2,3)$	s1	s2	s3	s4
s1	0	0	0	0
s2	1	0	0	0
s3	0,27	0,33	0,4	0
s4	0	0	0	0

$\pi(3,4)$	s1	s2	s3	s4
s1	0	0	0	0
s2	1	0	0	0
s3	0,33	0,5	0,17	0
s4	0	0	0	0

Рис. 5. Матриці ймовірностей однокрокових переходів

Якщо навчання відбувалося при нормальній роботі сервісу, тобто при відсутності атаки, то відхилення поведінки за певні межі, обумовлені критеріями, свідчить про атаку або слешдот-ефект. Якщо ж навчання проводилося на аномальній поведінці системи, то розпізнавач може бути застосовний для визначення частини сценаріїв атак.

В результаті описаного вище експерименту були отримані МЙОП. З алгебри матриць відомо, що подібні матриці мають один і той же характеристичний багаточлен (ХМ) [11], який однозначно їх задає. Крім того, власні числа стохастичних матриць по модулю не перевищують одиницю [9]. Оскільки МЙОП змінюються в залежності від поведінки автомата (в залежності від переважаючих ланцюгів), то було висунуто припущення, що по коренях характеристичного рівняння матриці (ХРМ) можна судити про переважаючі сценарії поведінки автомата. Для перевірки було проведено експеримент.

Математичне і чисельне моделювання

Сутність експерименту полягає в тому, що генерується безліч векторів вхідних сигналів, які пропускається крізь автомат, у результаті чого отримуємо набір ланцюгів його станів. На підставі отриманого набору виконується обчислення ВПЙ і послідовності МЙОП, за якими отримуються власні числа. Математичне моделювання і статистичні експерименти були проведені за допомогою програми Maple.

Для генерації векторів сигналів задається кількість таких векторів, самі вектори та їх процентний вміст у вихідній множині. Якщо сума процентних величин менше 100%, то останні вектори генеруються за випадковим законом, який також задається.

За результатами дослідження файлів журналювання демона SSH було отримано процентний вміст цих ланцюгів при нормальному режимі роботи, а також помічено, що підбір пароля для користувача root відбувався за таким ланцюгом $s1 \to s3 \to s5 \to s1$. Під час експерименту крок за кроком збільшувався процентний вміст ланцюгів подій, характерних для атаки. На кожному кроці відбувалося отримання власних значень матриці $\boldsymbol{p}(0,3)$, яка згідно [10] отримується шляхом добутку послідовності МЙОП. $\boldsymbol{p}(0,3)$ – це матриця ймовірностей за три переходи по ланцюгу.

Всі можливі ланцюги відповідно до специфікації, що задаються автоматом протоколу SSH (рис. 4), можна відобразити за допомогою наступного графу (рис. 6).

У результаті був отриманий графік залежності коренів ХР (вертикальна вісь) від процентного вмісту аномального ланцюга (горизонтальна вісь) у загальній кількості ланцюгів (рис. 7).

У загальному випадку число коренів ХМ квадратної матриці розмірністю $n \times n$ дорівнює n. За результатом, перший корінь дорівнює нулю і кратність цього кореня – три. Четвертий же корінь прямує до нуля із збільшенням процентного вмісту аномального ланцюга. А це підтверджує той факт, що за власними значеннями МЙОП можна оцінити характер поведінки автомата мережного протоколу.

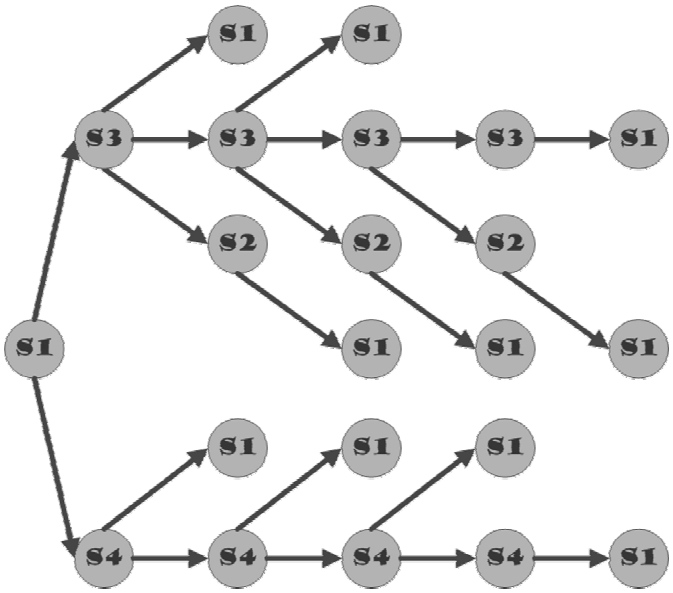


Рис .6. Граф можливих ланцюгів

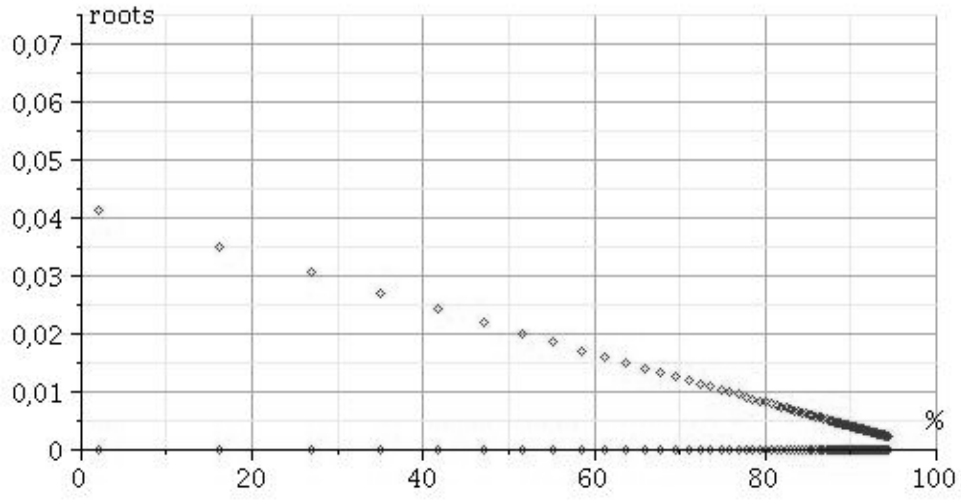


Рис. 7. Залежність коренів ХР від процентного вмісту аномального ланцюга

Критерії аномальної поведінки

Найпростішим випадком є критичні ланцюги, поява яких однозначно свідчить про наявність атаки. Такі ланцюги можуть задаватися під час запуску системи детектування адміністратором хоста. Також можна передбачити кількісний поріг появи таких критичних ланцюгів за досліджуваний інтервал часу. У цьому випадку відбувається визначення аномальності і блокування атакуючого на рівні окремих IP адрес.

Чисельним критерієм може виступити, наприклад, сумарне середньоквадратичне відхилення коренів ХР при аномальній поведінці від коренів ХР при нормальній роботі мережного протоколу.

У наступному експерименті до ланцюгів, що характерні для нормальної роботи демона, додавалися згенеровані випадковим чином ланцюги. У результаті було підрахо-

вано середньоквадратичне відхилення кореня (рис. 8). По горизонтальній осі відкладався процентний вміст заданого ланцюга, а по вертикальній – значення кореня XP.

За результатом експерименту середньоквадратичне відхилення вийшло рівним 0,003.

Отримане середньоквадратичне відхилення разом із середнім арифметичним значенням задають довірчий інтервал значень кореня XP, в межах якого поведінку протоколу можна вважати нормальною.

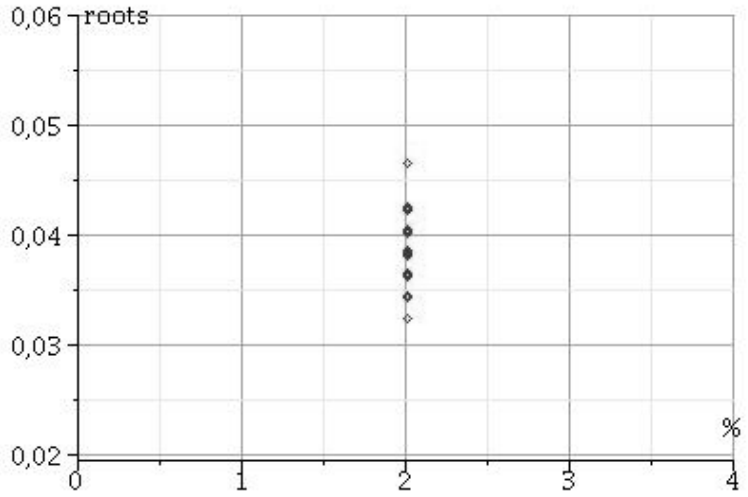


Рис. 8. Отримання середньоквадратичного відхилення кореня XP

Висновки з даного дослідження

В результаті проведеного дослідження було встановлено:

поведінка автоматного мережного протоколу може бути описана за допомогою ланцюгів Маркова;

критерієм оцінки аномальності роботи автоматного мережного протоколу може бути як середньоквадратичне відхилення коренів XPM, так і задавання критичних ланцюгів.

Робота розпізнавача полягає у зборі статистики про події, що відбуваються під час нормальної роботи сервісу, отримані на її підставі МЙОП і середньоквадратичні відхилення коренів XPM. В інший час розпізнавач використовує отримувану інформацію про події для обчислення коренів XPM за певний часовий інтервал спостереження. Далі відбувається перевірка входження отриманих коренів у довірчі інтервали, що задаються середньоквадратичним відхиленням.

Також були виділені наступні кроки побудови розпізнавача мережної атаки:

всебічне дослідження самого сервісу, який необхідно захистити від мережної атаки. Результатом такого дослідження буде набір подій, що відбуваються під час роботи сервісу;

аналіз отриманих даних, оптимізація множини подій;

на підставі подій будується множина сигналів і станів автомата, ща задає роботу протоколу;

побудова автомата;

вибір додаткових критеріїв визначення аномальної поведінки системи (крім вже описаних критеріїв);

навчання розпізнавача;

запуск розпізнавача.

Описаний метод побудови розпізнавача і детектування аномальної поведінки може бути використаний для будь-якого автоматного протоколу взаємодії.

Список літературних джерел

1. Лукін О.В., Рак С.В. Статистичні методи виявлення мережних атак // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. — 2005. — №21. — 204 с.
2. Проект Honeynet [Электронный ресурс] = The Honeynet Project : To learn the tools, tactics and motives involved in computer and network attacks, and share the lessons learned. — Text data. — Режим доступа: http://www.honeynet.org, свободный. — Англ.
3. OpenSUSE [Электронный ресурс]. — Text data. — Режим доступа: http://en.opensuse.org/SDB:SSH_systematic_attack_protection, свободный. — Содерж.: SSH systematic attack protection. — Англ.
4. The Social Hacker [Электронный ресурс] : / by Anton V. Staaf. — Text data. — Режим доступа: http://www.socialhacker.com/content/howtos/ssh_protection.php, свободный. — Содерж.: Block brute force attacks with iptables. — Англ.
5. Web hosting [Электронный ресурс] : Tips on finding the right host, review of the hosts, setting up servers, and other web hosting related topics - from perspective of a software developer / by Scott Yang. — Text data. — Режим доступа: http://hostingfu.com/article/ssh-dictionary-attack-prevention-with-iptables, свободный. — Содерж.: SSH Dictionary Attack Prevention with iptables. — Англ.
6. Всероссийская Научная Конференция [Электронный ресурс] : /Павлов В.А., Добров Б.В. — Text data. — Режим доступа: http://rcdl.ru/doc/2009/311_317_Section10-1.pdf, свободный. — Содерж.: Метод обнаружения поискового спама, порожденного с помощью цепей Маркова
7. Статистический портал StatSoft [Электронный ресурс]. — Text data. — Режим доступа: http://www.statsoft.ru/home/portal/taskboards/bonusmalus.htm, свободный. — Содерж.: Автомобильное страхование. Система Бонус-Малус (СБМ). — Рус.
8. OpenSSH. Keeping your communiqués secret [Электронный ресурс]. — Text data. — Режим доступа: http://www.openssh.com/, свободный. — Англ.
9. Сарымсаков Т.А. Основы теории процессов Маркова. — М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1954. — 208 с.
10. Тихонов В.И., Миронов М.А. Марковские процессы. — М.: «Сов. радио», 1977. — 488 с.
11. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. — М.: Наука, 1967. — 576 с.

УДК 004.94
Зинченко А.Л., ст. преподаватель
Коненко А.П., магистрант

Черниговский государственный технологический университет, г. Чернигов, Украина

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ ПРИ ПРОТОТИПИРОВАНИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Рассмотрены проблемы, возникающие при моделировании и прототипировании сложных информационных систем. В частности, подробно рассмотрена проблема фазовых переходов

Введение

В настоящее время парадигма объектно-ориентированного подхода (ООП) приобрела широкую популярность. Концептуальной основой ООП является объектная модель, которая позволяет описывать предметную область на естественном языке, поскольку ориентирована на человеческое восприятие мира. При всех своих достоинствах ООП еще имеет ряд нерешенных проблем.

Одной из самых актуальных является проблема моделирования фазовых переходов [1].

Рассмотрим предметную область (ПО) некой системы, например, сложная информационной системы управления станком (прессом) для изготовления шифера. В ней будут присутствовать такие объекты как заготовка, шифер и переход заготовки в шифер. То есть, вначале у объекта были свойства – название и прочность материала, толщина, ширина, масса. В результате обработки заготовки мы получили объект, но уже с другими свойствами – высота волны, название модели шифера, высота, ширина, толщина (рисунок 1).

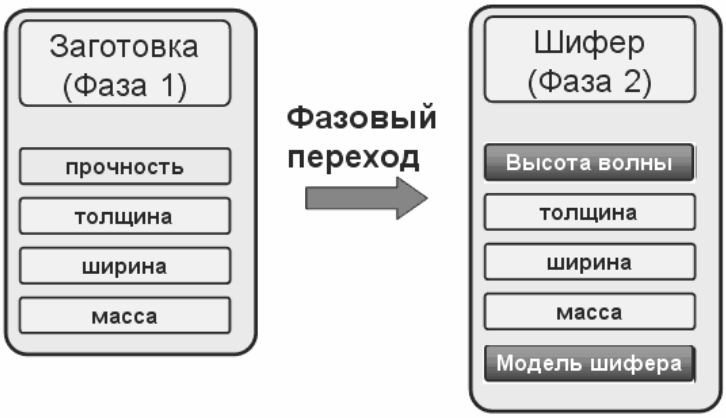


Рис. 1. Фазовый переход

Используя ООП, можно создать модель ПО. Однако, первоначально необходимо определить является ли шифер и заготовка одним объектом. Если да, то будет создан один класс для объекта и определяются все возможные свойства на все возможные фазовые переходы. В этом случае возникает проблема со свойствами, которые характерны для одной фазы и не имеют никакого отношения к другим, – избыточность. Если считается, что это разные объекты (в каком-то смысле это разные сущности), то для них создаются разные классы, но при фазовых переходах какие-то свойства (качества) копируются из одного объекта в другой. При этом при создании нового объекта фазы надо уничтожать старый объект прежней фазы, что также не совсем правильно моделирует реальную ПО и связано с особенностями реализации. То же самое относится не только к свойствам объекта, но и к его поведению. Таким образом,

от интерпретации процесса фазовых переходов зависит механизм его реализации средствами объектно-ориентированного программирования, что накладывает определенные ограничения на логическую структуру самой ПО.

Еще одна проблема объектного подхода – это проблема разделения объекта (например, распиливание материала на заготовки для станка). При разделении получаются разные объекты, для каждого из которых необходимо создать отдельный класс. Однако, некоторые свойства могут остаться такими же, что и у исходного объекта, и их надо скопировать (например, толщина заготовки). В этом случае возникает проблема, связанная с тем, что делать с прежним объектом: оставлять его для модели, например для истории, или его можно уничтожить?

Помимо перечисленных, существует еще ряд проблем использования ООП для моделирования предметных областей. В теории ООП готовые решения данных проблем отсутствуют.

Исходя из этого, задача предоставления готовых решений для вышеперечисленных проблем является актуальной.

Способы решения проблем объектно-ориентированного подхода к моделированию данных

На сегодня одним из наиболее популярных методов проектирования является объектный. В результате объектно-ориентированного анализа и объектно-ориентированного дизайна можно получить "хороший" проект информационной системы (ИС), прозрачный, удовлетворяющий требованиям, удобный для коллективной разработки, тестирования и отладки, развиваемый и допускающий повторное использование компонентов.

Стандарт UML2.0[2] позволяет создавать любые пользовательские стереотипы, но не одно из популярных CASE средств не предоставляет возможности задать правила обработки пользовательского стереотипа.

Поэтому одним из способов решения данных проблем является расширение способов описания предметной модели путем внесения в модель дополнительной информации (стереотипов).

В соответствии с парадигмой ООП вся программная система представляет собой набор некоторых объектов ПО. Стереотип будет представлять собой некоторую логику, дополнительный программный код, который создается по предопределенному шаблону и добавляется к проблемному объекту (например, тому, который должен совершить фазовый переход), тем самым решая проблему.

Фактически для решения проблемы фазовых переходов и разделения объекта, к этим объектам нужно добавить дополнительную логику (стереотип) (рисунок 2). Назовем этот стереотип «phaseTransition».

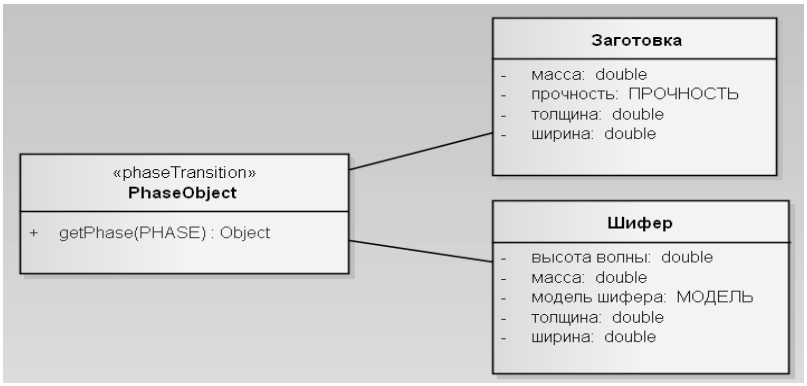


Рис. 2. Фрагмент UML диаграммы со стереотипом «phaseTransition»

Если считать, что заготовка и шифер – один и тот же объект, то общая схема работы стереотипа представлена на рисунке 3.

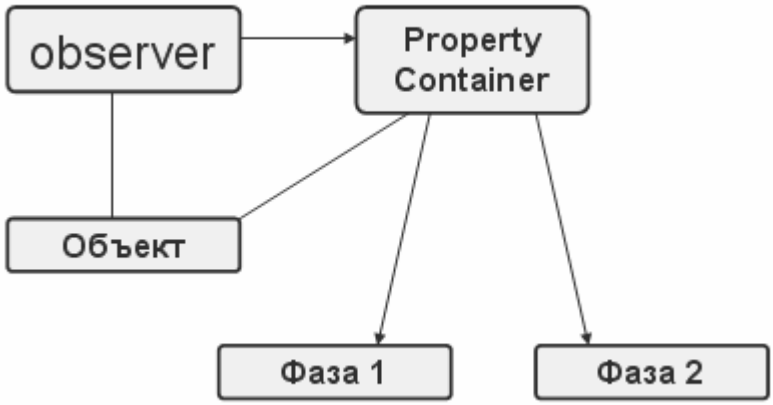


Рис. 3. Схема стереотипа «phaseTransition»

Реализовать схему работы стереотипа «phaseTransition» можно двумя способами: стандартными средствами ООП и с помощью пост-объектных технологий (ПООТ).

Возможная реализация данного стереотипа стандартными средствами ООП будет представлять композицию двух фундаментальных шаблонов проектирования: Observer и Property Container.

Каждый раз, когда объект будет переходить из одной фазы в другую, Observer будет информировать Property Container о том, что необходимо добавить к объекту новые свойства, соответствующие данной фазе.

Property Container (контейнер свойств) – шаблон проектирования, который позволяет приложению динамически расширяться.

Наблюдатель, Observer — поведенческий шаблон проектирования. Также известен как «подчинённые» (Dependents), «издатель-подписчик» (Publisher-Subscriber). Он определяет зависимость типа «один ко многим» между объектами таким образом, что при изменении состояния одного объекта все зависящие от него оповещаются об этом событии.

Диаграмма классов шаблона Observer представлена на рисунке 4.

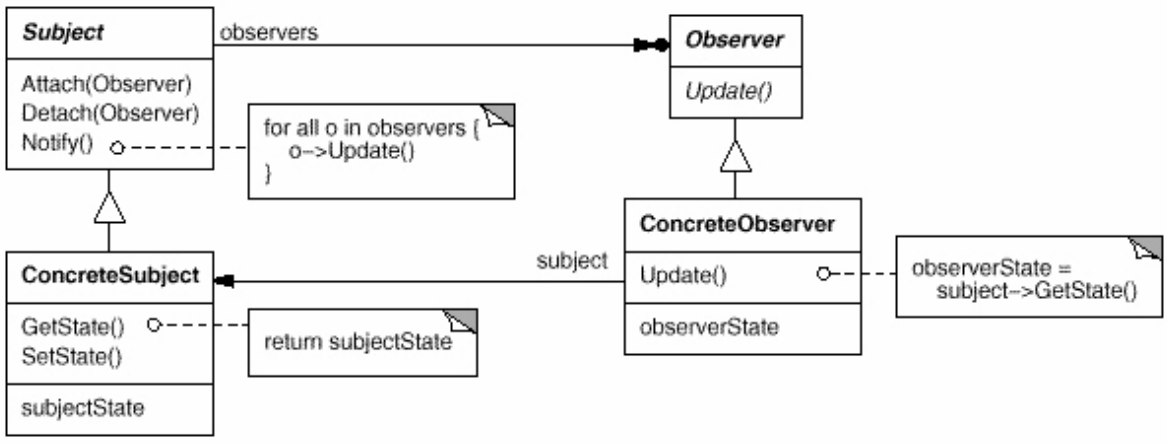


Рис. 4. Диаграмма классов шаблона Observer

Затруднения при использовании данного шаблона вытекают из реализуемой в нем модели, построенной на обмене сообщениями. Можно использовать как специальную, так и универсальную стратегию рассылки сообщений, каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки.

При использовании универсальной стратегии сложнее определить, что конкретно происходит с наблюдаемым объектом, поскольку сообщения носят универсальный характер. Кроме того, универсальная стратегия характеризуется избыточным потоком сообщений — некоторые события, пересылаемые наблюдателям, последними никак не обрабатываются, а лишь влекут за собой увеличение накладных расходов.

В качестве примера увеличения накладных расходов при обработке лишних сообщений можно привести вызов функции перехода из фазы в фазу. Универсальная стратегия также требует дополнительных затрат на разработку классов наблюдателей, так как им нужно анализировать сообщения и вычленять из них необходимую информацию.

При специальной стратегии сообщения, направленные на решение узкой задачи обмена информацией наблюдаемого объекта с наблюдателями, выдвигают повышенные требования относительно программирования первого, поскольку он должен генерировать последовательности извещений при возникновении определенных условий. Это может повлечь за собой и увеличение сложности объектов-наблюдателей, так как им придется обрабатывать сообщения разных типов.

UML диаграмма стереотипа «phaseTransition» представлена на рисунке 5.

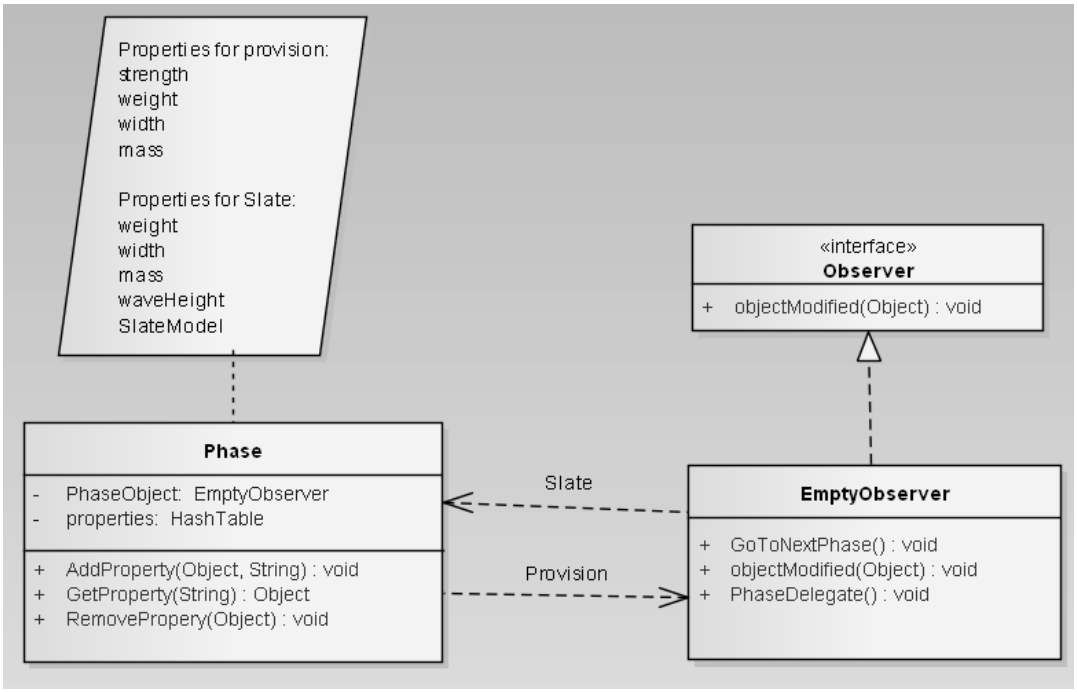


Рис. 5. UML диаграмма стереотипа «phaseTransition»

Инициация перехода будет происходить посредством делегирования и возлагаться на разработчика, для этого предусмотрен метод PhaseDelegate.

Если же считать что заготовка и шифер — это два различных объекта, то тогда для реализации стереотипа «phaseTransition» достаточно паттерна проектирования подписчик-наблюдатель в общем виде, представленном на рисунке 4. UML диаграмма стереотипа «phaseTransition» для этого случая представлена на рисунке 6.

Рассмотрим аспектную реализацию данного шаблона. В структуре шаблона Observer можно выделить части, которые являются общими для всех экземпляров этого

шаблона, также можно выделить специфичные для каждой конкретной реализации. На рисунке 7 представлена модель шаблона Observer, реализованного средствами аспектно-ориентированного программирования (АОП).

На диаграмме присутствует абстрактный аспект, который инкапсулирует в себе реализацию общих повторно используемых частей для всех реализаций шаблона и определяет поведение шаблона, конкретные расширения абстрактного аспекта содержат части, специфичные для конкретной реализации.

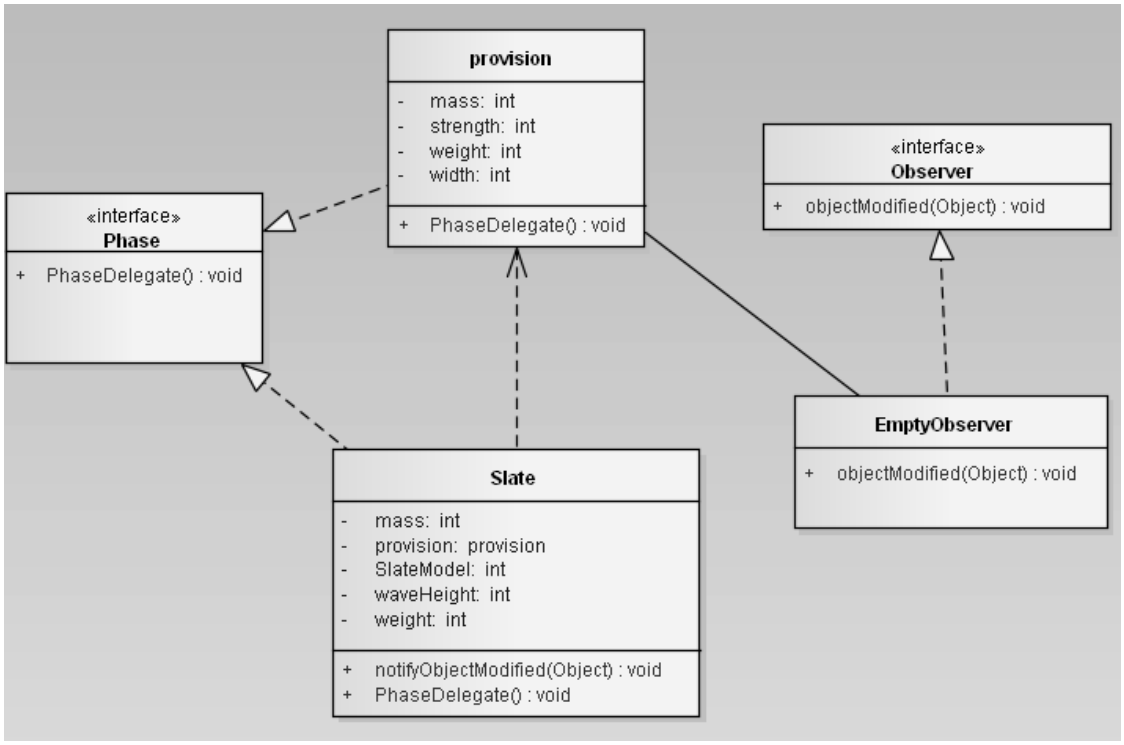


Рис. 6. UML диаграмма стереотипа «phaseTransition»

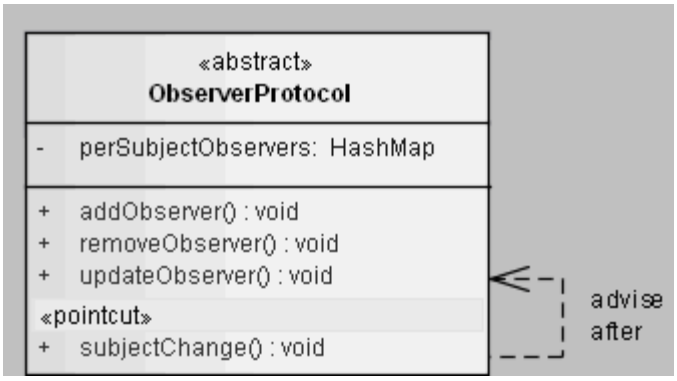


Рис. 7. Модель шаблона Observer

Общими частями в структуре шаблона Observer являются:

- существование ролей Subject и Observer. Роли реализованы как вложенные интерфейсы Subject и Observer в абстрактный аспект. Их главное назначение — разделять роли Observer и Subject, для которых в абстрактном аспекте определяется поведение в шаблоне. Конкретные реализации шаблона установят эти роли на конкретные классы;
- отображение Subject на Observer. Реализовано в виде хеш-таблицы (perSubjectObservers) связанных списков для хранения связи объектов

типа Observer для каждого объекта Subject. Каждое расширение этого абстрактного аспекта будет иметь свой собственный экземпляр отображения. Внесение изменений в отображение Observer-Subject реализовано посредством методов addObserver() и removeObserver(), которые могут быть вызваны для установления соответствия между объектами Observer и Subject.

UML диаграмма стереотипа «phaseTransition» для этого случая представлена на рисунке 8.

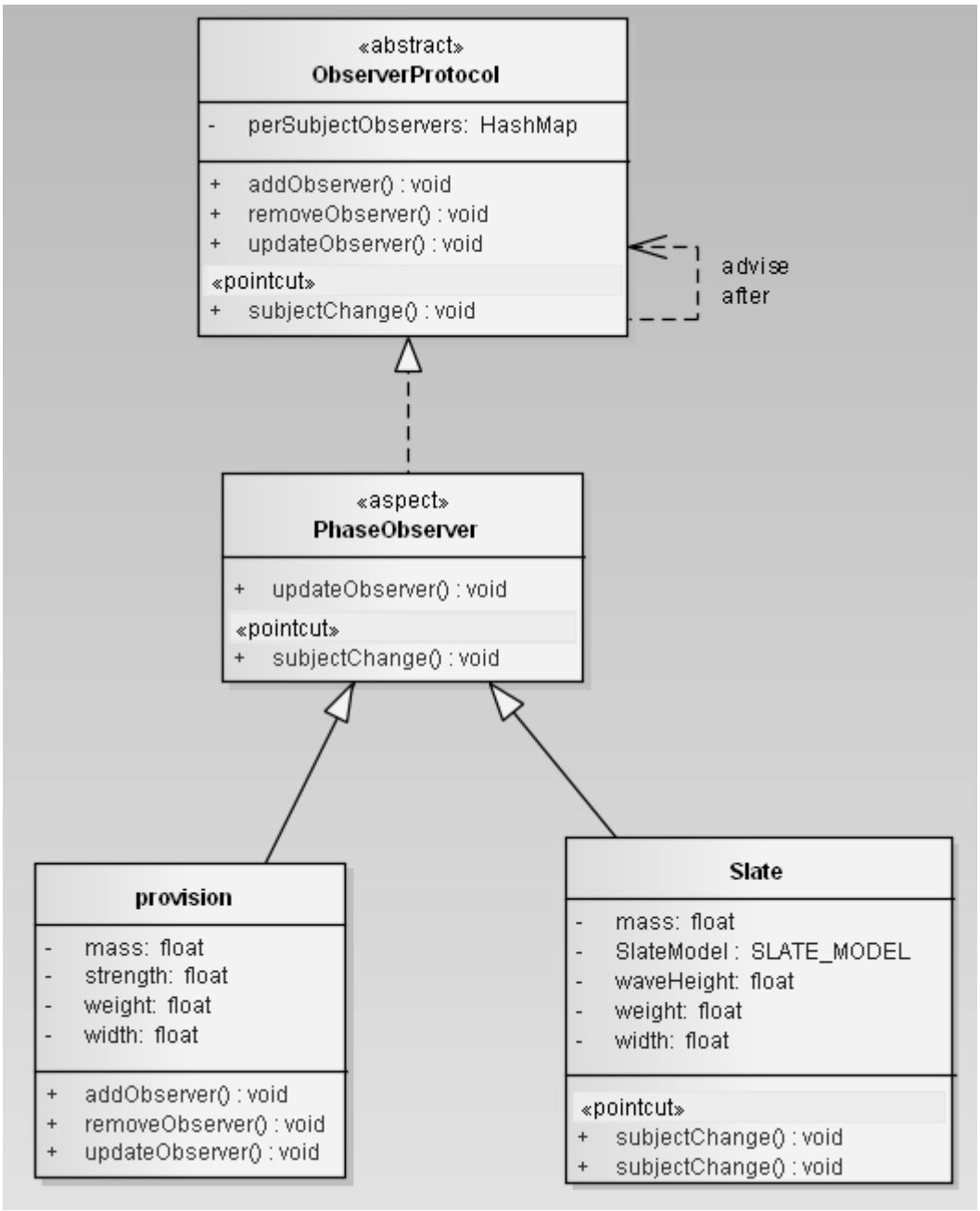


Рис. 8. UML диаграмма стереотипа «phaseTransition»

В повторно используемом абстрактном аспекте логика оповещения определяется общей концепцией, по которой могут измениться объекты Subject (abstract pointcut subjectChange), что должно привести к обновлению всех его обозревателей (вызов абстрактного метода updateObserver для всех обозревателей измененного объекта

Subject). Здесь не вводится понятие того, что может привести к обновлению объекта Subject, или то, каким образом должны быть обновлены объекты Observer. Здесь определяется набор абстрактных точек выполнения программы, которые могут привести к изменению состояния объекта Subject и после изменения состояния вызвать оповещение соответствующих объектов Observer. Определяется абстрактный механизм обновления объектов обозревателей — выделяется сквозная функциональность на этом уровне абстракции.

Каждая конкретная реализация шаблона определяет собственный вид отслеживания взаимосвязей между объектами. В конкретной реализации абстрактного аспекта определяется следующее:

9. определяются компоненты, которые играют роли Subject и Observer в этой конкретизации шаблона Observer;
10. переопределяются точки выполнения программы, объявленные в родительском аспекте как абстрактные, влияющие на обновление связанных с Subject объектов Observer посредством выделения желаемого поведения из объектов, играющих роль Subject;
11. реализуется механизм уведомления и обновления объектов обозревателей посредством конкретизации метода updateObservers().

В аспектной реализации шаблона Observer весь код, касающийся взаимосвязи между ролями Observer и Subject, перемещен в аспекты и компоненты, играющие эти роли, не связанные друг с другом.

Критерии сравнения аспектной реализации с объектно-ориентированной

В процессе развития информационных технологий и программирования, в частности, были предприняты попытки дать количественную оценку характеристикам качества программного обеспечения путем разработки численных показателей, для чего осуществляется их формализация вводом метрик. Применение метрик позволяет упорядочить разработку, испытания, эксплуатацию и сопровождение программного продукта. В зависимости от характеристик и особенностей показателя качества применяются различные виды метрик и шкал для измерения показателей.

Проведя объективный анализ представленных вариантов использования аспектных реализаций по сравнению с объектно-ориентированными реализациями, используя проведенные В.Павловым в [3] расчеты по следующим направлениям:
оценки топологической и информационной сложности программ;
оценки уровня языковых средств и их применения;
оценки трудности восприятия и понимания программных текстов, ориентированные на психологические факторы, существенные для сопровождения и модификации программ, можно сделать вывод о положительном эффекте от применения как аспектного, так и объектного подхода для реализации стереотипа «phaseTransition».

Выводы и направления дальнейших исследований

Рассмотрены проблемы, возникающие при моделировании и прототипировании сложных информационных систем.

В частности, подробно рассмотрены проблемы фазовых переходов. Способ решения этой проблемы заключается в введении стереотипа «phaseTransition» в диаграмму сущностей на этапе моделирования. В дальнейшем на основании этой диаграммы будет сгенерирован прототип.

При прототипировании планируется использовать как аспектную, так и объектную реализацию шаблона «подписчик-издатель», что позволит унифицировать подход к решению одной из проблем ООП.

Список литературных источников

1. Павловский В.И., Зинченко *А.Л.* Система моделирования слаботипизированных иерархических данных. Вестник Черниговского государственного технологического университета. Сборник – Чернигов: ЧГТУ, 2009 – №37. – 292 с.
2. UML – Unified Modeling Language, UML2.0 Infrastructure Specification, 2005. http://www.omg.org/spec/UML/2.0
3. Анализ вариантов применения аспектно-ориентированного подхода при разработке программных систем.:// http://www.javable.com/columns/aop/workshop/01/
4. MOF – Meta Object Facility, MOF 2.0 Specification, 2004. http://www.omg.org/spec/MOF/2.0
5. XMI – XML Metadata Interchange, XMI 2.0 Specification, 2005 http://www.omg.org/spec/XMI/2.0
6. OCL – Object Constraint Language, OCL Available Specification Version 2.0, 2006. http://www.omg.org/spec/OCL/2.0
7. EMF – Eclipse Modeling Frameworkhttp://www.eclipse.org/modeling/emf/

УДК 004.274

Д.Д. Грицай, магістрант
А.І. Роговенко, ст. викладач

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ КОМП`ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ТЕСТУВАННЯ ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЇВ НА БАЗІ SOFT-ПРОЦЕСОРІВ

Проведено огляд комп'ютерної системи тестування цифрових пристроїв на базі soft-процесорів. Визначені складові елементи цієї системи та зв'язки між ними. Розроблена архітектура системи, яка дозволяє ґрунтовніше тестувати програмне та апаратне забезпечення, на якому воно працюватиме.

Вступ

Сучасні технічні засоби у промисловості, побуті, сфері управління базуються на основі мікропроцесорної та мікроконтроллерної техніки. Це засоби на основі управління, контролю, диспетчеризації в системах тепло та енергозбереження, комп'ютерні системи управління виробництвом, касові апарати, апаратура діагностики, побутові прилади. Для керування даними засобами, необхідні спеціалізовані програмно-апаратні рішення. Зі складністю таких пристроїв зростає складність програм працюючих на них, а також програм, що керують безпосередньо цим пристроєм. Тому для вирішення кожного завдання умовно виділяють різні програмні методи. Саме з цього програмісту на етапі проектування програмного продукту необхідно чітко розуміти, який метод необхідно використовувати.

Комплексне використання технічних програмних та методичних засобів разом з розвиненими елементами контролю знань студентів дозволить якісно підвищити рівень підготовки і скоротити час на вивчення складних сучасних технологій. Також це дозволить забезпечити паралельне вивчення матеріалів суміжних курсів, і дасть студенту можливість розглядати вбудований пристрій як систему програмних і апаратних засобів в цілому.

Аналіз досліджень і основних публікацій

На даний час підготовка інженерів з дисциплін, пов'язаних з проектуванням вбудованих комп'ютерних систем, проходить у два етапи: окреме вивчення особливостей нової, для студента, архітектури процесора і вивчення однієї з нових операційних систем реального часу для даної архітектури. Оскільки часто апаратна частина вивчається тільки теоретично через відсутність дорогих апаратних налагоджувальних засобів, то дані етапи між собою ніяк не пов'язані, тобто, налагодження і запуск програмного забезпечення відбувається на програмних засобах, що емулюють апаратуру. Також можливий варіант створення цифрового пристрою з не складною архітектурою за допомогою мов апаратного опису та програмованих логічних інтегральних схем. З точки зору проектування програмного забезпечення для такого пристрою, навчальний процес не доходить далі написання простих standalone додатків, оскільки операційні системи не будуть підтримувати реалізованих студентом специфічних апаратних рішень, а написання своєї ОС є дуже складним завданням і виходить за рамки навчальних курсів.

У розглянутих методах підготовки не застосовуються системи для управління навчанням, які дозволили б проводити тестування учнів, вести облік виконаних завдань, застосовувати різні методи до навчання: дистанційне, змішане, очне. Дані системи дозволили б, перш за все, організувати тісну взаємодію між викладачем і студентами та сприяли б виконанню навчальних планів.

Формування цілі статті

У роботі досліджуються засоби для вивчення цифрових пристроїв, а також висвітлюються особливості побудови комп`ютерної системи тестування цифрових пристроїв на базі soft-процесорів, які завдяки використанню взаємної інтеграції суміжних дисциплін «Проектування вбудованих комп'ютерних систем» і «Програмне забезпечення спеціалізованих комп'ютерних систем», дозволяють ґрунтовніше тестувати програмне забезпечення для вбудованих операційних систем і систем реального часу та апаратне забезпечення, на якому воно працюватиме. При цьому мають враховуватися як програмні, так і апаратні особливості всього цифрового пристрою.

Виклад основного матеріалу дослідження

Основним недоліком існуючих систем на базі архітектури MIPS [1], ST7 [2], Microblaze [3], NIOS II [4] Cortex M1 [5] для тестування вбудованих цифрових пристроїв є їх проприєтарність, закритість апаратної, а в деяких випадках і програмної підсистеми, що не дає змоги в повній мірі опанувати роботу системи.

Методика, що дозволяє найкращим чином вивчати вбудовані пристрої, повинна володіти наступними властивостями:

1. пропонувати студентові вибирати будь-яку апаратну архітектуру процесора, який буде головним керуючим пристроєм вбудованої системи, а також гнучко налаштовувати набір і режими роботи периферійних пристроїв;

2. надавати гнучке програмне забезпечення, набори бібліотек і готових прикладів у вигляді вихідних кодів для роботи над обраними апаратними засобами;

3. мати у своєму складі модуль для контролю, тестування та атестації студентів за даним напрямком.

Для успішної побудови такої методики, в першу чергу, необхідно правильно вибрати апаратну платформу, в основі якої може перебувати:

- DSP-процесор (BlackFin, OMAP, TMS32xx);
- мікропроцесор (PowerPC, SPARC);
- багатофункціональний мікроконтроллер (AVR32, ARM7, ARM9);
- ПЛІС (програмована логічна інтегральна схема).

Перші три варіанти представляють собою вже одне з готових апаратних рішень, що реалізують базовий набір периферійних інтерфейсів.

Останній варіант заслуговує особливої уваги. ПЛІС, яка завдяки своїй структурі дозволяє створювати пристрої будь-якої складності, починаючи від тригерів, регістрів, лічильників і закінчуючи багатопроцесорними системами, не вимагаючи при цьому зміни решти функціонального складу налагоджувальної плати.

При виборі ПЛІС необхідно визначитися з реалізованим на ній soft-процесором: його розрядністю, типом архітектури, системної шини і набором периферійних пристроїв, кількістю зайнятих осередків «пам'яті». Важливою умовою є його безкоштовність і відкритість. Даним вимоги повністю задовольняє soft-процесор LEON3, спеціально розроблений для пристроїв, що працюють у відкритому космосі, що говорить про його високу надійність.

Подібні вимоги висуваються і до програмного забезпечення. Операційні системи та системи реального часу сімейства Linux мають безліч плюсів, що вигідно їх відрізняє від інших ОС:

- відкритий вихідний код;
- вільне та безкоштовне поширення;
- підтримка великої кількості архітектури процесорів і набору периферійних пристроїв.

Останньою в списку, але не останньою за значимістю, є модульна електронна методична система навчання, яка складається з п'яти взаємопов'язаних компонентів: цілей і змісту навчання, методів, форм і засобів навчання. Під час використання такої системи увага повинна приділятися наступним аспектам:

- підтримка різних підходів до навчання: дистанційне, змішане, очне;
- простий, інтуїтивно зрозумілий, ефективний, крос-платформний інтерфейс у вікні браузера;
- детальний опис курсів і доступність у розумінні будь-якому користувачеві;
- структурованість курсів за категоріями. Наявність пошуку з налаштованими параметрами.

На підставі вимог, що пред'являються до апаратного забезпечення комп'ютерної системи, для вивчення вбудованих спеціалізованих пристроїв можна виділити ряд функціональних блоків.

Апаратне забезпечення системи повинно містити три функціональних блоки – цільова налагоджувальна плата, плата розширення і персональний комп'ютер.

Особливе місце в ієрархії програмного забезпечення комп'ютерної системи для тестування вбудованих мікропроцесорних систем займають системи автоматизованого проектування цифрових пристроїв (САПР), крос-компілятори, а також програмно-методичні засоби для контролю і тестування фахівців по досліджуваному напрямку.

Система дистанційного навчання має містити:

- набір тестів і питань для контролю студентів;
- теоретичні відомості та приклади;
- завдання для виконання лабораторних робіт та курсових проектів.

Узагальнена архітектура комп'ютерної системи для тестування і вивчення вбудованих мікропроцесорних систем представлена на рисунку 1.

До складу комп'ютерної системи для вивчення вбудованих і спеціалізованих пристроїв входять як апаратні, так і програмні засоби. До апаратних відносяться засоби обчислювальної техніки, засоби бездротової передачі даних, засоби введення-виведення, інтерфейси периферійних пристроїв, комунікаційні і налагоджувальні інтерфейси, джерела живлення та інші допоміжні компоненти. Сукупність перерахованих взаємодіючих апаратних засобів забезпечує сучасну навчальну базу для тестування вбудованих і мікропроцесорних систем.

Важливою складовою системи вивчення вбудованих спеціалізованих пристроїв є програмне забезпечення. За допомогою сучасних засобів розробки програмного забезпечення інженери отримують можливість створення додатків і користувальницького інтерфейсу, найкращим чином орієнтованих на виконання якої-небудь певної задачі. Істотною перевагою технології комп'ютерних вбудованих спеціалізованих систем є модульність. У разі створення складної спеціалізованої системи доцільно розробити окремі програмні модулі для кожного з її вузлів. Подібна архітектура не лише спрощує процес розробки системи, але і дозволяє проводити гнучке налагодження кожного з її вузлів окремо за допомогою роботи з відповідним програмним модулем.

Середовище дистанційного навчання студентів містить у собі чотири основні вкладки:

- методичні вказівки;
- теоретичні відомості;
- тестування;
- контроль виконаних завдань.

У вкладці «Методичні вказівки» дублюються теоретичні та практичні відомості з лабораторних робіт. Сама ж вкладка поділяється на групи з предметів «Програмне забезпечення спеціалізованих комп'ютерних систем» і «Проектування вбудованих комп'ютерних систем». Кожна підгрупа поділяється на підгрупи: вказівки до виконання лабораторних робіт та вказівки до виконання курсових проектів.

«Теоретичні відомості» містять у собі дані про налагоджувальні плати, плати розширення, призначення перемикачів, фізичних роз'ємів, призначення і маркування мікросхем, а також відомості, які не увійшли в методичні вказівки.

Розділ "Тестування" містить тести і контрольні запитання для оцінювання знань студента протягом семестру. Тестування включає три рівні складності завдань:

- питання з вибором варіанта відповіді;
- прості теоретичні питання (найчастіше визначення);
- повні розгорнуті відповіді з прикладом зазначення коду або команд.

Вкладка «Контроль виконаних завдань» служить для контролю успішності студента як самим студентом, так безпосередньо і викладачем.

Висновки

У результаті була спроектована і запропонована архітектура системи, в якій були усунуті перераховані вище недоліки і додані додаткові функції. До складу комп'ютерної системи для вивчення вбудованих і спеціалізованих пристроїв входять як апаратні і програмні, так і методичні засоби. До апаратних відносяться засоби обчислювальної техніки, засоби бездротової передачі даних, засоби введення-виведення, інтерфейси периферійних пристроїв, комунікаційні і налагоджувальні інтерфейси, джерела живлення та інші допоміжні компоненти. Сукупність перерахованих взаємодіючих апаратних засобів забезпечує сучасну навчальну базу для тестування вбудованих і мікропроцесорних систем.

Розроблена система характеризується новизною і відкритістю архітектури, передбачає можливість взаємодії всіх вхідних в її склад елементів, за рахунок наявності безпровідних засобів зв'язку дозволяє проводити дослідження одночасно декількох пристроїв, розташованих на відстані один від одного, і має низьку вартість. Відкритість апаратного та програмного забезпечення системи дозволяє використовувати її як в промислових, так і в навчальних цілях.

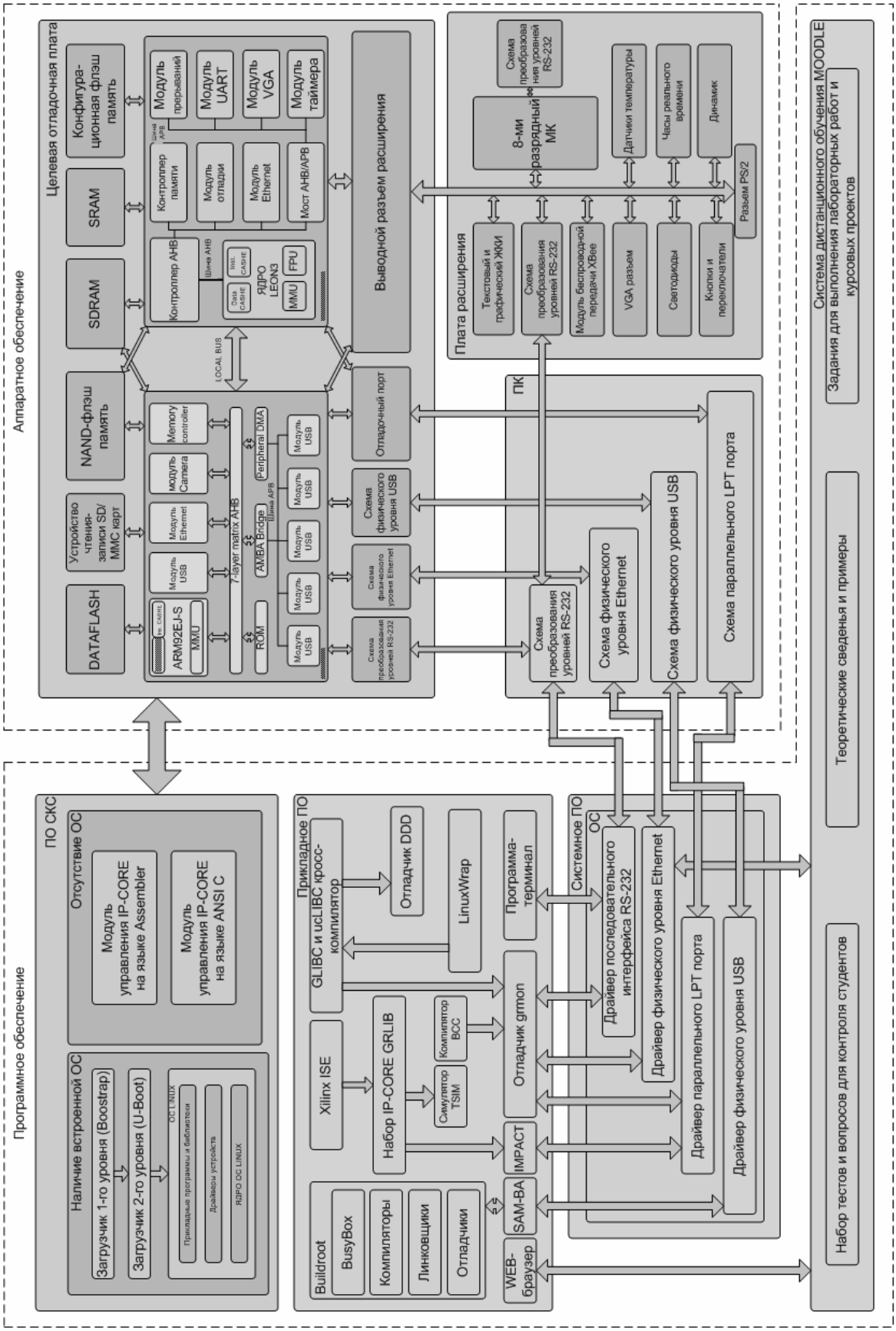


Рис. 1. Архітектура комп'ютерної системи тестування цифрових пристроїв на базі soft-процесорів

Список літературних джерел

1. Roberto Carli. Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory Technical Report. – «MIT». 2008. – 192 p.
2. Е.Б. Бабешко. Проектирование встроенных систем на микроконтроллерах ST7. – «ХАИ». 2007. – 478 с.
3. Зотов В.Ю. Проектирование встраиваемых микропроцессорных систем на основе ПЛИС фирмы XILINX – «Телеком». 2006. – 610 с.
4. Altera Embedded Design //www.alterawiki.com/wiki/Main_Page.
5. Advantages of using the ARM Cortex M1 processor in FPAG //www.arm.com/products/processors/cortex-m/cortex-m1.php.

ТЕХНОЛОГІЇ ЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА

УДК 519.6

Зацерковний В. І., канд. техн. наук
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 ОРТОГОНАЛІЗУЮЧОГО ФУНКЦІОНАЛУ

Розглянута можливість застосування геоінформаційних систем (ГІС) та геоінформаційних технологій для оцінки стану природного середовища. Розроблена математична модель на базі ортогоналізуючого функціоналу для діагностування станів територій та навколишнього середовища.

Постановка проблеми

Управління територіями – складний динамічний процес. На будь-якому об'єкті управління певної території (регіону) з плином часу змінюються параметри і характеристики, які описують стан цієї системи. Для управління процесами, що відбуваються в регіоні, необхідно враховувати ці зміни, а також навчитися прогнозувати їх та приймати управлінські рішення за ними.

На сьогодні питання ефективного застосування обчислювальної техніки для розв'язку різних задач моделювання і прогнозування в процесі управління територіями стало надзвичайно актуальним. Особливість даних проблемних областей полягає у малій кількості теоретично обґрунтованих і адекватних обчислювальних моделей.

Прикладні задачі управління територіями вирішуються на основі моделей, побудованих за таблицями експериментальних даних. При цьому проблему становить складність урахування усіх факторів, що впливають на ситуацію на конкретних територіях, складність збору територіально розподіленої інформації, невисока точність замінюваних параметрів і, як наслідок, погана обумовленість задачі. Проблема прогнозування через велику кількість некерованих і слабко передбачуваних зовнішніх факторів – найбільш складна в геоінформатиці [1].

Ефективність функціонування ГІС управління територіями і навколишнього середовища 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 якості 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.

Побудова цифрових моделей для цілей прогнозу відрізняється від побудови просто цифрової моделі бази даних ГІС, і головна відмінність полягає в тому, що модель повинна будуватись не автономно, а у зв'язку з зовнішнім середовищем, що взаємодіє з нею. За цією причиною процес побудови геоінформаційної моделі для прогнозування явищ на основі геоінформаційних технологій включає наступні етапи [2]:

– визначення цілей інтерпретації моделювання і наборів факторів, що приймають участь в інтерпретації;

– первинний аналіз досліджуваного явища і формалізація його генезису;

– параметризацію – вибір загального виду моделі, включаючи структуру і зв'язки;
– збір необхідної або можливої інформації;
– ідентифікацію моделі – статистичну оцінку її параметрів;
– верифікацію моделі – перевірку її адекватності і точності модельних даних.

Модель називається такою, що точно ідентифікується, якщо усі параметри, що її описують, можуть бути точно визначені на основі зібраних даних. Мета геоінформаційного дослідження – отримати ідентифіковані моделі об'єкта і прогнозного фону.

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 Кабінету 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.

Теоретико-методичні основи застосування ГІС і матеріалів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) в галузі природоохорони та землезнавства приведені в роботах С. Довгого, В. Лялька, В. Шестопалова, М. Якимчука та ін. Теоретичні засади та приклади імітаційного моделювання кризових ситуацій приведені в працях А. Прохорова, О. Додонова, О. Рогожина, А. Садівничого, О. Федоровича, О. Трофимчука, Л. Грекова, Г. Красовського, В. Ілюшко, М. Железняка, А. Тихонова [4]. Можливість створення на основі засобів системної динаміки та метода адаптивного балансу впливів (прийнята назва АВС-метод) моделей для оцінки геоекологічного стану навколишнього природного середовища розглянуті І. Тимченком, О. Федоровським, В. Якимчуком.

Узагальнення і систематизація робіт в галузі геоінформаційних технологій представлена в роботах А.В. Кошкарьова і В.П. Каракіна, А.А. Світличного, Б.С. Бусигіна, В.С. Тікунова, В.Я Цветкова та інших.

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

Серед великої кількості задач, що вирішуються за допомогою ГІС, найбільш інтелектуальними є системи прогнозу та діагностики, які спроможні прогнозувати 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.

При використанні ГІС в управлінні територіями та моніторингу навколишнього середовища досить часто виникає необхідність відновлення (отримання) поліноміальних моделей за результатами, отриманими при дослідженнях просторових процесів, явищ і недостатній (малій) кількості експериментів. Наявність похибок виміру контрольованих параметрів досліджуваних просторових явищ призводить до того, що задача відновлення, зазвичай, виявляється погано обумовленою.

Як відзначено в [3], не існує загального математичного метода, який би дозволив ефективно вирішувати таку задачу. Кожний з відомих методів накладає певні обмежен-

ня, порушення яких виключає застосування даного метода.

На сьогодні існує величезна кількість підходів, алгоритмів і програм, які дозволяють в тому або іншому ступені раціонально організувати обчислювальні процедури. До них відносяться [4, 5, 6]: 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 Тихонову; регресія з використанням сингулярних розкладань; схеми Холецького і Хаусхолдера; метод групового урахування аргументів (МГУА).

На цій основі написана велика кількість пакетів програм на різних алгоритмічних мовах, наприклад, [4, 6].

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 документації з використання 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, провадиться інтуїтивно, вимагаючи суттєвих витрат часу і коштів.

Використання традиційних [4] та інших підходів для створення поліноміальних моделей тематичних шарів ГІС виявилося 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 одна від одної. Крім того, контрольовані параметри, отримувані в результаті вимірів, містять похибки. 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 апріорі 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 [5]. 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, заснований на методі повної математичної індукції [5], дозволяє не пропустити оптимальної структури відновлюваних поліномів і є багатоетапним. На першому етапі здійснюється пошук тільки в класі одночленів, на другому етапі досліджуються можливі двочленні описи тощо. Однак, відновлення структури поліномів за допомогою комбінаторного перебору вимагає великих часових витрат і об'єму оперативної пам'яті комп’ютера і при погіршенні обумовленості матриці якість отриманого рішення погіршується [6].

Набагато ефективнішим виявився алгоритм відновлення поліноміальної моделі за допомогою регуляризуючого функціоналу, який гарантує швидке знаходження рішення, вектор якого має найменше число значимих компонент. Проте, недоліки, відзначені в [4], даним алгоритмом повністю усунути не вдається. Для швидкої організації вибору оптимальної структури відновлюваних поліномів, зокрема, при недостатній кількості експериментів можна використати ортогоналізуючий функціонал або ортогональні багаточлени.

Запишемо рівняння регресії в матричному вигляді:

$$W = UB\,, \tag{1}$$

де W – вектор спостережень вихідної величини, розмірності $(m \times 1)$;

U – матриця спостережень варійованих факторів розмірності $(m \times n)$, $(m < n)$;

B – вектор коефіцієнтів, розмірності $(n \times 1)$.

Пошук рішення системи (1) будемо здійснювати шляхом мінімізації ортогоналізуючого функціоналу [2]:

$$F = (W - UB)^T (W - UB) + B^T RB\,, \tag{2}$$

де R – квадратна симетрична матриця, яка дорівнює:

$$R = \frac{1}{\Psi} \sum_{\nu=1}^{\Psi} B_\nu B_\nu^T\,. \tag{3}$$

Якщо система рівнянь (1) має вектор рішення, ортогональний заданій системі векторів, то мінімум функціоналу (2) буде наближеним до нуля. У протилежному випадку мінімум функціоналу (2) буде істотно більше нуля. При відповідному формуванні матриці R можна за допомогою функціоналу (2) виявити рішення системи (1), вектор якого має мінімум значимих компонент. Позначимо це рішення через $B_Д$ і назвемо його діагностичним. Таке рішення може бути дуже корисним при відновленні поліноміальної моделі просторового об’єкта оптимальної складності.

В якості першого кроку для системи (1) знаходяться B_1, B_2, ...B_n різних рішень шляхом мінімізації квадратичного функціоналу нев’язки:

$$F = (W - UB)^T (W - UB), \tag{4}$$

при нульових початкових умовах.

Як доведено в роботі [3], в отриманих рішеннях відображаються значимі компоненти діагностичного рішення. Якщо їх виявити, то з'явиться можливість істотно зменшити час перебору варіантів. Для цього необхідно сформувати множину векторів B_v, кожний з яких є різницею двох векторів рішень:

$$B_v = B_I - B_J,\ i = \overline{1,(n-1)};\quad j = \overline{2,n};\ v = \overline{1,\psi}\quad ;\ \Psi = \frac{n(n-1)}{2} \tag{5}$$

і зажадати, щоб нове рішення системи (1) було ортогональним множині векторів B_v. В отриманому рішенні забезпечиться "пригнічення" тих компонент вектора рішення, які не відносяться до рішення $B_Д$. Ортогоналізуючий функціонал, який відповідає поставленій умові, має вигляд:

$$F = (W - UB)^T (W - UB) + B^T RB. \tag{6}$$

Локальний мінімум функціоналу (6) по *j*-ій компоненті векторів *B* буде відповідати $в_j$, яке дорівнює:

$$в_j = \frac{U_j^T W - \left(U_j^T U + R_j^T\right) B_j}{U_j^T U_j + r_{jj}}, \tag{7}$$

де r_{jj} – діагональний елемент матриці *R*; R_j – *j*-й стовпець матриці *R*.

Якщо задана множина векторів є ядром матриці *U,* то рішення, отримане шляхом мінімізації функціоналу (6), буде нормальним рішенням.

Функціонал (6) забезпечує стійкий пошук значимих компонент вектора рішень $B_Д$. Однак, в умовах сильної зашумленості вектора *W* можуть виявитися деякі недоліки, які проявляються у тому, що:

- сильно пригнічуються ті компоненти вектора рішення, які є "великими" за абсолютною величиною в статистиці рішень $B_i, i = \overline{1, n}$ і мають істотний розкид;
- слабо пригнічуються ті компоненти вектора рішення, які хоч і мають великий розкид у статистиці рішень, але малі за абсолютною величиною.

Зазначені недоліки можна усунути нормуванням компонент різницевих векторів B_v шляхом ділення кожної компоненти $B_i^{(v)}$ векторів B_v на автокореляційну функцію, знайдену по статистиці рішень B_n [3]:

$$k = \frac{1}{\psi \sum_{q=1}^{n-1} \sum_{\lambda=q+1}^{n} b_q^{(i)} b_\lambda^{(i)}}, \qquad \psi = \frac{n(n-1)}{2} \tag{8}$$

Уведемо діагональну матрицю K_R^{-1} розміру *n*:

$$K_R^{-1} = \begin{vmatrix} \frac{1}{k_1} & \cdots & 0 \\ \vdots & & \vdots \\ 0 & \cdots & \frac{1}{k_n} \end{vmatrix} \tag{9}$$

Тоді нормований вектор *B* буде дорівнювати:

$$B_v^{(H)} = K_R^{-1} B \tag{10}$$

Вирази (3) та (6) з урахуванням виразів (9) і (10) приймуть вид:

$$F^{(H)} = \left(W - UB\right)^T \left(W - UB\right) + B^T R_H B \tag{11}$$

$$R_H = \frac{1}{\psi} \sum_{\nu=1}^{\psi} K_R^{-1} B_\nu B_\nu^T K_R^{-1} = K_R^{-1} R K_R^{-1} \tag{12}$$

Ортогоналізуючий функціонал (6) забезпечує відображення у векторі рішення тільки тих компонент, які в статистиці рішень мають невеликий розкид за абсолютною величиною, а ортогоналізуючий функціонал (2) виявляє й ті компоненти, які в статистиці рішень є "великими" за абсолютною величиною, але малі за відносною величиною розкиду. Якість отриманого рішення оцінюється за допомогою функціоналу (4).

Для оцінки якості відновлення вихідної структури полінома вирішувалася тестова задача. В якості вихідної функції обраний поліном:

$$w = 2.0u_1 + 1.4u_2 + 0.9u_3 \tag{13}$$

У відповідності з рекомендаціями теорії планування експериментів [4] була складена матриця планування $m<n$, (табл. 1).

Таблиця 1

Матриця планування

	U_1	U_2	U_3	W
1	1.0	0.494	-0.368	2.361
2	0.5613	0.382	0.425	2.0395
3	-1.0	-0.22	-1.0	-3.208
4	0.705	-1.0	0.38	0.352
5	-0.675	0.864	-0.098	-0.2286
6	0.396	1.0	-0.43	1.805
7	-0.325	0.692	1.0	1.219

В подальшому, "забувши" рівняння (13) і обравши як опорний свідомо переускладнений поліном 3 степені,

$w = в_1u_1 + в_2u_2 + в_3u_3 + в_4u_1^2 + в_5u_2^2 + в_6u_3^2 + в_7u_1^3 + в_8u_2^3 + в_9u_3^3 + в_{10}u_1u_2 + в_{11}u_1u_3 + в_{12}u_2u_3 + в_{13}u_1u_2u_3$

за допомогою функціоналу отримали рішення, ранжирувані компоненти якого представлені в табл. 2.

Таблиця 2

Ранжирувані компоненти

Номер коефіцієнта полінома	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Відновлення значення коефіцієнтів полінома	1,53	1,35	1,15	0,35	0,1	-0,47	0,34	0,046	-0,15	0,21	0,16	0,027	-0,17
Номер коефіцієнтів у ранжируваному вигляді	1	2	3	5	11	4	6	12	10	7	9	13	8

Пошук діагностичного рішення (табл.3) здійснюється шляхом послідовного виключення менш значимих компонент з наступною перевіркою якості отриманого рішення на основі імовірнісної оцінки сумісності перерозширених підсистем [5].

Таблиця 3

Пошук діагностичного рішення

Номер коефіцієнта полінома	1	2	3
Значення коефіцієнтів відновлення полінома	1,997	1,399	0,895
Середнє значення нев'язки	$0{,}1175\ 10^{-4}$		

Висновки з даного дослідження

Результати розрахунків, представлені в табл.3, показують, що розроблений алгоритм може бути рекомендований для відновлення поліноміальних моделей просторових явищ, процесів, що досліджуються в ГІС при відсутності апріорної інформації про значимість факторів, і коли послідовний перебір всіх підсистем вимагає значних витрат машинного часу.

Список літературних джерел

1. Цветков В. Я. Основы геоинформатики: Электронный учебник / В. Я. Цветков. – М-во общ. и проф. образования РФ. Центр информатизации, 1998. – 627 с.
2. Цветков В. Я. Методы прогнозирования в геоинформационных технологиях / В. Я. Цветков // Информатика-машиностроение. – 1999. – № 4. – С. 44–47.
3. Тихонов А. Н. Методы решения некорректных задач. Уч. пособие для вузов / А. Н. Тихонов, В. Я. Арсенин. – М. : Наука, 1986. – 288 с.
4. Зацерковний В. І. Методика створення еталонних моделей місцевості просторових об'єктів ГІС за допомогою комбінаторного алгоритму / В. І. Зацерковний, С. В. Кривоберець, Ю. С. Сімакін // Вісник ЧДТУ. Збірник. Серія «Технічні науки» № 45. – Чернігів : ЧДТУ, 2010 – С. 165-172.
5. Зацерковный В. И. Восстановление многомерной регрессии с помощью регуляризирующего функционала / В. И. Зацерковный, В. И. Никитин // Научно – методические материалы по конструкции и системам управления. – М. : ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 1990. С. 47-54.
6. Воеводин В. В. Матрицы и вычисления / В. В. Воеводин, Ю. А. Кузнецов. – М. : Наука, 1984. – 318 с.

УДК 628.316.6.094.3; 631.4: 550.8

О.В. Ковальов, начальник лабораторії

Комунальне підприємство «УЖКГ», м. Славутич, Україна

О.М. Сємака, аспірант
О.О. Шевченко, викладач
І.М. Іванова, д-р техн. наук

Чернігівський державний інститут економіки і управління, м. Чернігів, Україна

МОЖЛИВІ ПІДХОДИ ДО ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ЕФЕКТИВНОЇ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД (СВ) З МЕТОЮ ЗБЕРЕЖЕННЯ ДОВКІЛЛЯ

Розглянуто вплив біогенних елементів на природний стан водойм та можливі підходи до вирішення проблеми їх захисту від недостатньо очищених стічних вод.

Постановка проблеми

Зростання навантаження на каналізаційні очисні споруди призводить до недостатньо ефективного очищення СВ і потребує перегляду підходів до їх очищення [1-4].

Аналіз досліджень і публікацій

Забруднення водойм та підтоплення, просідання ґрунтів внаслідок нераціонального розвитку промисловості в Україні робить особливо актуальним моніторинг водних об'єктів, проводяться дослідження з метою прогнозування та оцінки наслідків антропогенного впливу з використанням ГІС-технологій і розробки стабілізаційних заходів [5].

Останнім часом особливе занепокоєння викликає проблема забруднення довкілля фосфором. При потраплянні у водойми фосфор впливає на ріст і розвиток синьозелених водоростей, бактерій, що призводить до евтрофікації водойм. Відбувається накопичення поживних речовин, неконтрольований приріст біомаси, що спричиняє різкі зміни трофічного стану водойм і, як наслідок, процесів гниття. При розкладанні водоростей у великих кількостях виділяється метан, аміак, сірководень. Біомаса фітопланктону під час «цвітіння» збільшується до 2,5÷10,0 г/см^3, тоді як в оліготрофних водоймах вона в нормі складає 0,1÷0,4 мг/дм^3 [2].

Значна кількість фосфатів надходить у водойми в результаті недостатньої очистки стічних вод. Очисні споруди побудовані 30-40 років тому назад і технологічно не розраховані на видалення понаднормового надходження біогенних елементів.

Одним з нових методів є очищення стоків озонуванням, але в Україні він поки що використовується, на нашу думку, недостатньо, хоча озон не змінює природних властивостей води, оскільки його надлишок через декілька хвилин перетворюється у кисень [1, 8].

Мета статті

Метою роботи є дослідження дії різних концентрацій озону на якість доочищення очищених стічних вод, вплив біогенних елементів на забруднення водойм та можливі підходи до вирішення цієї проблеми.

Виклад основного матеріалу

Робота виконувалася з використанням аналітичних і експериментальних досліджень.

Аналітична частина полягала у визначенні основних джерел забруднення та розробленні рекомендацій щодо зменшення розвитку негативних процесів і вдосконаленні роботи каналізаційних очисних споруд (КОС) м. Чернігова з використанням практичного досвіду за період 2006-2009 років та тематичних публікацій.

Експериментальна робота проводилась з використанням 5 типових методик [3]. Озонування очищених стічних вод проведено з пропусканням озоно-кисневої суміші (ОКС) різної концентрації в товщі води, тривалість контакту 0,25 годин. Використовувалась ОКС, вироблена установкою озоновою автоматизованою «БОЗОН-Н» [7]. Обраний діапазон концентрацій озону в ОКС – 1,0÷4,0 мг/дм^3. ОКС вводиться почергово у циліндри з водою за допомогою фторопластової трубки, яка має фторопластовий ковпачок з дрібними отворами для кращого змішування ОКС з водою.

Хімічний аналіз проводився за такими показниками: ХСК, $БСК_5$, залізо, завислі речовини, розчинний кисень, азот амонійний. Результати експериментів представлено у таблиці 1 та рисунку 1.

Таблиця 1

Вплив озонування на показники очищеної води

Циліндр, №	Доза озону, мг/дм^3	Тривалість, год.	Показники якості стічних вод, мг/дм^3	Значення параметра				Дисперсія
				X_1	X_2	X_3	$X_{сер.}$	S^2
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-	-	Завислі речовини	76,5	77,65	74,6	76,25	2,3725
			Розчинний кисень	1,80	1,88	1,93	1,87	0,0043
			$БСК_5$	23,6	28,7	30,5	27,6	12,81
			ХСК	105	103,6	104,8	104,5	0,575
			Азот амонійний	28,7	29,8	30,6	29,7	0,91
			Залізо	1,32	1,38	1,34	1,36	0,0012
2	1,0	0,25	Завислі речовини	60,0	65,0	62,5	62,5	6,25
			Розчинний кисень	2,95	2,93	3,0	2,96	0,0013
			$БСК_5$	23,4	25,6	24,8	24,6	1,24
			ХСК	101,0	100,0	102,0	101,0	1
			Азот амонійний	23,3	25,5	24,7	24,5	1,24
			Залізо	0,89	0,85	0,91	0,88	0,00095
3	2,0	0,25	Завислі речовини	20,0	22,0	22,5	21,5	1,75
			Розчинний кисень	9,2	9,0	8,8	9,0	0,04
			$БСК_5$	14,7	14,0	14,2	14,3	0,13
			ХСК	55,0	50,0	57,0	54,0	13
			Азот амонійний	13,7	13,4	13,1	13,4	0,09
			Залізо	0,62	0,67	0,66	0,65	0,0007
4	3,0	0,25	Завислі речовини	14,0	16,0	16,5	15,5	1,75
			Розчинний кисень	16,5	16,3	16,1	16,3	0,04
			$БСК_5$	7,2	6,0	6,3	6,5	0,39
			ХСК	30,0	32,0	25,0	29,0	13
			Азот амонійний	8,5	9,3	8,6	8,8	0,19
			Залізо	0,39	0,25	0,32	0,29	0,00625

Продовження таблиці 1

5	4,0	0,25	Завислі речовини	14,4	15,3	14,1	14,6	0,39
			Розчинний кисень	18,6	18,1	17,3	18,0	0,43
			$БСК_5$	5,0	6,0	5,5	5,5	0,25
			ХСК	24,0	28,0	26,0	26,0	4
			Азот амонійний	5,0	6,0	5,5	5,5	0,25
			Залізо	0,28	0,26	0,21	0,25	0,0013

З рис. 1 видно, що озонування ефективно впливає на усі основні показники якості стічної води м. Славутич – завислі речовини, $БСК_5$, ХСК, азот амонійний. Ефективною виявляється доза озону 3,0 мг/дм^3.

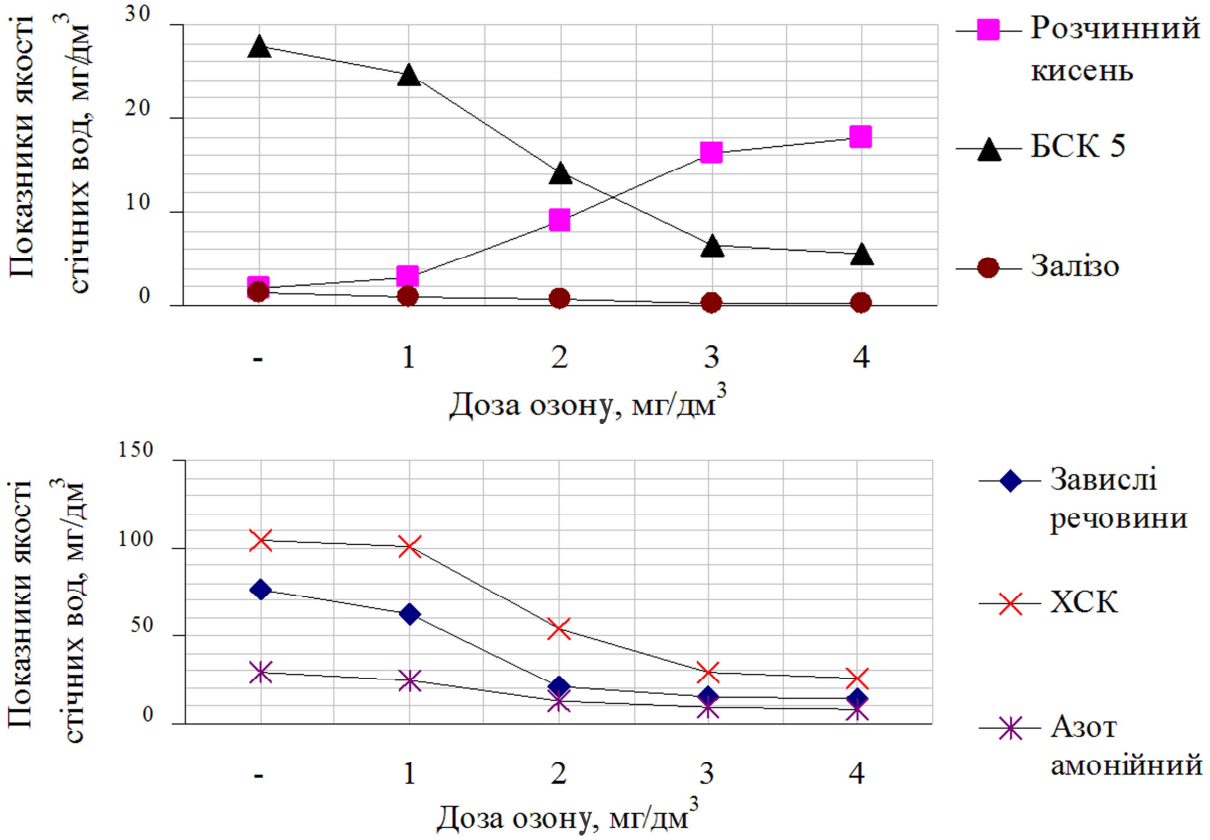


Рис. 1. Вплив озонування на якість очищених стоків

За нашими даними озон також позитивно впливає і на очищення від фосфатів, що актуально і для КОС м. Чернігів. Очисні споруди м. Чернігів були запущені в експлуатацію у 1963 році. Гранично допустима концентрація, регламентована на вході на очисні споруди, за фосфором дорівнює 3,0 мг/дм^3. Фактично (за даними КОС, м. Чернігів), стічна вода, яка надходить на очистку має концентрацію фосфору в середньому за 2009 рік – 26,0 мг/дм^3. У порівнянні з 2006 роком концентрація фосфатів збільшилась приблизно на 40 % і становила 15,7 мг/дм^3 (Рис. 2).

Можна зробити висновок, що з кожним роком концентрація біогенних елементів у стічних водах збільшується по причині збільшення використання миючих синтетичних засобів, які містять фосфор, найбільша концентрація розчинних фосфатів надходить саме з побутовими водами, – 96 %. В побутових водах вміст поліфосфатів може досягати 30-50 %, що в перерахунку на одного мешканця становить 1500÷1800 мг/доб [2, С. 46].

Традиційні методи очистки стічних вод не забезпечують необхідного рівня якості очищеної води. Аналіз багаторічного вітчизняного і зарубіжного досвіду визначає три можливі підходи до вирішення цієї проблеми [4]:

1) Видалення загального фосфору – в процесі біологічної очистки не перевищує 30-40 %, і навіть якщо покращити умови видалення фосфатів (знизити навантаження на біологічно активний мул, збільшити період аерації та робочу дозу мулу до 6 г/дм^3), ефективність видалення фосфатів не перевищить 50-55 % [2, С. 56].

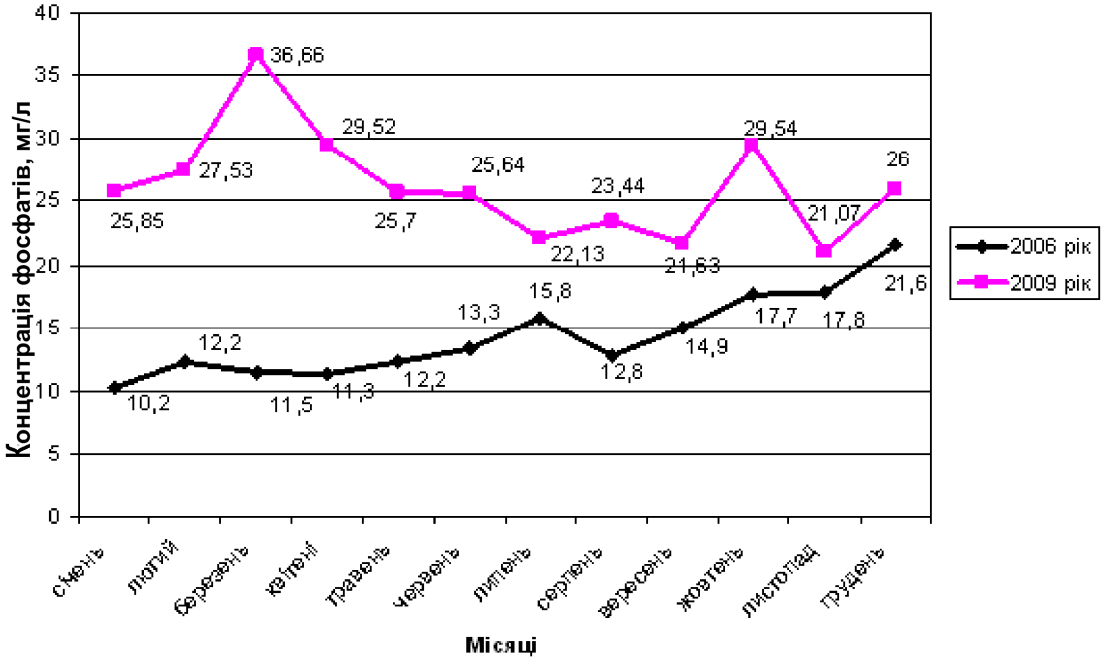


Рис. 2. Зміна концентрації фосфатів на вході КОС м. Чернігова за роками

За допомогою життєдіяльності бактерій, які знаходяться в аеротенках, поліфосфати перетворюються в ортофосфати, які легше піддаються видаленню. Ці бактерії називають біо-Р-бактеріями, або ж фосфатакумулюючими організмами (ФАО) [9]. В стічній воді їх може знаходитись певна кількість, і саме їх конкуренція за субстрат, особливо за низькомолекулярні жирні кислоти, і визначає процес біологічного видалення фосфору. На біологічне видалення фосфору суттєво впливає навколишнє середовище, для видалення фосфор-акумулюючих процесів потрібне чергування аеробних і анаеробних умов, а також відсутність нітратів в анаеробній зоні. Якщо в неочищених міських стічних водах приблизно 2/3 загального вмісту фосфору обумовлено присутністю поліфосфатів, а 1/3 – ортофосфатів, в біологічно очищених стічних водах має місце протилежне співвідношення [6].

Видалення фосфору відбувається тільки на станціях з активним мулом, цей процес складний і потребує використання органічних речовин стічної води і речовин, які утворюються в анаеробному реакторі в процесі ферментації. Обов'язковою умовою біологічного видалення фосфору є наявність легко розчинних органічних речовин.

2) Хімічне осадження фосфатів – полягає в перетворенні їх у нерозчинні металофосфати при взаємодії з солями металів (Fe, Al, Mg, Ca). Згідно стехіометрії (формула 1) на один атом заліза (56 г) осаджується 1 атом фосфору (31 г), тобто, на видалення 1 г фосфору необхідно 1,806 г заліза або 6,45 г сульфату заліза $Fe_2(SO_4)_3$ [4]. Згідно з експериментальними даними ефективність видалення фосфатів за допомогою хімічного осадження досягає 80-90 % в залежності від кількості введеного реагенту і від залишкового вмісту зважених речовин [4, С. 58].

$$Fe_2(SO_4)_3 + 2H_3PO_4 \rightarrow 2FePO_4^- + 3H_2SO_4 \qquad (1)$$

Осадження поліфосфатів відбувається значно гірше, ніж ортофосфатів, що вимагає збільшення дози реагенту і, як наслідок, відбувається значне підкислення очищуваного середовища та забруднення стічних вод металами, збільшується утворення осаду. Для нейтралізації кислоти необхідно додавати луги, що також здорожчує цей процес; для видалення металів необхідно проектувати додаткову доочистку.

3) Рекомендується [4] також використовувати різні комбінації біологічної та хімічної очистки, обумовлені місцевими умовами.

Висновки

1. Активний розвиток промисловості Чернігівщини, починаючи з 1960 року, забруднення водних ресурсів відходами, з одного боку, і розвиток ГІС–технологій, з іншого боку, створює необхідність вдосконалення методики моніторингу забруднення довкілля.

2. Забруднення водних ресурсів фосфатами, викликане переважно побутовими стоками, є одним з небезпечних показників. Найефективнішим, але не реалізованим на теперішній час способом видалення фосфатів із стічних вод є комплексна біологічна і хімічна очистка.

3. Аналіз літературних даних та практичного досвіду виявляє необхідність подальших досліджень почергового застосування аеробних і анаеробних умов очистки стоків в аеротенках.

4. Запропонована очистка стічних вод озонуванням перед вторинними відстійниками виявляє можливість більш ефективного очищення стічних вод: експериментальне дослідження впливу концентрацій озону на якість доочищення очищених стічних вод виявили, що для даного хімічного складу очищених стічних вод ефективною є доза по озону – 3,0 мг/дм^3 при тривалості контакту 0,25 годин. Оскільки для різних доз озону від 1,0 до 4,0 мг/дм^3 спостерігається поступове покращення фізико-хімічних показників очищених стічних вод, то результати досліджень можуть бути використані для розробки технології доочищення очищених стічних вод як м. Славутича, так інших міст.

Список літературних джерел

1. Водоподготовка: Справочник / Под ред. д.т.н. действительного члена Академии промышленной экологии С. Е. Баликова. – М. : Аква-Терм, 2007. – 240 с.

2. Жмур Н. С. Управление процессом и контроль результата очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками / Н. С. Жмур. – М. : Луч, 1997. – 118 с.

3. Ковальов О. В. Лабораторні дослідження озонування стічних вод : зб. наук. праць за матеріалами VI міжнар. наук.-практ. конф. / Ковальов О.В., І. М. Іванова. – Ч. : ЧДІЕУ, 2010. – С. 158-161.

4. Методы очистки городских сточных вод от биогенных элементов / [Е. М. Крючихин, А. Н. Николаев, Н. А. Жильникова, Н. Ю. Большаков]. – 2007. – №1. – С. 30-34.

5. Сємака О. М. Застосування ГІС – технологій при зборі та обробці матеріалів спостереження за рівнями ґрунтових вод: зб. наук. праць за матеріалами V міжнар. наук.-практ. конф. / О. М. Сємака, В. І. Шевель. – Ч. : ЧДІЕУ, 2009. – С. 67-72.

6. СНиП 2.04.03.85 Канализация. Наружные сети и сооружения. − М. : 1986. – 114 с.

7. Установка озоновая автоматизированная «БОЗОН Н». Техническое описание и руководство по эксплуатации. – Одесса, 2008.

8. Фрог Б. Н. Водоподготовка / Б. Н. Фрог, А. П. Шевченко. − М. : Издательство МГУ, 1996. − 680 с. – (Учебн. Пособие для вузов)

9. Хенцэ М. Очистка сточных вод / М. Хенцэ. − М. : Мир, 2009. − 480 с.

АНОТАЦІЇ

УДК 539.3:539.4

Грицюк В.Ю. Динамічні лінії впливу для ферм. // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 2(49). С. 6-9.

В інженерній практиці для розрахунку ферм на рухоме навантаження звичайно застосовують статичні лінії впливу. У даній роботі для конкретного реального випадку побудовані динамічні лінії впливу з метою оцінювання впливу динамічного ефекту.

Виявлено, що при великих швидкостях руху сили по фермі вплив динамічних факторів стає помітнім. Але навіть при великих швидкостях кількісно видно, що для ферм можна застосовувати статичні лінії впливу.

Іл.2. Бібліогр.: 2 назв.

УДК 539.3:539.4

Грицюк В.Е. Динамические линии влияния для ферм. // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №2(49). С. 6-9.

В инженерной практике для расчёта ферм на подвижную нагрузку обычно используют статические линии влияния. В данной работе для конкретного реального случая построены динамические линии влияния с целью оценки влияния динамического эффекта.

Выявлено, что при больших скоростях движения силы по ферме влияние динамических эффектов становится заметным. Но даже при больших скоростях количественно видно, что для ферм можно использовать статические линии влияния.

Іл.2. Бібліогр.: 2 назв.

UDC 539.3:539.4

Hrytsjuk V.Y. Dynamic Lines of Influence for Girders. // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 2(49). P.6-9.

In case of engineers works upon calculation of moving of load along the girders usually use the static lines of influence. In this article for the concrete real example the dynamic lines of influence are built for dynamic effect estimation.

It is educed, that for high speeds of motion of force along the girder the influence of dynamic effects becomes noticeable. But in quantity is evidently, that for girders it is possible to use the static lines of influence even for high speeds.

Ill. 2. Ref.: 2.

УДК 621.01

Максименко В.А. Аналітичне моделювання технічної системи // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 2(49). С. 10-14.

Пропонується метод аналізу технічного об'єкта, який припускає взаємне відображення його системних особливостей і механіко-геометричних характеристик в ході розглядання наявних структурних особливостей з точки зору отримання зв'язку параметрів абстрактної моделі з фізичними закономірностями.

Іл. 6. Бібліогр.: 3.

УДК 621.01

Максименко В.А. Аналитическое моделирование технической системы // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №2(49). С. 10-14.

Предлагается метод анализа технического объекта, предполагающий взаимное отображение его системных особенностей и механико-геометрических характеристик в ходе рассмотрения имеющихся структурных особенностей с точки зрения получения связи параметров абстрактной модели с физическими закономерностями.

Илл. 6. Библиогр.: 3.

UDC 621.01

Maksimenko V.A. Analytical Modelling of Technical System // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 2(49). P.10-14.

The method of the analysis of the technical object, assuming mutual display of its system features and mechanic-geometrical characteristics during consideration of existing structural features from the point of view of reception of communication of parameters of abstract model with physical laws is offered.

Ill. 6. Ref.: 3.

УДК 621.855:678.7.001.2

Пилипенко О.І. Теплові ефекти в полімерних деталях машин. // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 2(49). С. 15-26.

Розглянуті питання тепловиділення в деталях ланцюгових передач, зубчастих колесах, виготовлених з полімерних матеріалів. Отримані залежності, що дозволяють оцінити тепловиділення з врахуванням застосовуваного матеріалу та режимів роботи передачі (навантажень, швидкостей) і запобігти виходу її з ладу. Наведені деякі рекомендації з досвіду конструювання, виготовлення та експлуатації полімерних деталей зачепленням.

Іл. 5. Бібліогр.: 7

УДК 621.855:678.7.001.2

Пилипенко О.И. Тепловые эффекты в полимерных деталях машин. // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №2(49). С. 15-26.

Рассмотрены вопросы тепловыделения в деталях цепных передач, зубчатых колёсах, изготовленных из полимерных материалов. Получены зависимости, позволяющие оценить тепловыделение с учётом применяемого материала и режимов работы передачи (нагрузок, скоростей) и предотвратить выход её из строя. Приведены некоторые рекомендации из опыта конструирования, изготовления и эксплуатации полимерных деталей зацеплением.

Іл. 5. Бібліогр.: 7

UDC 621.855:678.7.001.2

Pilipenko O. I. Thermal Effects in Polymeric Machine Elements. // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 2(49). P.15-26.

Thermal emission questions in elements of chain transmsssions, the gear wheels made out of polymeric materials are considered. The dependences are received, allowing to estimate a thermal emission with the account of an applied material and operating conditions (loadings, speeds) and to prevent exit it out of operation. Some recommendations from experience of designing, manufacturing and operation of polymeric machine elements by gearing are resulted.

Ill. 5. Ref.: 7

УДК 515.2

Черніков Б.І. Графічне моделювання процесу відбиття в замкненій області // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 2(49). С. 27-31.

Розглянуті особливості та обгрунтовано застосування графічного моделювання у проектній практиці. На прикладі графічного моделювання відображень точкового об'єкту випромінювача на дзеркальній поверхні показані різні фази процесу поширення та концентрації відбитих променів. Показана можливість проведення графічного експерименту з отриманням попередніх результатів ще на початковій стадії проектування.

Бібліогр.: 3

УДК 515.2

Черников Б.И. Графическое моделирование процесса отражения в замкнутой области // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №2(49). С. 27-31.

Рассмотрены особенности и обосновано применение графического моделирования в проектной практике. На примере графического моделирования отражений точечного излучателя на зеркальной поверхности показаны различные фазы процесса распространения и концентрации отраженных лучей. Показана возможность проведения графического эксперимента с получением предварительных результатов еще в начальной стадии проектирования.

Библиогр.: 3

UDC 515.2

Chernikov B.I. Graphic Simulation of the Reflection Process in a Closed Area // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 2(49). P.27-31.

The features and justified to demonstrate how the graphical simulation in design practice are considered. The example of a graphical simulation of the reflection of a point emitter on the smooth surface shows the different phases of the process of distribution and concentration of reflected rays. The possibility of graphic experiment with preliminary results still in the initial design stage is shown.

Ref.: 3

УДК 678.08

Заяць В.В. Експериментальне дослідження основних характеристик процесу подрібнення полімерних матеріалів у роторних дискових подрібнювачах // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 2(49). С. 32-41.

Розглянуто основні параметри процесу подрібнення, що найбільш впливають на процес подрібнення полімерних відходів у роторному дисковому подрібнювачі. Проведені експериментальні дослідження основних параметрів системи, для перевірки адекватності математичної моделі подрібнення полімерних матеріалів у роторному дисковому подрібнювачі реальним процесам.

Бібліогр.: 9

УДК 678.08

Заяц В.В. Экспериментальные исследования основных характеристик процесса измельчения полимерных материалов в роторных дисковых измельчителях // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №2(49). С. 32-41.

Рассмотрены основные параметры процесса измельчения, которые наиболее влияют на процесс измельчения полимерных отходов в роторном дисковом измельчителе. Проведены экспериментальные исследования основных параметров системы, для проверки адекватности математической модели измельчения полимерных материалов в роторном дисковом измельчителе реальным процессам.

Библиогр.: 9

UDC 678.08

Zajac V.V. Experimental Researches of the Basic Characteristics of Process of Crushing of Polymeric Materials in Rotor Disk Grinders // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 2(49). P.32-41.

The basic parameters of process are considered growings which most influence on the process of growing of polymeric wastes shallow in the rotor disk grinding down shallow. Experimental researches of basic parameters of the system are conducted, for verification of adequacy of mathematical model of growing of polymeric materials shallow in the rotor disk grinding down the real processes.

Ref.: 9

УДК 621.9.06:681.5

Федориненко Д.Ю. Стійкість нелінійної електрогідравлічної системи керування точністю обертання шпинделя на гідростатичних опорах. // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 2(49). С. 42-49.

Розроблено нелінійну математичну модель електрогідравлічної системи керування точністю обертання шпинделя. Досліджено стійкість та визначені параметри автоколивань системи методом гармонічної лінеаризації.

Іл. 6. Бібліогр.: 9 назв.

УДК 621.9.06:681.5

Федориненко Д.Ю. Устойчивость нелинейной электрогидравлической системы управления точностью вращения шпинделя на гидростатических опорах. // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №2(49). С. 42-49.

Разработана нелинейная математическая модель электрогидравлической системы управления точностью вращения шпинделя. Исследовано устойчивость и определены параметры автоколебаний системы методом гармонической линеаризации.

Ил. 6. Библиогр.: 9 назв.

UDC 621.9.06:681.5

Fedorinenko D.Y. Stability of Nonlinear Electro-Hydraulic Control the System by Exactness Rotation of Spindle on Hydrostatical Supports. // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 2(49). P.42-49.

The nonlinear mathematical model of electro-hydraulic control the system by exactness rotation of spindle is developed. Investigational resistibility's and the parameters of the system self-sustained oscillations are definition by the method of the harmonic linearizing.

Ill. 6. Ref.: 9.

УДК 621.91; 669.15

Ярута О. М., Ярута В. О., Білоконь І. І. Сила відриву магніту від деталі як характеристика оброблюваності деталі з аустенітного нікель-марганцевого чавуну // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 2(49). С. 50-53.

Розглядається можливість для аустенітних чавунів виразити оброблюваність через силу відриву магніту від деталі. Це дозволить провести розподіл деталей за властивостями оброблюваності.

Іл. 6. Бібліогр.: 5 назв.

УДК 621.91; 669.15

Ярута О. М., Ярута В. О., Белоконь И. И. Сила отрыва магнита от детали как характеристика обрабатываемости детали с аустэнитного никель-марганцевого чугуна // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №2(49). С. 50-53.

Рассматривается возможность для аустэнитных чугунов виразить обрабатываемость через силу отрыва магнита от детали. Это позволяет провести разделение деталей по свойствам обрабатываемости.

Ил. 6. Библиогр.: 5 назв.

UDC 621.91; 669.15

Yaruta O.M., Yaruta V.O., Belokon I.I. Breakout Force of the Magnet From the Details of the Characteristic Details of the Workability of Austenite Nickel-Manganese Pig Iron // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 2(49). P.50-53.

The opportunity for austenitnyh irons virazit machinability through the power of detachment from the details of the magnet. This allows you to separate parts of the properties of workability.

Ill. 6. Ref.: 5.

УДК 621.923

Венжега В.І. Оцінка геометричної точності обробки деталей на двосторонніх торцешліфувальних верстатах // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 2(49). С. 54-57.

Представлені узагальнені результати досліджень, що дозволяють визначати похибки геометричної форми і лінійних розмірів деталей, що обробляються на двосторонніх торцешліфувальних верстатах.

Бібліогр.: 5.

УДК 621.923

Венжега В.И. Оценка геометрической точности обработки деталей на двусторонних торцешлифовальных станках // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №2(49). С. 54-57.

Представлены обобщенные результаты исследований, позволяющие определять погрешности геометрической формы и линейных размеров деталей, обрабатываемых на двусторонних торцешлифовальных станках.

Библиогр.: 5.

UDK 621.923

Venzhega V.I. Estimationof Geometrical Exactness of Treatment of details on Bilateral Buttends Polishing Machine-tools // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 2(49). P.54-57.

The generalised results of researches allowing to determine the errors of geometrical form and linear sizes of details, processed on bilateral buttends polishing machine-tools, are presented.

Ref.:5.

УДК 621.833:621.914.5

Клочко А.А. Технологія чистової лезвійної обробки крупномодульних загартованих зубчастих колес // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 2(49). С. 58-68.

Розроблені нові технологічні напрями формоутворення чистової зубообробки крупномодульних коліс методом перервного обкату з використанням дискових немодульних фрез, розміри яких не залежать від модуля, і способи їх реалізації. При методі перервного обкату частота обертання інструменту не пов'язана кінематично з частотою обертання заготівки, що дозволяє використовувати як ріжучі матеріали кераміку і надтверді матеріали, тобто збільшити швидкість різання в 3-4 рази (до 5-8 м/сек) і забезпечити підвищення якості обробки обробленної зубчатої поверхні. Обробка виконується при збільшеному в порівнянні з обробкою червячною фрезою, кількості різів, профілюючих евольвентну поверхню зубців, що формує високу їх точність та якість.

Іл. 8. Бібліогр.: 4 назв.

УДК 621.833:621.914.5

Клочко А.А. Технология чистовой лезвийной обработки крупномодульных закаленных зубчатых колес // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №2(49). С. 58-68.

Разработаны новые технологические направления формообразования чистовой зубообработки крупномодульных колес методом непрерывной обкатки с использованием дисковых немодульних фрез, размеры которых не зависят от модуля, и способы их реализации. При методе непрерывной обкатки частота вращения инструмента не связана кинематически с частотой вращения заготовки, что позволяет использовать как режущие материалы керамику и сверхтвердые материалы, т.е. увеличить скорость резания в 3-4 раза (до 5-8 м / с) и обеспечить повышение качества обработки обработанной зубчатой поверхности.

Ил. 8. Библиогр.: 4 назв.

UDK 621.833:621.914.5

Klochko A.A. Technology Finishing Edge Cutting Processing Coarse-grained Quenched Gears // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 2(49). P.58-68.

Developed new technological trends shaping the finishing gear treatment kolec coarse-grained method of continuous running with non-modular disc cutters, whose sizes do not depend on the module and how to implement them. In the method of continuous running speed of the tool is not connected kinematically with speed billet that can be used as cutting materials ceramics and superhard materials, ie, increase the cutting speed by 3-4 times (up to 5-8 m / s) and improve the quality of treatment the treated tooth surface.

Ill. 8. Ref.: 4.

УДК 62.50

Крамарь В.А. Частотний підхід до аналізу стійкості багатомірної системи автоматичного керування в формі системи з одиничним від'ємним зворотним зв'язком // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 2(49). С. 69-73.

Розглядається методика побудови математичної структурованої моделі багатомірної системи автоматичного керування. Викладено підхід до побудови характеристичного багаточлена багатомірної системи і частотний критерій аналіза стійкості багатомірної системи керуання.

Іл. 1. Бібліогр.: 3 назв.

УДК 62.50

Крамарь В.А. Частотный подход к анализу устойчивости многомерной системы автоматического управления в форме системы с единичной отрицательной обратной связью // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №2(49). С. 69-73.

Рассматривается методика построения математической структурированной модели многомерной системы автоматического управления. Изложен подход к построению характеристического многочлена многомерной системы и частотный критерий анализа устойчивости многомерной системы управления.

Ил. 1. Библиогр.: 3 назв.

UDK 62.50

Kramar, VA Frequency Approach to Stability Analysis of a Multidimensional System of Automatic Control in the Form of a System with a Single Negative Feedback // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 2(49). P.69-73.

The technique of constructing a mathematical model of a structured multidimensional system of automatic control is considered. The approach to the construction of the characteristic polynomial of a multidimensional system, and a frequency criterion of stability analysis of multidimensional control system is presented.

Ill. 1. Ref.: 3.

УДК 62–522.2

Гречка І.П. Особливості проектування гідроагрегату верстата для намотування обмоток електродвигунів // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 2(49). С. 74-78.

Розроблено інженерну методику проектування гідроагрегату верстата для намотування обмоток електродвигунів, яка дозволяє покращити показники технічного рівня та підвищити ефективність експлуатації гідроагрегатів.

Іл. 2. Бібліогр.: 5 назв.

УДК 62–522.2

Гречка И.П. Особенности проектирования гидроагрегата станка для наматывания обмо-

ток электродвигателей // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №2(49). С. 74-78.

Разработана инженерная методика проектирования гидроагрегата станка для наматывания обмоток электродвигателей, которая позволяет улучшить показатели технического уровня и повысить эффективность эксплуатации гидроагрегатов.

Ил. 2. Библиогр.: 5 назв.

UDK 62–522.2

Grechka I.P. Features of Designing of the Hydrounit of the Machine Tool for Winding of Windings of Electric Motors // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 2(49). P.74-78.

An engineering technique of designing of the hydrounit of the machine tool for winding windings of electric motors is developed which allows to improve parameters of a technical level and to increase efficiency of operation of hydrounits.

Ill. 2. Ref.: 5.

УДК 658.516

Єрошенко А.М. Проблема компетентності метрологічного забезпечення сучасного машинобудування // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 2(49). С. 79-83.

Проведено аналіз міжнародного стандарту ISO/IEC 17025. Визначені особливості впровадження його на машинобудівних підприємствах. Проаналізована проблема компетентності і атестації вимірювальних і калібрувальних лабораторій в умовах системи управління якістю.

Іл. 1. Бібліогр.: 4 назв.

УДК 658.516

Ерошенко А.М. Проблема компетентности метрологического обеспечения современного машиностроения // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №2(49). С. 79-83.

Проведен анализ международного стандарта ISO/IEC 17025. Определены особенности внедрения его на машиностроительных предприятиях. Проанализирована проблема компетентности и аттестации измерительных и калибровочных лабораторий в условиях системы управления качеством.

Ил. 1. Библиогр.: 4 назв.

UDK 658.516

Eroshenko AM The problem of the competence of the metrological provision of modern machinery // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 2(49). P.79-83.

The analysis of the international standard ISO / IEC 17025 is made. The features of the implementation of its on machine-building enterprises are determined. The problem of competence and attestation of measurement and calibration laboratories in the quality management system is analysed.

Ill. 1. Ref.: 4.

УДК 621.922

Кальченко В.І., Кальченко В.В., Кологойда А.В. Визначення сил різання при заточці голчастої поверхні барабанів текстильних машин зі схрещеними осями інструмента і деталі // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 2(49). С. 84-88.

Пропонується методика розрахунку складових сил різання при заточці голчастої поверхні барабанів та валика текстильних машин, що сприяє вибору оптимальних режимів обробки.

Іл. 4. Бібліогр.: 6 назв.

УДК 621.922

Кальченко В.И., Кальченко В.В., Кологойда А.В. Определение сил резания при заточке игольчатой поверхности барабанов текстильных машин со скрещивающимися осями инструмента и детали // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №2(49). С. 84-88.

Предлагается методика расчета составных сил резания при заточке игольчатой поверхности барабанов и валика текстильных машин, которая способствует выбору оптимальных режимов обработки.

Рис. 4. Библиогр.: 6 назв.

UDC 621.922

Kalchenko V.I., Kalchenko V.I., Kologoyda A.V. Determination Power of the Cutting When Wharpening Surfaces Drum Textile Machines With the Twisting Axes of the Instrument and Detail // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 2(49). P.84-88.

The methods of the calculation of component power of the cutting is offered when sharpening surfaces drum and platen of the textile machines, which promotes the choice optimum mode processing.

Il. 4. Ref.: 6.

УДК 378:371.333

Погиба Н.М., Пасов Г.В. Комп'ютерна обробка помилкових дослідів // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 2(49). С. 89-97.

Розглянуто комп'ютерні програмні продукти перевірки дослідних даних за методами Греббса, Ірвіна, Романовського, а також актуальність та необхідність застосування комп'ютерних технологій у навчальному процесі.

Бібліогр.: 11 назв.

УДК 378:371.333

Погиба Н.Н., Пасов Г.В. Компьютерная обработка ошибочных экспериментов // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №2(49). С. 89-97.

Рассмотрены компьютерные программные продукты проверки экспериментальных данных по методам Греббса, Ирвина, Романовского, а также актуальность и необходимость внедрения компьютерных технологий в учебном процессе.

Библиогр.: 11 назв.

UDC 378:371.333

Pogiba N.N., Pasov G.V. Computer Processing Wrong Experiment // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 2(49). P.89-97.

The computer program products of the check experimental given are considered on method Grebbs, Irvine, Romanovski, as well as urgency and need of the introduction computer technology in educational process.

Ref.: 11

УДК 62–82:62–83

Андренко П.М., Лебедєв А.Ю. Поліпшення енергетичних характеристик об'ємних гідроагрегатів // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 2(49). С. 98-101.

Наведено результати аналітичного огляду схемних рішень сучасних об'ємних гідроагрегатів технологічних і мобільних машин. Запропоновано перспективну структуру та апаратну реалізацію гідроагрегату, яка забезпечить поліпшення його енергетичних характеристик.

Іл. 1. Бібліогр.: 12 назв.

УДК 62–82:62–83

Андренко П.М., Лебедев А.Ю. Улучшение энергетических характеристик объемных гидроагрегатов // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №2(49). С. 98-101.

Приведены результаты аналитического обзора схемных решений современных объемных гидроагрегатов технологических и мобильных машин. Предложена перспективная структура и аппаратная реализация гидроагрегата, которая обеспечит улучшение его энергетических характеристик.

Рис. 1. Библиогр.: 12 назв.

UDC 62–82:62–83

Andrenko P.N., Lebedev A.J. Improvement of Power Characteristics of Volumetric Hydrounits // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 2(49). P.98-101.

Results of the state-of-the-art review of circuit decisions of modern volumetric hydrounits of technological and mobile machines are resulted. The perspective structure and hardware realization of the hydrounit which will provide improvement of its power characteristics is offered.

Il. 1. Ref.: 12.

УДК 629.3.023

Фалалеєв А.П. Оптимальне гальмування пасажиру при фронтальному зіткненні транспортного засобу // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 2(49). С. 102-107.

Отримано та досліджено функцію оптимального гальмування пасажира транспортного засобу при фронтальному зіткненні. Систему пасажир-транспортний засіб представлено у вигляді одномасової моделі. Рішення дозволяє підбирати параметри стримуючої системи для реалізації оптимального закону гальмування за критерієм травмування грудної клітини.

Іл. 4. Бібліогр.: 3 назв.

УДК 629.3.023

Фалалеев А. П. Оптимальное торможение пассажира при фронтальном столкновении

транспортного средства // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №2(49). С. 102-107.

Получена и исследована функция оптимального торможения пассажира транспортного средства при лобовом столкновении. Система пассажир-транспортное средство представлена в виде одномассовой модели. Решение позволяет подбирать параметры сдерживающей системы для реализации оптимального закона торможения по критерию травмирования грудной клетки.

Рис. 4. Библиогр.: 3 назв.

UDC 629.3.023

Falaleev A. P. Optimal Ocupant Braking During the Frontal Vehicle Crash // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 2(49). P.102-107.

The function of optimal occupant braking is investigated during the frontal vehicle crash. System occupant-vehicle is presented as a simple spring-mass-damper model. The solution allows to synthesis optimal parameters of restraint system according chest injury criterion.

Il. 4. Ref.: 3.

УДК 621. 791. 4

Головко В.В., Костін В.А., Алесєєнко І.І., Прибитько І.О. Вплив структурного зміцнення на властивості металу зварних швів низьколегованих сталей // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 2(49). С. 108-116.

Досліджено особливості формування структури зміцненого метала зварних швів низьколегованих сталей і визначено умови одержання якісного з'єднання.

Іл. 5. Бібліогр.: 14 назв.

УДК 621. 791. 4

Головко В.В., Костин В.А., Алесеенко И.И., Прибытько И.А. Влияние структурного упрочнения на свойства металла сварных швов низколегированных сталей // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №2(49). С. 108-116.

Исследованы особенности формирования структуры упрочненного металла сварных швов низколегированных сталей и определены условия получения качественного соединения.

Іл. 5. Бібліогр.: 14 назв.

UDC 621.791.4

Golovko V.V., Kostin V.A., Alekseenko I.I., Prybytko I.O. Impact of Structural Hardening on the Properties of Weld Metal Low-alloy Steels // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 2(49). P.108-116.

The features of the structure of the hardened metal welds and low-alloy steels are determined, obtaining high quality welds.

Ill. 5. Ref.: 14.

УДК 620.197.3

Сиза О.І., Міщенко М.В. Корозійні властивості свинцю у кислотних електролітах // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 2(49). С. 117-121.

Досліджено корозійну активність свинцю у водних розчинах нітратної, хлоридної та сульфатної кислот. Найбільша швидкість корозії спостерігається у розчині HNO_3. З підвищенням температури електроліту від 20˚ С до 60˚С швидкість корозійних процесів зростає (експозиція 5 годин).

Табл. 2. Іл. 6. Бібліогр. 8

УДК 620.197.3

Сизая О.И., Мищенко Н.В. Коррозионные свойства свинца в кислотных электролитах // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №2(49). С. 117-121.

Исследована коррозионная активность свинца в водных растворах нитратной, хлоридной и сульфатной кислот. Наибольшая скорость коррозии наблюдается в растворе HNO_3. С повышением температуры электролита от 20^0С до 60^0С скорость коррозионных процессов возрастает (экспозиция 5 часов).

Табл. 2. Ил. 6. Библиогр. 8

UDC 620.197.3

Syza O.I., Mischenko N.V. Corrosive Properties of Lead in the Acid Electrolytes // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 2(49). P.117-121.

Corrosive activity of lead is explored in water solutions by nitrate, hloridnoy and sulfate the acids. Most speed of corrosion is observed in the solution HNO_3. With the increase of temperature of electrolyte from 20^0C to a 60^0C speed of corrosive processes increases (experiment 5 hours).

Tabl. 2. Ill. 6. Ref. 8

УДК 620.197.3

Савченко О.М., Завальна І.В., Наливайко Ю.М., Гриценок Н.О. Захист системи водопостачання від корозійних процесів // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 2(49). С. 122-128.

Досліджено рівень забруднення ферумом питної води різних районів м. Чернігова. Встановлено, що використання реагенту “Sea Quest” для антикорозійної обробки води господарсько-питного водопостачання малоефективне та призводить до збільшення вмісту ферума у воді. Запропоновано екологічно безпечні інгібітори корозії на основі рослинної сировини для захисту водогінної системи.

Іл.3. Бібліогр. 6.

УДК 620.197.3

Савченко О.Н., Завальная И.В., Наливайко Ю.М., Гриценок Н.О. Защита системы водоснабжения от коррозионных процессов // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №2(49). С. 122-128.

Исследован уровень загрязнения ферумом питьевой воды разных районов г. Чернигова. Установлено, что использование реагента "Sea Quest" для антикоррозионной обработки воды хозяйственно-питьевого водоснабжения малоэффективно и приводит к увеличению содержания ферума в воде. Предложены экологически безопасные ингибиторы коррозии на основе растительного сырья для защиты водопроводной системы.

Илл. 3. Библиогр. 6.

UDC 620.197.3

Savchenko O.M., Zavalna I.V., Nalivayko Y.M., Gritsenok N.O. Protection of System of Water Supply from Corrosive Processes // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 2(49). P.122-128.

The level of pollution by the iron potable water of different areas of Chernigov is investigated. Use of a reagent " Sea Quest " for anticorrosive processing water of economic-drinking water supply ineffective is established, and leads to increasing of iron content in water. Ecologically safe inhibitory corrosion on the basis of vegetative raw material for protection of water system are offered.

Ill. 2. Ref. 6.

УДК 620.197.3

Челябієва В.М., Бондар О.С., Гуменюк О.Л., Приходько С.В. Протикорозійні властивості деяких фармакологічних препаратів // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 2(49). С. 129-135.

Досліджена можливість використання для захисту від біокорозії у присутності сульфатвідновлюючих бактерій активних компонентів протимікробних фармакологічних препаратів. Показано, що препарат який містить 4-оксо-7-(1-піперазиніл)-6-фтор-1-етил-1,4дигідрохінолін-3-карбонову кислоту,– ефективний інгібітор біокорозії, ініційованої сульфатвідновлюючими бактеріями, ступінь захисту – 92.9%. Показано, що біоцидні властивості досліджених сполук у відношенні сульфатвідновлюючих бактерій залежать від механізму їх дії на бактеріальну клітину.

Іл. 3. Бібліогр.: 12.

УДК 620.197.3

Челябиева В.Н., Бондарь Е.С., Гуменюк О.Л., Приходько С.В. Противокоррозионные свойства некоторых фармакологических препаратов // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №2(49). С. 129-135.

Исследована возможность использования для защиты от биокоррозии в присутствии сульфатредуцирующих бактерий активных компонентов противомикробных фармакологических препаратов. Показано, что препарат, содержащий 4-оксо-7-(1-пиперазинил)-6-фтор-1-этил-1,4дигидрохинолин-3-карбоновую кислоту, – эффективный ингибитор биокоррозии, инициированной сульфатвосстанавливающими бактериями, степень защиты – 92.9%. Показано, что биоцидные свойства исследованных соединений в отношении сульфатредуцирующих бактерий зависят от механизма их действия на бактериальную клетку.

Ил. 3. Библиогр.: 12.

UDC 620.197.3

Chelyabyeva V.M., Bondar O.S., Humeniuk O.L., Prihodko S.V. Anticorrosion Property Of Some Fharmacological Preparations // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 2(49). P.129-135.

The opportunity of use for biocorrosion protection of active components antibiotics pharmacological preparations at the presence of the Sulfur-renovated bacteria is investigated. Is shown, that preparation with 1-Ethyl-6-fluoro-4-oxo-7-piperazin-1-yl-1,2,3,4-tetrahydro-quinoline-3-carboxylic acid is an effective inhibitor of biocorrosion initiated Sulfur-renovated bacteria, degree of protection - 92.9 %. Is shown also, that antibiotics property of the investigated substances in the relation Sulfur-reduced bacteria depend on the mechanism of their action on bacterial cellule.

Il. 3. Ref.: 12.

УДК 621.311

Пентегов І.В., Приступа А.Л., Мирошниченко Л.М., Богуславский Л.З. Щодо можливості застосування теслівських процесів в системах неруйнівного контролю // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 2(49). С. 136-141.

Запропоновано модель передачі енергії за допомогою теслівських схем, проведено аналіз електромагнітних процесів, встановлено їх вид і вплив на них параметрів джерела, приймача і середовища передачі. Показана можливість застосування теслівских процесів у системах неруйнівного моніторингу.

Іл. 5. Бібліогр.: 6 назв.

УДК 621.311

Пентегов И.В., Приступа А.Л., Мирошниченко Л.Н., Богуславский Л.З. О возможности применения тесловских процессов в системах неразрушающего контроля // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №2(49). С. 136-141.

Представлена модель передачи энергии при помощи тесловских схем, проведен анализ электромагнитных процессов, установлен их вид и влияние на них параметров источника, приемника и среды передачи. Показана возможность применения тесловских процессов в системах неразрушающего мониторинга.

Ил. 5. Библиогр.: 6 назв.

UDC 621.311

Pentegov I.V., Prystupa A.L., Miroshnichenko L.M., Boguslavskyi L.Z. On Application of Tesla Processes in Non-destructive Inspection Systems // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 2(49). P.136-141.

A model of energy transmission using Tesla networks is presented. The paper analyses electromagnetic processes in Tesla networks and their dependence on voltage source, consumer and the transmission medium. Tesla processes are shown to be potentially used in non-destructive inspection systems.

Ill. 5. Ref.: 6.

УДК 004.32.26:621.3:62-8

Красножон О.В., Іванець С.А., Ульченко Д.О. Нейронечітка система регулювання швидкості електродвигуна постійного струму // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 2(49). С. 142-148.

Розглянуто проблеми побудови систем регулювання Проведено аналіз існуючих принципів здійснення регулювання. Описано процес розробки нейронечіткого регулятора. Запропоновано структуру системи регулювання з нейронечітким регулятором для реалізації на ПЛІС. Проведено моделювання та оцінку результатів роботи системи регулювання.

Іл. 7. Бібліогр.: 8 назв.

УДК 004.32.26:621.3:62-8

Красножон А.В., Иванец С.А., Ульченко Д.О. Нейронечёткая система регулирования скорости электродвигателя постоянного тока // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №2(49). С. 142-148.

Рассмотрены проблемы построения систем регулирования. Проведён анализ существующих принципов осуществления регулирования. Описан процесс разработки нейронечёткого регулятора. Предложена структура системы регулирования с нейронечётким регулятором для реализации на ПЛИС. Проведено моделирование и оценка результатов работы системы регулирования.

Ил. 7. Библиогр.: 8 назв.

UDC 004.32.26:621.3:62-8

Krasnozhon A.V., Ivanets S.A., Ulchenko D.O. ANFIS Operation System of the Speed Rotation of DC Motor // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 2(49). P.142-148.

The problems of construction of the adjustment systems are considered. The analysis of the existing principles of fulfillment are carried out. The process of elaboration of the anfis regulator is described. The structure of the regulation system with anfis regulator for the realization on FPGA (CPLD) is proposed. The simulation and the valuing of the results of the work of the regulation system is made.

Ill. 7, Ref.: 8

УДК 621.317.35

Р.В. Заровський, О.А. Велігорський, М.А. Хоменко. Моделювання системи електроприводу з нечітким регулятором, налаштованим з урахуванням збурень. // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 2(49). С. 149-155.

Розглянуто процес складання таблиці правил роботи нечіткого регулятора за фазовими портретами помилки регулювання з урахуванням дії збурень. Виконане моделювання системи стабілізації швидкості з нечітким регулятором, налаштованим за складеною таблицею правил.

Іл. 5. Бібліогр. 5.

УДК 621.317.35

Р.В. Заровский, А.А. Велигорский, М.А. Хоменко. Моделирование системы электропривода с нечетким регулятором, настроенным с учетом возмущений. // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №2(49). С. 149-155.

Рассмотрен процесс составления таблицы правил работы нечеткого регулятора по фазовым портретам ошибки регулирования с учетом воздействия возмущений. Выполнено моделирование системы стабилизации скорости с нечетким регулятором, настроенным по полученной таблице правил.

Илл. 5. Библиогр. 5

UDC 621.317.35

R.V. Zarovsky, O.A. Veligorsky, M.A. Homenko. Simulation of the Electric Drive System with a Fuzzy Controller Tuned with Perturbations. // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 2(49). P.149-155.

The process of compiling a table of rules of fuzzy controller by the phase portraits of error control, taking into account the impact of perturbations, is given. Simulation of the speed stabilization system with a fuzzy controller that is configured to received rules table is executed.

Ill. 5. Ref. 5

УДК 621.314.58

О.А. Велігорський, Р.В. Заровський, Ю.М. Валевач. Оцінка впливу автономних інверторів напруги на мережу живлення // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 2(49). С. 156-163.

Розглянутий розрахунок перехідних процесів для мостової схеми автономного інвертора напруги з широтно-імпульсною модуляцією, отримані значення вхідного та вихідних струмів для перших трьох півперіодів роботи схеми. Розглянута Matlab-модель, розроблена для даної схеми, для якої досліджено спектр вхідного струму та вихідної напруги.

Іл. 11. Бібліогр. 7.

УДК 621.314.58

А.А. Велигорский, .В. Заровский, Ю.М. Валевач. Оценка влияния автономных инверторов напряжения на питающую сеть // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №2(49). С. 156-163.

Рассмотрен расчет переходных процессов для мостовой схемы инвертора напряжения с широтно-импульсной модуляцией, получены значения входного и выходного токов для первых трех полупериодов работы схемы. Рассмотрена Matlab-модель, разработанная для данной схемы, для которой исследован спектр входного тока и выходного напряжения.

Илл. 11. Библиогр. 7

UDC 621.314.58

O.A. Veligorsky, R.V.Zarovsky, Y.M. Valevach. Assessing the Impact of autonomous DC-AC Converter on the Supply Grid // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 2(49). P.156-163.

Calculation of transients for the bridge circuit autonomous DC-AC converter with pulse-width modulation

are considered. Values of input and output currents for the first three half-cycles of the scheme are obtained. Models of autonomous DC-AC converter are considered, for which the spectrum of input current and output voltage is presented.

Ill. 11. Ref. 7.

УДК 004.4

Акименко А.М. Використання UML під час проектування складних програмних систем // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 2(49). С. 164-169.

Розглянуто модель складної програмної системи, що формується за допомогою діаграм Universal Modeling Language. Запропоновано методики застосування діаграм Universal Modeling Language для різних стратегій конструювання складних програмних систем. Визначено особливості застосування запропонованих методик.

Іл. 3. Бібліогр. :5 назв.

УДК 004.4

Акименко А.М. Использование UML при проектировании сложных программных систем // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №2(49). С. 164-169.

Рассмотрена модель сложной программной системы, формируемой с помощью диаграмм Universal Modeling Language. Предложены методики применения диаграмм Universal Modeling Language для различных стратегий конструирования сложных программных систем. Определены особенности применения предложенных методик.

Ил. 3. Библиогр. :5 назв.

UDC 004.4

Akymenko A.M. Using UML in the Design of Complex Software Systems // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 2(49). P.164-169.

A model of a complex software system, formed with the aid of diagrams Universal Modeling Language, is considered. The techniques of Universal Modeling Language diagrams for the different strategies of constructing complex software systems are presented. The features of the proposed methods are determined.

Ill. 3. Ref. :5.

УДК 621.396.2.019.4 : 621.391.254

Зайцев С.В., Кувшинов О.В., Восколович О.І. Математична модель ітеративної оцінки дисперсії завад для систем зв'язку з технологією *MIMO*. // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 2(49). С. 170-176.

Запропонована математична модель ітеративної оцінки дисперсії завад типу білий гаусівський шум для систем зв'язку з технологією *MIMO*. Застосування математичної моделі під час моделювання статистичних характеристик завадозахищеності засобів радіозв'язку з технологією *MIMO* та турбо кодами дозволяє зменшити похибку оцінки стану каналу та підвищити завадозахищеність таких систем.

Іл. 7. Бібліогр.: 12.

УДК 621.396.2.019.4 : 621.391.254

Зайцев С.В., Кувшинов А.В., Восколович О.И. Математическая модель итеративной оценки дисперсии помех для систем связи с технологией *MIMO*. // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №2(49). С. 170-176.

Предложена математическая модель итеративной оценки дисперсии помех типа белый гаусовский шум для систем связи с технологией *MIMO*. Применение математической модели во время моделирования статистических характеристик помехозащищенности средств радиосвязи с технологией *MIMO* и турбо кодами позволяет уменьшить погрешность оценки состояния канала и повысить помехозащищенность таких систем.

Ил. 7. Библиогр.: 12.

UDC 621.396.2.019.4 : 621.391.254

Zaitsev S.V., Kuvshinov A.V., Voskolovich O.I. A Mathematical Model of an Iterative Noise Variance Estimation for Communication Systems with *MIMO*-technology. // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 2(49). P.170-176.

A mathematical model of iterative noise variance estimation type gauss white noise for communication systems with MIMO technology is proposed. Application of mathematical models during the simulation of the statistical characteristics of noise immunity of radio communication with MIMO technology and turbo codes can reduce the error in estimating the state of the channel and increase the immunity of such systems.

Ill. 7. Ref.: 12.

УДК 621.391

Кувшинов О.В., Зайцев С.В. Метод розподілу потужності сигналу з OFDM в системах радіозв'язку. // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 2(49). С. 177-183.

Розглядається задача підвищення енергетичної ефективності систем радіозв'язку під час передачі сигналів по багатопроменевих каналах. Пропонується метод оптимізації параметрів системи радіозв'язку з OFDM, який дозволяє знизити потужність передавача окремих абонентів системи, необхідну для досягнення заданої швидкості передачі. Запропонований метод може бути використаний під час проектування систем та засобів радіозв'язку, що функціонують в умовах селективних завмирань.

Іл. 2. Бібліогр.: 12.

УДК 621.391

Кувшинов А.В., Зайцев С.В. Метод распределения мощности сигнала с OFDM в системах радиосвязи. // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №2(49). С. 177-183.

Рассматривается задача повышения энергетической эффективности систем радиосвязи при передаче сигналов по многолучевым каналам. Предлагается метод оптимизации параметров системы радиосвязи с OFDM, позволяющий снизить мощность передатчика отдельных абонентов системы, необходимую для достижения заданной скорости передачи. Предложенный метод может быть использован при проектировании систем и средств радиосвязи, функционирующих в условиях селективных замираний.

Ил. 2. Библиогр.: 12.

UDC 621.391

Kuvshinov A.V., Zaitsev S.V. The Method of Distribution of the Signal Power with OFDM in Radio Systems. // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 2(49). P.177-183.

The task of increasing of the power efficiency of the radio communication systems in process of transmission of signals under the multipath channels is considered. The method of optimization of parameters of the radio communication system with OFDM is proposed, allowing to reduce transmitter's power of separate subscribers of the system for achievement of the set transmission rate. The offered method can be used for planning of the radio communication systems and means, functioning's in the conditions of the selective fading.

Ill. 2. Ref.: 12.

УДК 621.396

Сорокін О.Ю. Архітектура формувача модульованого радіосигналу з великою базою. // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 2(49). С. 184-190.

Проведений аналіз та виконаний вибір елементної бази, структурних схем і алгоритмів роботи, необхідних для реалізації широкосмугового формувача модульованого радіосигналу з великою базою на основі частотних стрибків з безперервною фазою.

Іл.1. Бібліогр.: 10.

УДК 621.396

Сорокин А.Ю. Архитектура формирователя модулированного радиосигнала с большой базой. // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №2(49). С. 184-190.

Проведен анализ и выполнен выбор элементной базы, структурных схем и алгоритмов работы, необходимых для реализации широкополосного формирователя модулированного радиосигнала с большой базой на основе частотных скачков с непрерывной фазой.

Ил.1. Библиогр.: 10.

UDC 621.396

Sorokin O. Architecture of the Former of the Modulated Radio Signal with a Large Base. // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 2(49). P.184-190.

The analysis was done and therefore the element base, the structure charts and the work algorithms necessary for realization of the wideband former of the modulated spread spectrum radio signal on the basis of the frequency continuous phase hopping were chosen.

Ill. 1. Ref.: 10.

УДК 004.891.2

Кондратенко М.В., Хижняк А.В.. Система автоматизації роботи відділу технічної підтримки користувачів // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 2(49). С. 191-197.

Запропоновано систему автоматизації роботи відділу технічної підтримки користувачів, яка полягає в інтеграції системи відслідковування помилок та експертної системи.

Іл.:4. Бібліогр.: 5 назв.

УДК 004.891.2

Кондратенко М.В., Хижняк А.В. Система автоматизации работы отдела технической поддержки пользователей // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №2(49). С. 191-197.

Предложена система автоматизации работы отдела технической поддержки пользователей, которая заключается в интеграции системы отслеживания ошибок и экспертной системы.

Ил..4. Библиогр.: 5 назв.

UDC 004.891.2

Kondratenko M.V., Khyznyak A.V. Automation Systems Division of Technical Support // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 2(49). P.191-197.

A system for automating the work of technical support to users is proposed. It is the integration of the bug tracking system and expert system.

Ill. 4. Ref.: 5.

УДК 681.3.06 : 681.3.082.5

Нестеренко С.О. Обхід спеціальних структур даних з допомогою циркуляторів // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 2(49). С. 198-202.

Розглянуто проблему адекватного відображення на структури даних поверхневої моделі тривимірного тіла. Запропоновано використовувати для обходу цих структур циркулятори – модифікацію ітераторів зі спеціальною формою обчислення умови закінчення циклу перебора. Викладена ідея проілюстрована фрагментами програмного коду на С++.

Іл. 2. Бібліогр. :6 назв.

УДК 681.3.06 : 681.3.082.5

Нестеренко С.А. Обход специальных структур данных с помощью циркуляторов // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №2(49). С. 198-202.

Рассмотрена проблема адекватного отображения на структуры данных поверхностной модели трехмерного тела. Предложено использовать для обхода этих структур циркуляторы – модификацию итераторов со специальной формой вычисления условия окончания цикла перебора. Изложенная идея проиллюстрирована фрагментами программного кода на С++.

Илл. 2. Библиогр. :6 назв.

UDC 681.3.06 : 681.3.082.5

Nesterenko S.A. The Special Data Structures Traversal Using a Circulators // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 2(49). P.198-202.

The problem of adequate reflecting the 3D-body surface model onto data structures is examined. For the data structures traversal the circulators are recommended to use. Circulator is described as iterator with the end-cycle condition of special form. The discussed idea is illustrated by the C++ program code fragments.

Ill. 2. Ref. :6.

УДК 004.627

Деркач І.С., Нестеренко С.О. Модифікація технології фрактального стискання растрових зображень // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 2(49). С. 203-210.

Запропонована модифікація фрактального методу стискання і декодування растрових зображень, яка полягає у використанні нового способу пошуку відповідності доменних блоків ранговим з використанням дискретного косинусного перетворення (ДКП).

Іл..9. Бібліогр.: 7 назв.

УДК 004.627

Деркач И.С., Нестеренко С.А. Модификация технологии фрактального сжатия растровых изображений // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №2(49). С. 203-210.

Предложена модификация фрактального метода сжатия и декодирования растровых изображений, которая заключается в использовании нового способа поиска соответствия доменных блоков ранговым с использованием дискретно косинусного преобразования (ДКП).

Ил..9. Библиогр.: 7 назв.

UDC 004.627

Derkach I.S., Nesterenko S.A. Modification of Technology of Fractal Compression in Bitmaps // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 2(49). P.203-210.

A modification of fractal coding and decoding method in bitmaps is proposed, which uses a new method of search matching domain blocks to ranks using discrete cosine transform (DCT).

Ill. 9. Ref.: 7.

УДК 004.627

Стельмашенко А.О., Лукін О.В. Архітектура платформи програмно-апаратної IP-фільтрації // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 2(49). С. 211-216.

Запропонована архітектура платформи програмно-апаратної IP-фільтрації, яка поєднує швидкодію апаратних та гнучкість програмних IP-фільтрів, шляхом створення апаратного фільтру, що може виконувати аналіз пакетів до рівня 3 стандартної моделі OSI та взаємодіяти з програмним IP-фільтром.

Іл..5. Бібліогр.: 7 назв.

УДК 004.627

Стальмашенко А.О., Лукин А.В. Архитектура платформы программно-аппаратной IP-фильтрации // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №2(49). С. 211-216.

Предложена архитектура платформы программно-аппаратной IP-фильтрации, которая объединяет быстродействие аппаратных и гибкость программных IP-фильтров, путём создания аппаратного фильтра, который может анализировать пакеты до уровня 3 стандартной модели OSI и взаимодействовать с программным IP-фильтром.

Ил..5. Библиогр.: 7 назв.

UDC 004.627

Stelmashenko A.O., Lukin A.V. Architecture of the Hardware and Software Platform of IP-filtering // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 2(49). P.211-216.

The architecture of the hardware and software platform of IP-filtering is proposed, which unites performance of hardware and flexibility of software IP-filters creating of the hardware filter which can analyze packets to the 3rd level of the standard OSI model and interact with software filter.

Ill. 5. Ref.: 7.

УДК 004.738.056.5:519.87:519.217.2

Лукін О.В., Дячок О.П. Детектор аномальної поведінки мережевих автоматних протоколів // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 2(49). С. 217-225.

На прикладі атаки по протоколу SSH запропоновано застосування марківських процесів для опису поведінки автоматних мережевих протоколів, розпізнавання мережних атак по автоматних протоколах, а також загальна методика побудови розпізнавачів, що базуються на досліджуваному методі детектування. Проведено математичне моделювання отриманого опису та розроблено простий критерій детектування розподілених атак на підбір паролів.

Іл..8. Бібліогр.: 11 назв.

УДК 004.738.056.5:519.87:519.217.2

Лукин А.В., Дячок А.П. Детектор аномального поведения сетевых автоматных протоколов // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №2(49). С. 217-225.

На примере атаки по протоколу SSH предложено применение марковских процессов для описания поведения автоматных сетевых протоколов, распознавание сетевых атак по автоматным протоколам, а также общая методика построения распознавателей, базирующихся на исследуемом методе детектирования. Проведено математическое моделирование полученного описания и разработан простой критерий детектирования распределенных атак на подбор паролей.

Ил..8. Библиогр.: 11 назв.

UDC 004.738.056.5:519.87:519.217.2

Lukin O.V., Diachok O.P. Abnormal Behavior Detector of Network Automatic Protocols // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 2(49). P.217-225.

In accordance with example of an attack on the SSH protocol is proposed the use of Markov processes to describe the behavior of automatic network protocols, detection of network attacks aimed at the automaton protocols, as well as a general method of detector constructing, based on the proposed method. Mathematical simulation of the received descriptions has been done, as well as a simple criterion of detecting of dictionary or brute-force attack has been suggested.

Ill. 8. Ref.: 11.

УДК 004.94

Зинченко А.Л., Коненко А.П. Моделювання фазових переходів при прототипуванні інформаційних систем // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 2(49). С. 226-233.

Розглянуті проблеми, які виникають під час моделювання та прототипування складних інформаційних систем. Зокрема докладно розглянуто проблему фазових переходів.

Іл..8. Бібліогр.: 7 назв.

УДК 004.94

Зинченко А.Л., Коненко А.П. Моделирование фазовых переходов при прототипировании информационных систем // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №2(49). С. 226-233.

Рассмотрены проблемы, возникающие при моделировании и прототипировании сложных информационных систем. В частности, подробно рассмотрена проблема фазовых переходов.

Ил..8. Библиогр.: 7 назв.

UDC 004.94

Zinchenko A.L, Konenko A.P. Simulation of Phase Transitions in Information Systems Prototyping // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 2(49). P.226-233.

The problems appearing in the process of modelling and prototyping of the complex informational systems is devoted. The detailed description of the problem concerned with the phase changes is presented.

Ill. 8. Ref.: 7.

УДК 004.274

Грицай Д.Д., Роговенко А.І. Особливості побудови комп'ютерної системи тестування цифрових пристроїв на базі soft-процессорів // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 2(49). С. 234-239.

Проведено огляд комп'ютерної системи тестування цифрових пристроїв на базі soft-процесорів. Визначені складові елементи цієї системи та зв'язки між ними. Розроблена архітектура системи, яка дозволяє ґрунтовніше тестувати програмне та апаратне забезпечення, на якому воно працюватиме.

Іл..1. Бібліогр.: 5 назв.

УДК 004.274

Грицай Д.Д., Роговенко А.И. Особенности построения компьютерной системы тестирования цифровых устройств на базе soft-процессоров // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №2(49). С. 234-239.

Проведен обзор компьютерной системы тестирования цифровых устройств на базе soft-процессоров. Определены составные элементы этой системы и связи между ними. Разработанная архитектура системы, которая позволяет основательно тестировать программное и аппаратное обеспечение, на котором оно будет работать.

Ил..1. Библиогр.: 5 назв.

UDC 004.274

Grytsay D.D., Rogovenko A.I. Cryptographic Features Build a Computer System Testing of Digital Devices Based on Soft-processor // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 2(49). P.234-239.

The review of the computer system testing of digital devices based on soft-core processors is made. Components of the system and relations between them are determined. The developed system architecture that allows more thoroughly test the software and hardware on which it will work.

Ill. 1. Ref.: 5.

УДК 519.6

Зацерковний В.І., Кривоберець С.В., Сімакін Ю.С. Методика створення еталонних моделей просторових об'єктів ГІС за допомогою регуляризуючого функціоналу // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 2(49). С. 240-246.

Розглянута можливість застосування геоінформаційних систем та геоінформаційних технологій для оцінки стану природного середовища. Розроблена математична модель на базі ортогоналізуючого функціоналу для діагностування станів територій та навколишнього середовища.

Бібліогр.: 6 назв.

УДК 519.6

Зацерковный В.И., Кривоберец С.В., Симакин Ю.С. Методика создания эталонных моделей пространственных объектов ГИС с помощью ортогонализирующего функционала // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №2(49). С. 240-246.

Рассмотрена возможность применения геоинформационных систем и геоинформационных технологий для оценки состояния естественной среды. Разработана математическая модель на базе ортогонализирующего функционала для диагностирования состояний территорий и окружающей среды.

Библиогр.: 6 назв.

UDC 519.6

Zatcerkovnyi V.I., Krivoberets S.V., Simakin Y.S. Method of Creation of Standard Models of Spatial Objects of GIS by an Orthogonalzing Functional // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 2(49). P.240-246.

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 orthogonalzing functional for diagnosing of conditions of territories and environment.

Ref.: 6.

УДК 628.316.6.094.3; 631.4: 550.8

Ковальов О. В., Сємака О. М., Шевченко О. О., Іванова І.М. Можливі підходи до вирішення проблеми ефективної очистки стічних вод (СВ) з метою збереження довкілля // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 2(49). С. 247-251.

Розглянуто вплив біогенних елементів на природний стан водойм та можливі підходи до вирішення проблеми їх захисту від недостатньо очищених стічних вод.

Іл. 3. Бібліогр.: 9.

УДК 628.316.6.094.3; 631.4: 550.8

Ковалёв А. В., Сємака А. Н., Шевченко О. А., Иванова И.Н. Возможные подходы к решению проблем эффективной очистки сточных вод (СВ) с целью охраны окружающей среды // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №2(49). С. 247-251.

Рассмотрено влияние биогенных элементов на природное состояние водоемов и возможные подходы к решению проблемы их защиты от недостаточно очищенных сточных вод.

Илл. 3. Библиогр.: 9.

UDC 628.316.6.094.3; 631.4: 550.8

Kovalyov O. V., Siemaka O. M, Shevchenko O. O., Ivanova I. M. Possible Approaches to the Problem Solving of Effective Cleaning of Sewage (S) for Saving Environment // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 2(49). P.247-251.

Influence of biogenic elements on the natural conditions of reservoirs and possible approaches to the problem solving of their protecting from insufficient cleaned sewage are considered.

Ill. 3. Ref.: 9.

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 сбірнику 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, знизу, 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) місця 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 знизу 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 ясним, 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, знизу –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: cstu@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 **НАЗВАНИЯ**: 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 виборе единиц физических величин следует придерживаться Межнародной системы единиц (СІ). 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 заложенной 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 повторений 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 раньше 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: cstu@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: cstu@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»

№ 2(49)

Головний редактор: В.В. Казимир
Відповідальний за випуск: О.І. Пилипенко
Комп'ютерний макет: С.В. Бойко

Підписано до друку 28.03.2011 р. Формат 60х90/8. Папір типовий. Друк офсетний.
Гарнітура Tames New Roman. Умов. друк. арк. – 31,62. Обл. – вид. арк. – 26 ,86
Тираж 300 прим. Замовлення 559.

Редакційно-видавничий відділ Чернігівського державного технологічного університету 14027, Україна м. Чернігів, вул. Шевченка, 95. Свідоцтво про внесення до Державного реєстру України суб'єктів видавничої справи ДК №840 від 04.03.2002 р.