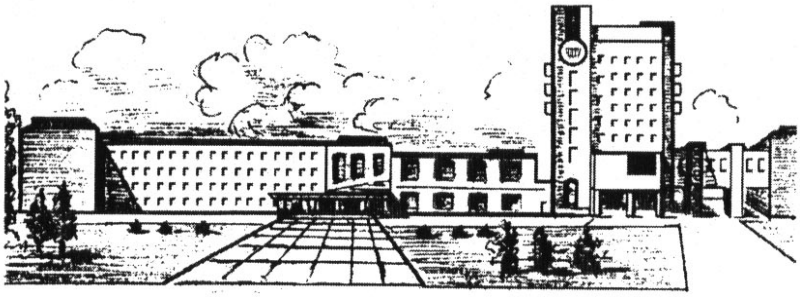
ISSN 2225-7551

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ



В І С Н И К

ЧЕРНІГІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

СЕРІЯ «ТЕХНІЧНІ НАУКИ»

НАУКОВИЙ ЗБІРНИК

№ 2 (57)

Чернігів 2012

УДК 62/69+004
ББК 30/35
В53

Друкується за рішенням вченої ради університету (протокол № 5 від 28.05.2012 р.). Вісник Чернігівського державного технологічного університету 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.

Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія "Технічні науки": науковий збірник / Черніг.
В53 держ. технол. ун-т. – Чернігів: Черніг. держ. технол. ун-т, 2012. – № 2 (57). – 227 с.

У цьому випуску "Вісника Чернігівського державного технологічного університету. Серія "Технічні науки" вміщено статті, присвячені теоретичним та експериментальним дослідженням у галузях технічних наук: механохімії, інтегрованих технологій машинобудування та автотранспорту, технологій зварювання, інформаційно-комп'ютерних технологій, енергетики. Статті написані науковцями, аспірантами, магістрантами та студентами і прорецензовані провідними вченими вищих технічних навчальних закладів та закладів НАН України.

"Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія "Технічні науки" буде корисним для науковців різних галузей технічних наук, науково-технічних працівників, аспірантів, магістрантів та студентів вищих технічних навчальних закладів.

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, професор;
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:
Бичко В.А., кандидат фізико-матем. наук;
Бурачек В.Г., доктор технічних наук;
Задерій Б.О., кандидат технічних наук;
Козирський В.В., доктор технічних наук;
Кондратенко І.П., доктор технічних наук;
Корченко О.Г., доктор технічних наук;
Кувшинов О.В., доктор технічних наук;
Литвинов В.В., доктор технічних наук;
Майборода В.С., доктор технічних наук;
Мурач О.О., доктор фізико-математичних наук;
Нестеренко С.О., кандидат технічних наук;
Павленко П.М., доктор технічних наук;
Сахно Є.Ю., доктор технічних наук;
Ступа В.І., доктор технічних наук;
Широчин В.П., доктор технічних наук;
Ямненко Ю.С., доктор технічних наук.

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

© Колектив авторів, 2012
© Чернігівський державний
технологічний університет, 2012

ISSN2225-7551

ЗМІСТ

РОЗДІЛ І. МЕХАНІКА

Пилипенко О.І., Полуян А.В. Втрати потужності на тертя у ланцюговому електроприводі і його Коефіцієнт корисної дії 5

Акимов О.О. Дослідження кінетостатики механізму притискування бобінотримача до фрикційного циліндра в намотувальному механізмі важільного типу 14

Булах І.О., Глоба О.В. Механічна обробка композиційних матеріалів 18

Cherednikov O.M., Borisov O.O., Semenyako O.G. Study in deformation of low rigidity rings under action of installation elements 25

РОЗДІЛ ІІ. МЕХАНОХІМІЯ

Горін В.В., Красніков В.П. Тепловіддача під час конденсації хладону r407c всередині горизонтальних труб 29

Денисенко Т.М., Гаценко С.В. Дегустаційна оцінка та дослідження фізико-хімічних показників якості чаю 35

Челябиева В.Н., Гуменюк О.Л. Влияние природы заместителя на эффективные заряды активных центров производных бромида 1-(4-этоксибензил**,** 2-гидрокси, 2-фенилимидазо[1,2-а]пиридиния 41

Burya A.I., Derkach A.D., Kuznetsova O.Yu., Krivel A.A. Application of carbon plastic bushes within friction knots of trolley-buses 46

РОЗДІЛ ІІІ. ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ І АВТОТРАНСПОРТУ

Міщенко М.В., ***Міщенко О.М.*** Електрогідравлічна схема гібридних маршрутних транспортних засобів загального користування з комп'ютерним керуванням 50

Педорич А.В. Підсумки та тенденції розвитку автотранспортної галузі України 54

Рудик А.В. Взаємозв'язок товщини зрізу з температурою торцевого шліфування під час врахування технологічних факторів 58

Федориненко Д.Ю. Просторова функція тиску на опорних поверхнях регульованих гідростатичних опор 63

Чуприна В.М. Модернізація розрахунків динамічних характеристик пружної системи металорізального верстата в сапр 70

РОЗДІЛ ІV. ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ

Харченко Г.К., Фальченко Ю.В., ***Петрушинець Л.В.*** Дифузійне зварювання у вакуумі алюмініду титану з нержавіючою сталлю 81

Болотов Г.П., ***Болотов М.Г.*** Джерела живлення тліючого розряду для дифузійного зварювання 84

Пентегов И.В., Сидорец В.Н., Петриенко О.И., Жерносеков А.М. Аналитическое определение коэффициента расплавления электрода при дуговой сварке сталей 89

Бушма А.И., Сидорец В.Н. Технологические характеристики колебательного лазерно-дугового разряда 95

РОЗДІЛ V. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Литвинов В.В., Стеценко І.В. Модель системи управління розподіленими обчислювальними ресурсами 101

Приставка П.О., Рябий М.О. Підвищення рівня стиснення з втратами цифрових зображень з використанням низькочастотних фільтрів 107

Філоненко С.Ф., Космач О.П. Закономірності зміни часових параметрів сигналів акустичної емісії під час руйнування композиційного матеріалу 114

Акименко А.М., Бивойно Т.П. Використання метрик програмного забезпечення для кількісного аналізу ризиків програмного проекту 123

Волокита А.Н., Тхинь Ву Дык, Якушев А.Ю. Обнаружение вторжений в распределенные компьютерные системы на основе генетического программирования 128

Зацерковний В.І. Розробка моделі прийняття рішень за допомогою регіональної геоінформаційної системи 133

Корнієнко Б.Я., Юдін О.К., Величко В.С. Комплексні системи захисту інформації автоматизованої системи класу "1" 139

Нікітенко Є.В. Алгоритм автоматизованого планування бездротової сенсорної мережі з врахуванням зайнятих ділянок простору 143

Пасов Г.В., Загуменник Є.В. Анімаційне моделювання лабораторії промислових роботів 148

Яриловець А.В., Зайцев С.В., Назарук В.Д. Аналіз стану та перспективи розвитку телекомунікаційних мереж 155

Кривоберець С.В. Аналіз методів і знімальних систем ведення агроекологічного моніторингу 166

Бортнік Л.Л. Метод обробки широкосмугових сигналів під час впливу негаусівських завад 176

Петров Е.В., Нестеренко С.А. Повышение секретности стеганографической передачи данных в интернет-потоке 179

Фатіков О.О., Соломаха В.В. Комп'ютерна система детектування неявних мережевих атак 185

РОЗДІЛ VI. ЕНЕРГЕТИКА

Скоробогатова В.І., Ободовський Б.В. Розрахунок технологічних витрат електроенергії в електричних мережах з урахуванням фактора структури електричної мережі 192

Зорин В.В., Буйный Р.А., Красножон А.В. Повышение пропускной способности линий электропередач по ряду критериев в условиях эксплуатации 196

Будьонний О. В., Коваленко Є.О., Прокопець М.А. Драйвер для керування силовими mosfet та igbt транзисторами 203

Велігорський О.А. Оцінка ефективності алгоритмів орієнтації фотоелектричних перетворювачів 206

Ковтун А.О., Рогоза О.В. Вимірювання фазових і частотних характеристик електричних коливань 215

ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАЧІ РУКОПИСІВ НАУКОВИХ СТАТЕЙ ДО "ВІСНИКА ЧЕРНІГІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ". СЕРІЯ "ТЕХНІЧНІ НАУКИ" 219

РОЗДІЛ І. МЕХАНІКА

УДК 621.855

О.І. Пилипенко, д-р техн. наук
А.В. Полуян, магістр
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ВТРАТИ ПОТУЖНОСТІ НА ТЕРТЯ У ЛАНЦЮГОВОМУ ЕЛЕКТРОПРИВОДІ І ЙОГО КОЕФІЦІЄНТ КОРИСНОЇ ДІЇ

Розглянуто втрати потужності на тертя між валиками і втулками шарнірів, їх вплив на коефіцієнт корисної дії у роликовому ланцюговому електроприводі, вплив полімерних матеріалів з високим опором до зношування під час ковзання при застосуванні їх у роликовому ланцюговому електроприводі.

Ключові слова: *потужність, тертя, коефіцієнт корисної дії.*

Рассмотрены потери мощности на трение между валиками и втулками шарниров, их влияние на коэффициент полезного действия в роликовом цепном электроприводе, влияние полимерных материалов с высоким сопротивлением к износу во время скольжения при применении их в роликовом цепном электроприводе.

Ключевіе слова: *мощность трение, коэффициент полезного действия.*

We consider power losses on friction between the rollers and bushings hinges, the impact on efficiency in electric roller chain, the impact of polymeric materials with high resistance to wear during sliding in applying them in the roller chain electric.

Keywords: *power, friction, efficiency.*

Постановка проблеми. Зважаючи на обмеженість енергетичних і матеріальних ресурсів, основним джерелом підвищення національного доходу є ресурсозбереження. Більшість машин потребує вдосконалення їх приводів з метою зниження матеріаломісткості та енергоспоживання на розгін і гальмування ведених деталей.

Економічність регулювання ланцюгового електроприводу оцінюється втратами енергії, які супроводжуються різними способами регулювання. Іноді економічність вдається грубо оцінити, порівнюючи корисну потужність $P_2 = M \cdot \omega$ зі споживаною з мережі P_1, тобто визначаючи втрати ΔP або обчислюючи ККД η у деякій характерній точці:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P}. \qquad (1)$$

Більш точні оцінки економічності регулювання під час порівняння різних їх способів можуть ґрунтуватися на циклічному ККД $\eta_ц$, який визначається з урахуванням конкретних умов роботи приводу за час циклу $t_ц$.

$$\eta_ц = \frac{\int_0^{t_ц} P_2(t)dt}{\int_0^{t_ц} P_2(t)dt + \int_0^{t_ц} \Delta P(t)dt}. \qquad (2)$$

Раніше під час вирішення завдань приведення обертаючих моментів до одного руху втрати в передавальному механізмі враховувалися за допомогою коефіцієнта корисної дії (ККД), причому величина ККД приймалася незмінною для цього типу передачі.

У розрахункові формули вводиться значення так званого номінального ККД, тобто ККД при номінальному навантаженні, яке і приводиться в довідкових даних для передач різного типу.

Формулювання цілей статті. Основними цілями статті є: дослідження втрат потужності на тертя між валиками і втулками шарнірів, їх вплив на ККД у роликовому ланцюговому електроприводі; дослідження впливу полімерних матеріалів з високим опором до зношування під час ковзання при застосуванні їх у роликовому ланцюговому електроприводі.

Виклад основного матеріалу дослідження. Значення ККД при частковому завантаженні визначається втратами на тертя механічної частини, а також з кривих:

$$\eta = f(K_З),$$

де $K_З = M_C / M_{Сном}$ – коефіцієнт завантаження;

M_c – момент, який створюється навантаженням.

Ці криві (рис. 1) дуже рідко наводяться навіть у спеціальних довідниках, що дуже ускладнює виконання точних розрахунків.

Існують методи розрахунку ККД при частковому завантаженні аналітичним шляхом, однак для цього потрібні додаткові вихідні дані про розподіл величин постійних і змінних втрат у функції номінального ККД.

Втрати в передачах мають дві складові:

1) постійні втрати $\Delta M_{ПОСТ}$, що залежать від конструкції опор ланцюгового електроприводу, в'язкості мастила, якості зубів зірочок і ланцюгів, величини їх зношуваності, а також від режиму експлуатації, зокрема, величини швидкості. Залежність $\Delta M_{ПОСТ} = f(\omega)$ незначна і мало досліджена;

2) змінні втрати $\Delta M_{ПЕР}$, що залежать від величини навантаження.

ККД передачі може бути виражений таким чином:

$$\eta = \frac{M_C}{M_C + \Delta M} = \frac{M_C}{M_C + \Delta M_{ПОСТ} + \Delta M_{ПЕР}}. \quad (3)$$

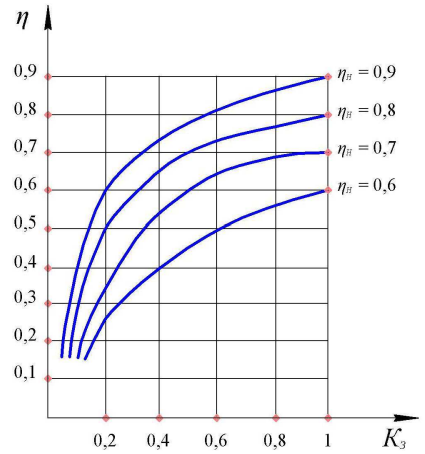


Рис. 1. ККД у функції коефіцієнта завантаження

Позначимо коефіцієнти постійних *a* й змінних *b* втрат у передачах, як:

$a = \frac{\Delta M_{ПОСТ}}{M_{Сном}}$; $b = \frac{\Delta M_{ПЕР}}{M_C}$, що дозволяє виразити ККД передачі за формулою (3) так:

$$\eta = \frac{M_C}{M_C + a \cdot M_{Сном} + b \cdot M_C}. \quad (4)$$

Розділимо (4) на M_C і врахуємо, що $K_З = \frac{M_C}{M_{Сном}}$. Тоді:

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{a}{K_З} + b}. \quad (5)$$

Розглянемо спочатку втрати на тертя між валиками і втулками шарніра роликового ланцюга. При цьому беруться наступні припущення.

1. Коефіцієнти тертя постійні.

2. Рухома ведуча вітка ланцюгового контуру горизонтальна і залишається під час руху паралельною сама собі.

На рис. 2. показаний розподіл сил для нормального способу зачеплення роликового ланцюга із зірочкою, отриманий експериментально [2].

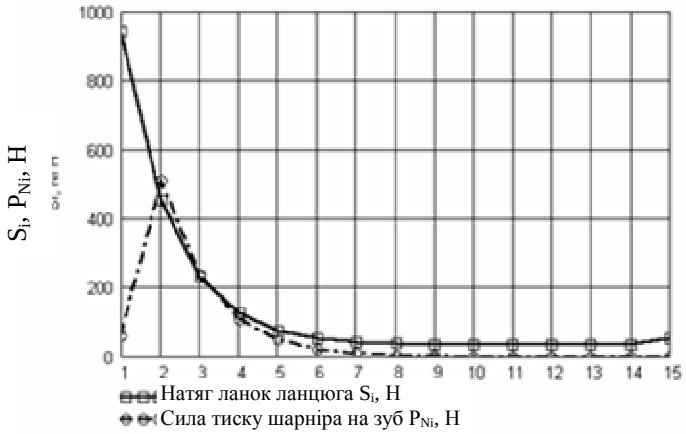


Рис. 2. Розподіл сил для нормального способу зачеплення роликового ланцюга з зірочкою

Силу косого удару між шарніром ланцюга і зубом зірочки можна розділити на дві складові [4]: незалежну від сили натягу ведучої вітки ланцюгового контуру – силу удару зуба P_N, і викликаною натягом ведучої вітки ланцюга – силу удару F_1 ведучої ланки AB ланцюга і F_2 – для ударної ланки BC (рис. 3). Дотичну силу $P_\tau = \mu \cdot P_N$, нехтуючи моментом $P_\tau \cdot \frac{D}{2}$, можна вважати направленою, як показано на рис. 2. У наведених виразах μ – коефіцієнт тертя між роликом ланцюга і зубом зірочки; D – діаметр ролика. Отже, під час співудару шарніра ланцюга із зубом зірочки на масу m, що зосереджена в шарнірі B, діють сили P_N, F_1, і F_2, а також миттєвий натяг ведучої вітки S_1. Ведучий шарнір A вже розташований на зірочці і під час удару не переміщується. При цьому ведуча ланка AB зазнає деформації стиску, а ударна ланка BC – деформації розтягу. Зусилля F_1 і F_2, що відповідають цим деформаціям, під час процесу співудару, змінюють свій напрямок несуттєво, тобто кути ε і θ залишаються незмінними (рис. 3).

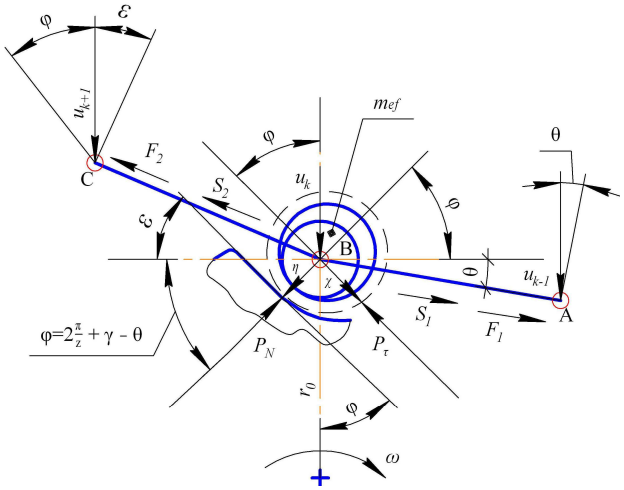


Рис. 3. Сили і швидкості під час співудару шарніра ланцюга з зубом зірочки

Запишемо збудження розтягнутої BC та ланки AB, яку стискають [2]:

$$F_2 - \frac{S_1}{p_u} = R_\omega \cdot \left[\dot{\chi} \cdot \mathbf{sin}(\varphi+\varepsilon) - \dot{\eta} \cdot \mathbf{cos}(\varphi+\varepsilon) + \frac{\dot{u}_{k+1}}{p_u} \cdot \mathbf{sin}\,\varepsilon \right]; \qquad (6)$$

$$F_1 - \frac{S_1}{p_u} = -R_\omega \cdot \left[\dot{\chi} \cdot \mathbf{sin}(\varphi + \theta) - \dot{\eta} \cdot \mathbf{cos}(\varphi + \theta) + \frac{\dot{u}_{k+1}}{p_u} \cdot \mathbf{sin}\,\theta \right], \quad (7)$$

де S_1 – миттєво діюче поздовжнє зусилля на ланці ланцюга, що входить у зачеплення із зубом зірочки; R_ω – хвильовий опір:

$$R_\omega = \sqrt{2} \cdot m \cdot \omega,$$

де m – маса, що зосереджена у центрі шарніра; ω – частота коливань:

$$\omega = 2 \cdot \sqrt{\frac{c}{m}},$$

де c – жорсткість ланки ланцюга; $\dot{\chi}$ та $\dot{\eta}$ – швидкості маси m під час удару у відповідних напрямках (рис. 3); p_u – частота поперечних коливань ведучої вітки ланцюга [4]; $\dot{u}_{k+1}$, $\dot{u}_{k-1}$ – поперечні швидкості сусідніх з розглянутою масою m мас (шарнірів).

Нормальна сила удару $P_N = c_K \cdot \frac{\dot{\eta}}{p_u}$, а дотична – $P_\tau = \mu \cdot P_N = \mu \cdot c_K \cdot \frac{\dot{\eta}}{p_u}$,

де c_K – контактна жорсткість [4; 3]:

$$c_K = \frac{P_N}{\delta_K},$$

де δ_K – контактна деформація. Згідно з [1]

$$P_N = n_K \cdot \delta_K^{3/2}, \quad (8)$$

$$\text{де } \delta_K = \sqrt[3]{\frac{9 \cdot \pi^2 \cdot P_N^2 \cdot (G_1 + G_2)}{8 \cdot D}};\ n_K = \sqrt[3]{\frac{8 \cdot D}{9 \cdot \pi^2 \cdot (G_1 + G)_2}};\ G_{1,2} = \frac{1 - \upsilon_{1,2}^2}{E_{1,2}}, \quad (9)$$

де $\upsilon_{1,2}$ – коефіцієнти поперечної деформації Пуассона матеріалів зуба зірочки і ролика ланцюга; $G_{1,2}$ – модулі пружності другого роду (зсуву); $E_{1,2}$ – модулі пружності першого роду (згину) відповідних матеріалів.

Важливо відзначити, що збурення $(F_2 - S_1)$ розтягнутої ланки *BC* дає інформацію про збурення ударом наступних коливань ведучої вітки ланцюга, в той час як збурення $(F_1 - S_1)$ стискуваної ланки *AB* швидко гаситься. Розрахунок загасання збурення $(F_2 - S_1)$ не має практичного значення, оскільки ведуча вітка через короткий проміжок часу отримує чергове збурення. Для ланцюгової передачі, оснащеної ланцюгом кроку $t = 19{,}05\,мм$, з числом зубців зірочок $z_{1,2} = 19$, кутом загострення профілю зуба $\gamma_W = 19^\circ$, навантаженої моментом $T = 78{,}5\,Н \cdot м$ при кутовій швидкості $\omega = 60\,с^{-1}$, контактна жорсткість становила: $c_{K1} = 3{,}92 \cdot 10^4\ \frac{Н}{мм}$ до граничного значення нормальної сили $P_N = 1275{,}3\,Н$ (рис. 4), що відповідає швидкості $\dot{u}_K < 8\frac{м}{с}$, а після цього граничного значення P_N $c_{K_2} = 9{,}8 \cdot 10^4\ \frac{Н}{мм}$, що відповідає швидкості $\dot{u}_K > 8\frac{м}{с}$.

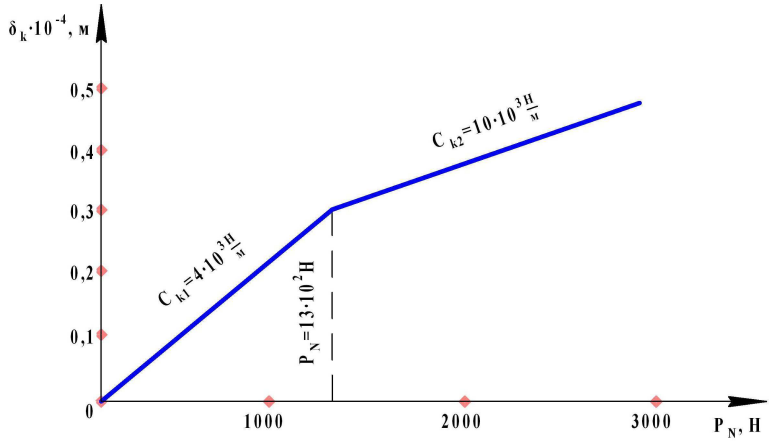


Рис. 4. Контактна жорсткість під час співудару шарніра ланцюга кроку t = 19,05 мм з зубом зірочки z = 19

На рис. 5 показані сила і характер співудару зуба зірочки P_N залежно від частоти обертання *n*.

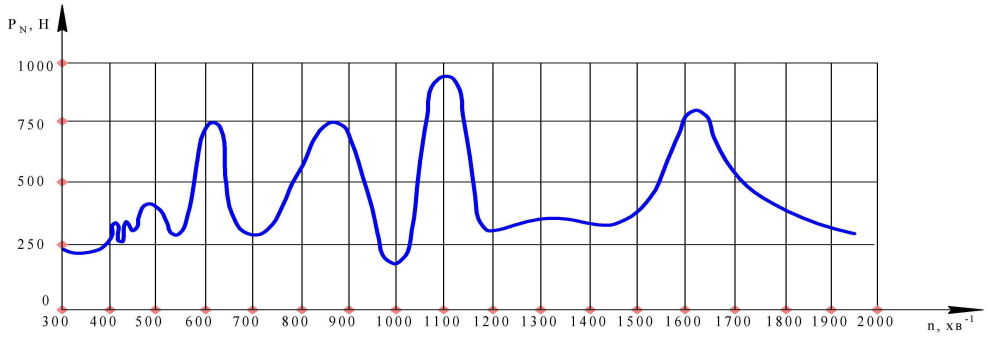


Рис. 5. Сила P_N і характер співудару зуба зірочки залежно від частоти її обертання

Звернемося до рис. 6, де показано співвідношення сил на зубах зірочки і в ланках ланцюга: зірочка повернулась після зачеплення шарніра *1* на кут $\frac{\pi}{z_1}+\varphi$, де φ – координата обертання, відраховується від вертикалі на ланку ланцюга по осі зірочки. *P* – тягове зусилля у ведучій вітці; P_1 – зусилля в першій ланці між шарнірами $1'$ і $2'$; P_{Z1} – нормальна сила на першому зубі; γ_{W1} – кут зачеплення (тиску) на ведучій зірочці.

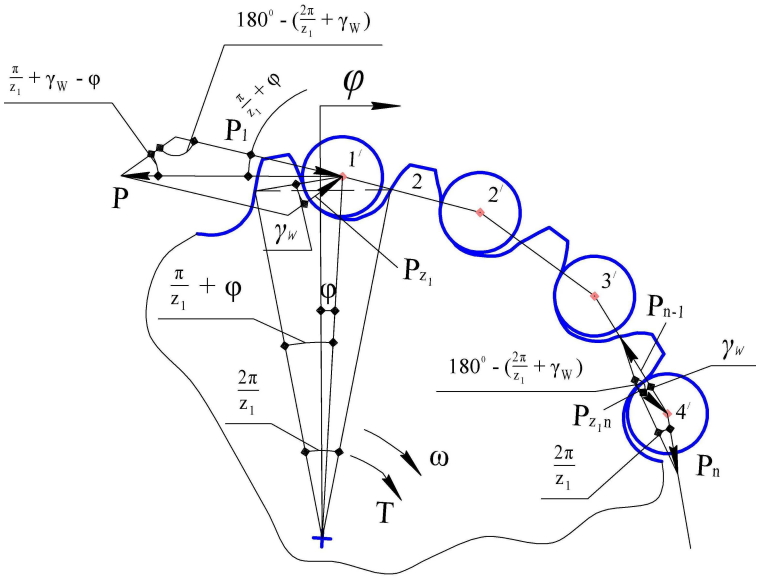


Рис. 6. Розподіл сил у зачепленні ведучої зірочки з ведучою віткою ланцюгового контуру

Коли під час набігання ланцюга на ведучу зірочку вона (і зовнішня ланка ланцюга) повернеться на кут $2\pi/z_1$ ($1/z_1$ обертів), сила P між валиком і втулкою виконає роботу тертя:

$$A_1 = \frac{2\pi}{z_1}\frac{d}{2} f \cdot P = \frac{\pi d f}{z_1} \cdot P ,$$

де z_1 – число зубців ведучої зірочки; d – діаметр валика; f – коефіцієнт тертя ковзання між валиком і втулкою.

У цей момент між зубом зірочки і роликом, так само, як і між валиком та втулкою відсутній відносний рух, тому що ролик повністю “сидить” у западині зуба зірочки. За один оберт зірочки зовнішня ланка увійде в зачеплення з зубом зірочки $\frac{z_1}{W}$ раз, де W – кількість ланок у ланцюговому контурі. Число поворотів ланки на зірочці, що обертається за одиницю часу (темп), становитиме:

$$T_1 = \frac{n_1 z_1}{W},$$

де n_1 – частота обертання ведучої зірочки.

Таким чином, втрати потужності на тертя для одного валика за одиницю часу складуть:

$$П_1 = \frac{\pi d \cdot f}{z_1} \cdot P \cdot \frac{n_1 z_1}{W} = \frac{\pi d \cdot f n_1}{W} \cdot P . \qquad (10)$$

Розглянемо тепер рух ланки, яка збігає з веденої зірочки. Середнє значення сили між валиком і втулкою дорівнює:

$$P_{m2} = \frac{P}{\frac{2\pi}{z_2}\sin\left(\gamma_{W2} + \frac{2\pi}{z_2}\right)}\left[\cos\left(\frac{2\pi}{z_2}\right) - \cos\left(\gamma_{W2} + \frac{2\pi}{z_2}\right)\right]. \qquad (11)$$

Робота сил тертя під час повороту зовнішньої ланки на веденій зірочці становитиме:

$$A_2 = \frac{2\pi}{z_2} \cdot \frac{df}{2} \cdot P_{m2} = \frac{\pi d \cdot f}{z_2} \cdot P_m .$$

Число поворотів внутрішньої ланки за хвилину (темп) становить: $T_2 = \frac{n_2 z_2}{W}$. Протягом цього повороту однієї внутрішньої ланки на веденій зірочці втрати потужності на тертя становитимуть:

$$П_2 = \frac{\pi d \cdot f}{z_2} \cdot P_{m2}\left(\frac{n_2 z_2}{W}\right) = \frac{\pi d \cdot f n_2}{W} \cdot P_{m2} = \frac{\pi d \cdot f n_2}{W} \cdot P\left[\frac{\cos(\gamma_{W2}) - \cos\left(\gamma_{W2} + \frac{2\pi}{z_2}\right)}{\frac{2\pi}{z_2}\sin\left(\gamma_{W2} + \frac{2\pi}{z_2}\right)}\right].$$

Загальні втрати потужності на тертя на обох зірочках запишемо так:

$$П' = П_1 + П_2 = \frac{\pi d \cdot f n_1}{W} P + \frac{\pi d \cdot f n_2}{W} \cdot P\left[\frac{\cos(\gamma_{W2}) - \cos\left(\gamma_{W2} + \frac{2\pi}{z_2}\right)}{\frac{2\pi}{z_2}\sin\left(\gamma_{W2} + \frac{2\pi}{z_2}\right)}\right] =$$

$$= \frac{\pi d \cdot f n_1}{W} \cdot P \cdot \left\{1 + \frac{1}{u}\left[\frac{\cos(\gamma_{W2}) - \cos\left(\gamma_{W2} + \frac{2\pi}{z_2}\right)}{\frac{2\pi}{z_2}\sin\left(\gamma_{W2} + \frac{2\pi}{z_2}\right)}\right]\right\}, \qquad (12)$$

де u – передаточне число.

Для ланки, що входить у зачеплення, робота тертя дорівнює:

$$A_3 = \frac{\pi d \cdot f}{z_1} \cdot P_{m1} = \frac{\pi d \cdot f}{z_1} \cdot P \cdot \left[\frac{\cos(\gamma_{W1}) - \cos\left(\gamma_{W1} + \frac{2\pi}{z_1}\right)}{\frac{2\pi}{z_1} \sin\left(\gamma_{W1} + \frac{2\pi}{z_1}\right)} \right]. \quad (13)$$

Втрати потужності на тертя:

$$П_3 = \frac{\pi d \cdot f}{z_1} \cdot P_{m1} \cdot \frac{n_1 z_1}{W} = \frac{\pi d \cdot f n_1}{W} \cdot P \cdot \left[\frac{\cos(\gamma_{W1}) - \cos\left(\gamma_{W1} + \frac{2\pi}{z_1}\right)}{\frac{2\pi}{z_1} \sin\left(\gamma_{W1} + \frac{2\pi}{z_1}\right)} \right]. \quad (14)$$

Очевидно, що для ланки, яка покидає ведену зірочку, робота тертя дорівнює $A_4 = \frac{\pi d \cdot f}{z_2} \cdot P$ й відповідні втрати потужності на тертя становитимуть:

$$П_4 = \frac{\pi d \cdot f}{z_2} \cdot P \cdot \frac{n_2 z_2}{W} = \frac{\pi d \cdot f n_2}{W} \cdot P. \quad (15)$$

Комбінуючи всі вищенаведені випадки для кожної ланки ланцюга, можна записати рівняння, що виражає втрати потужності на тертя в шарнірах між валиком і втулкою:

$$П'' = \frac{\pi d \cdot f n_2}{W} \cdot P + \frac{\pi d \cdot f n_1}{W} \cdot P \cdot \left[\frac{\cos(\gamma_{W1}) - \cos\left(\gamma_{W1} + \frac{2\pi}{z_1}\right)}{\frac{2\pi}{z_1} \sin\left(\gamma_{W1} + \frac{2\pi}{z_1}\right)} \right] =$$

$$= \frac{\pi d \cdot f n_2}{W} \cdot P \cdot \left\{ 1 + u \cdot \left[\frac{\cos(\gamma_{W1}) - \cos\left(\gamma_{W1} + \frac{2\pi}{z_1}\right)}{\frac{2\pi}{z_1} \sin\left(\gamma_{W1} + \frac{2\pi}{z_1}\right)} \right] \right\}. \quad (16)$$

Розглянемо тепер роботу тертя між роликом і втулкою. Протягом повороту внутрішньої ланки має місце відносний рух між роликом і втулкою, тому робота тертя в цьому випадку:

$$A_5 = \frac{\pi d_1 f_1}{z_2} P_{N2},$$

де d_1 – зовнішній діаметр втулки; f_1 – коефіцієнт тертя ковзання між втулкою і роликом; P_{N2} – середній тиск зуба веденої зірочки.

За один оберт веденої зірочки внутрішня ланка ланцюга входить у зачеплення $\frac{z_2}{W}$ число разів. Таким чином, втрати потужності на тертя становитимуть:

$$П_5 = \frac{\pi d_1 \cdot f_1}{z_2} \cdot P_{N2} \cdot \frac{n_2 z_2}{W} = \frac{\pi d_1 \cdot f_1 n_2}{W} \cdot P_{N2}. \quad (17)$$

Аналогічно для ведучої зірочки робота тертя $A_6 = \frac{\pi d_1 \cdot f_1}{z_1} \cdot P_{N1}$, а втрати потужності на тертя:

$$П_6 = \frac{\pi d_1 \cdot f_1 n_1}{W} \cdot P_{N1}. \qquad (18)$$

Робота тертя в усіх шарнірах за повний оберт ланцюгового контуру:

$$\sum_{i=1}^{6} A_i = \frac{\pi df}{z_1} P + \frac{\pi df}{z_2} P_{m2} + \frac{\pi df}{z_1} P_{m1} + \frac{\pi df}{z_2} P + \frac{\pi d_1 f_1}{z_2} P_{N2} + \frac{\pi d_1 f_1}{z_1} P_{N1} =$$

$$= \frac{\pi df}{z_1}\left[P\left(1+\frac{1}{u}\right)+\left(P_{m1}+\frac{P_{m2}}{u}\right)\right]+\frac{\pi d_1 f_1}{z_1}\left(P_{N1}+\frac{P_{N2}}{u}\right)=$$

$$= \frac{\pi df}{z_1} P\left[\left(1+\frac{1}{u}\right)+\frac{z_1\left[\cos\frac{2\pi}{z_1}-\cos\left(\gamma_{W1}+\frac{2\pi}{z_1}\right)\right]}{2\pi\sin\left(\gamma_{W1}+\frac{2\pi}{z_1}\right)}+\frac{z_2\left[\cos\frac{2\pi}{z_2}-\cos\left(\gamma_{W2}+\frac{2\pi}{z_2}\right)\right]}{2\pi\sin\left(\gamma_{W2}+\frac{2\pi}{z_2}\right)\cdot u}\right]+$$

$$+\frac{\pi d_1 f_1}{z_1}\left(P_{N1}+\frac{P_{N2}}{u}\right). \qquad (19)$$

Втрати потужності за повний оберт ланцюгового контуру:

$$\sum_{i=1}^{6} П_i = \frac{\pi dfn_1}{W} P + \frac{\pi dfn_2}{W} P\left[\frac{\cos\gamma_{W2}-\cos\left(\gamma_{W2}+\frac{2\pi}{z_2}\right)}{\frac{2\pi}{z_2}\sin\left(\gamma_{W2}+\frac{2\pi}{z_2}\right)}\right]+$$

$$+\frac{\pi dfn_1}{W} P\left[\frac{\cos\gamma_{W1}-\cos\left(\gamma_{W1}+\frac{2\pi}{z_1}\right)}{\frac{2\pi}{z_1}\sin\left(\gamma_{W1}+\frac{2\pi}{z_1}\right)}\right]+\frac{\pi dfn_2}{W} P+\frac{\pi d_1 f_1 n_2}{W} P_{N2}+\frac{\pi d_1 f_1 n_1}{W} P_{N1}=$$

$$= \frac{\pi dfn_1}{W} P\left\{1+\frac{1}{u}\left[\frac{\cos\gamma_{W2}-\cos\left(\gamma_{W2}+\frac{2\pi}{z_2}\right)}{\frac{2\pi}{z_2}\sin\left(\gamma_{W2}+\frac{2\pi}{z_2}\right)}\right]+\left[\frac{\cos\gamma_{W1}-\cos\left(\gamma_{W1}+\frac{2\pi}{z_1}\right)}{\frac{2\pi}{z_1}\sin\left(\gamma_{W1}+\frac{2\pi}{z_1}\right)}\right]+\frac{1}{u}\right\}+$$

$$+\frac{\pi d_1 f_1 n_1}{W}\left(P_{N1}+\frac{P_{N2}}{u}\right).$$

Полімерні матеріали з високим опором зношування під час ковзання і низькою чутливістю до мікронерівності поверхонь, до яких відносяться поліаміди та композити на їх основі, схильні до залежності коефіцієнта тертя ковзання від пройденого шляху тертя.

Ефект спостерігається в результаті додавання графіту (С) або дисульфіду молібдену (MoS2). Композит (рис. 7) на основі поліаміду дає ефект тільки у складі склонаповнених марок, а для ненаповнених поліамідів − тільки поліетилен (рис. 8). Зношування поліаміда практично не залежить від температури поверхні ковзання аж до 120 °С. Добавка в поліамід поліетилену низького тиску (ПЕНТ) приводить до того, що спочатку відбувається підвищене зношування у порівнянні з поліамідом, а потім завдяки стиранню ПЕНТ відбувається лінійне зношування композита ПА/ПЕНТ, причому більш пологе, ніж у поліаміді. Відхилення від лінійного зношування спостерігається в ПА/ПЕНТ після 10000 км.

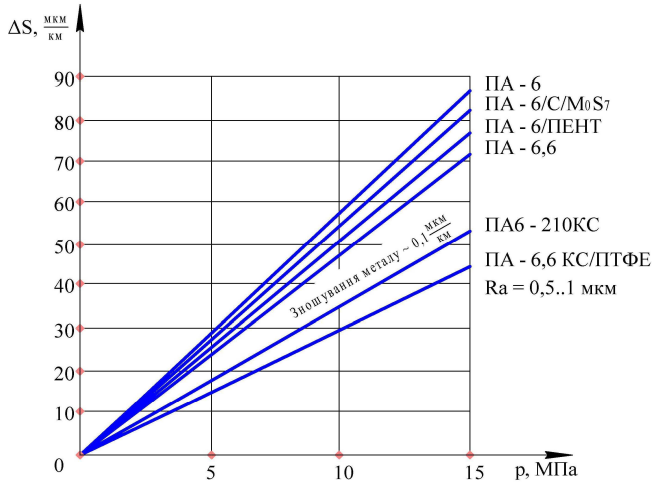


Рис. 7. Зношуваність полімерних матеріалів у функції середнього тиску

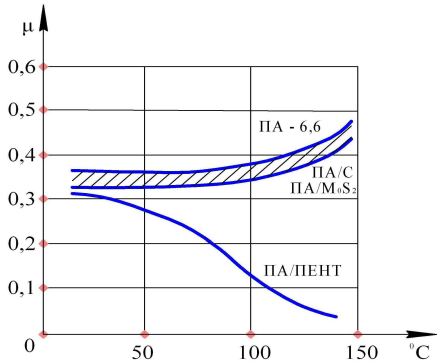


Рис. 8. Коефіцієнт тертя у функції температури поверхні ковзання

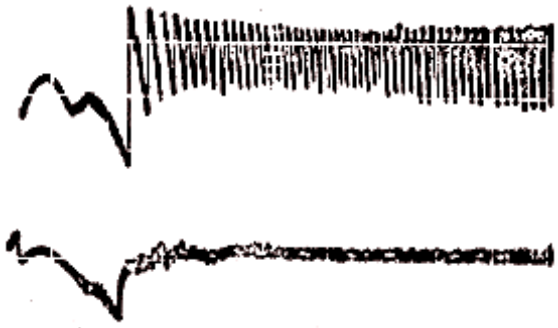


Рис. 9. Коефіцієнт тертя ПА – 6,6 (зверху) і ПА/ПЕНТ (знизу), p = 4МПа, V = 0,2 м/с, Ra = 2 мкм

Підвищений коефіцієнт тертя поліаміду в порівнянні з композитом ПА/ПЕНТ пояснюється явищем переривчастого ковзання (stick-slip, тобто прилипання-ковзання), у результаті осаду в западинах часток поліаміду. У той час як порошкоподібні й лускаті продукти зношування поліетилену та політетрафторетилена (ПТФЕ) відводяться назовні та діють як змащення (рис. 9) [4]. Згадане явище пов'язане з коливаннями коефіцієнта тертя спокою і руху, тобто зі статичним і динамічним коефіцієнтами тертя. Залежно від швидкості ковзання і резонансу (шарнір ланцюга – зуб зірочки) місце контакту починає коливатися аж до появи звуку. Заходи щодо усунення цих явищ зводяться до зменшення навантаження, підвищення шорсткості поверхні і змащення.

Гарні результати дає полімерний композит на основі ПА – 6,6, що включає в себе 30 % скловолокна і 15 % політетрафторетилену (ПТФЕ) [4]. У таблиці 1 наведені значення статичного і динамічного коефіцієнтів тертя для полімерного композита на основі ПА – 6,6 залежно від температури при $p \cdot V = 2\ МПа \cdot (м/с)$ (питомий тиск, *МПа* на швидкість ковзання, *м/с*).

Таблиця 1

Коефіцієнти тертя залежно від значень $p \cdot V$ і температури T

T, ℃	20	90	150	200
μ_S	0,19	0,29	0,36	0,37
μ_d	0,26	0,24	0,32	0,40

Зазначимо, що якщо поверхні ковзання роз'єднані рідким або консистентним мастилом, або просто змочені, то коефіцієнт тертя знаходиться в межах 0,05...0,12.

Висновки дослідження. Між коефіцієнтом тертя і завантаженням спостерігається залежність, згідно з якою коефіцієнт тертя ковзання спочатку знижується до виразного мінімуму, а потім знову зростає. Це пояснюється тим, що під час тертя полімерних матеріалів контакт є частково пружним і частково пластичним з перевагою першого при малих навантаженнях та шорсткості поверхні й останнього при зростанні навантажень і шорсткості поверхні. При цьому характер кривої залежності коефіцієнта тертя від навантаження є результатом двох тенденцій: зниження коефіцієнта тертя зі збільшенням навантаження при постійній температурі та його підвищення зі збільшенням температури при постійному завантаженні. Зношування під час тертя ковзання завжди підвищується в міру зростання мікронерівностей робочих поверхонь. Зношування всіх модифікацій поліаміду прямо пропорційне середньому тиску на робочу поверхню. Для полімерних матеріалів вплив змащення на коефіцієнти тертя менш ефективний, ніж для металів. Недостатня ефективність змащення під час тертя полімеру об полімер пояснюється тим, що на противагу металам, на полімерах важко утворюється щільна адсорбційна плівка мастильної речовини. На поверхні поліамідів адсорбуються молекули жирних кислот, утворюючи граничні мастильні шари, при цьому утворення граничного шару під час тертя пояснюється наявністю зарядів статичної електрики. Заряди статичної електрики, що виникають під час тертя, є причиною адсорбції молекул змащення й утворення граничних мастильних шарів на таких неактивних полімерах, як поліетилен і політетрафторетилен.

Список використаних джерел

1. Инженерные методы исследования ударных процессов / Г. С. Батуев, Ю. В. Голубков, А. К. Ефремов, А. А. Федосов. – М.: Машиностроение, 1977. – 240 с.

2. Пилипенко О. І. Комплексний аналіз геометрії та розподілу навантажень у ланцюговому зачепленні / О. І. Пилипенко, І. Ф. Козар, В. А. Максименко // Вісник ЧДТУ. Серія “Технічні науки”. – 2000. – № 10. – С. 43-52.

3. Пилипенко О. И. Контактное взаимодействие элементов цепного привода из полимерных композитов / О. И. Пилипенко // Mechanika, Wydan. AGH, Tom 9, zecz. 2, Krakow, 1990. – S. 91-97.

4. Пилипенко О. И. Научные основы и синтез цепных передач: дис. … д-ра техн. наук / О. И. Пилипенко. – Х.: ХГПУ, 1996. – 467 с.

5. Пилипенко О. И. Поверхностные эффекты и износостойкость деталей из полиамидов и композитов на их основе в цепных приводах машин / О. И. Пилипенко // Инженерия поверхностей и реновация изделий: материалы Междунар. научно-техн. конф. – К., 2001. – С. 202-204.

УДК 677.053.27

О.О. Акимов, канд. техн. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТОСТАТИКИ МЕХАНІЗМУ ПРИТИСКУВАННЯ БОБІНОТРИМАЧА ДО ФРИКЦІЙНОГО ЦИЛІНДРА В НАМОТУВАЛЬНОМУ МЕХАНІЗМІ ВАЖІЛЬНОГО ТИПУ

Наведено результати дослідження впливу параметрів механізму на силу притискування. Розглянуто рекомендації щодо вибору кінетостатичних параметрів механізму притискування для забезпечення заданого закону сили притискування бобінотримача до фрикційного циліндра.

Постановка проблеми. У виробництві хімічних волокон широко застосовуються намотувальні механізми важільного типу з притискуванням бобінотримача до фрикційного циліндра різноманітними способами: гравітаційним, пружинним, пневмопритискуванням [4; 3].

Одним із основних завдань, що вирішується під час розробки намотувальних механізмів – отримання якісних пакувань зі стабільними властивостями, які залежать від натягу нитки та закону сили притискування бобінотримача до фрикційного циліндра.

Дослідженню підлягає механізм для намотування текстильної нитки, в якому притискування здійснюється пневмоциліндром.

Механізм складається з таких основних вузлів: бобінотримач, фрикційний циліндр, механізм розкладки, пневмоциліндр, система роликів і важелів.

Для одержання якісної структури пакування необхідно забезпечити певний закон зміни зусилля притискання бобінотримача до фрикційного циліндра за весь час намотування тіла намотування, а також компенсувати гравітаційний момент від бобінотримача з пакуванням.

На силу притискання можуть впливати майже всі конструктивні параметри механізму, отже прийти до певного закону зміни сили притискання, як функції від товщини тіла намотки, можна за допомогою змін у конструкції намотувального механізму багатьох параметрів.

Методи та результати. Для отримання закону зміни сили притискування, як функції від товщини тіла намотування, наведені дві розрахункові схеми (рис. 1, 2).

На вигляді спереду – умовно зображено розташування фрикційного циліндра і бобінотримача відносно осі обертання важеля бобінотримача О, кути початковий $\alpha_н$, конструкційний $\alpha_к$, поточний $\alpha_т$, сили діючі на систему: сила притискування $P_{пр}$ бобінотримача до фрикційного циліндра і гравітаційні від мас бобінотримача, важеля та бобіни $G_р$, $G_б$, а також плече сили притискування h_t (рис. 1).

На вигляді ззаду – вісь обертання важеля бобінотримача О, кути $\varphi_н$, $\varphi_к$, $\varphi_т$, а також сила $P_ц$, яка через систему важелів і ролик та сектор утворює компенсаційний момент $M_к$, рівний сумі моменту від сили притиску $M_{пр}$ і моменту гравітаційному M_g (рис. 2).

Дослідженню підлягають кінетостатичні процеси, які відбуваються в механізмі притискування бобінотримача до фрикційного циліндра в намотувальному механізмі за весь цикл намотування пакування (збільшення товщини тіла намотування t).

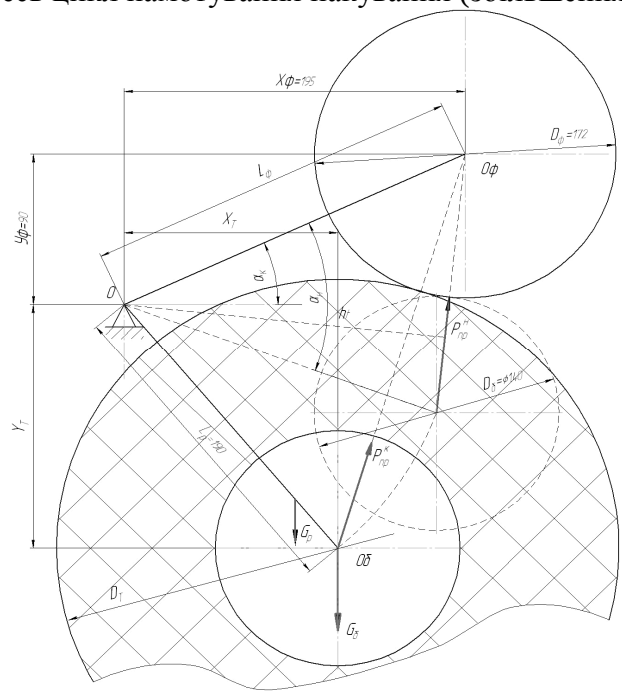


Рис. 1. Схема механізму (вигляд спереду)

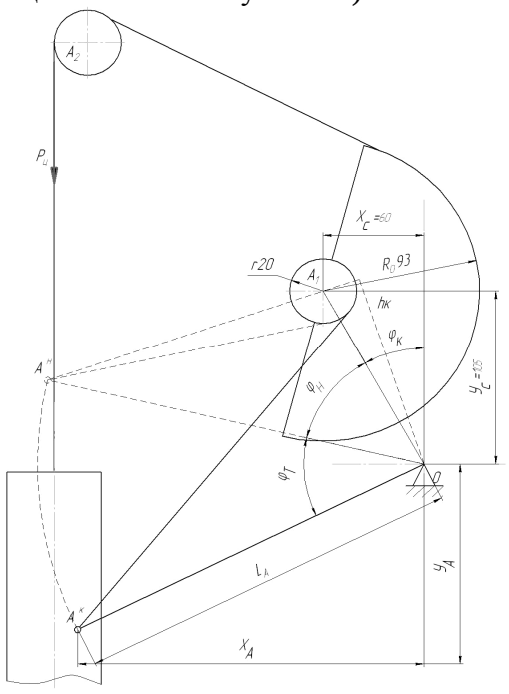


Рис. 2. Схема механізму прижиму (вигляд ззаду)

Для встановлення залежності між параметрами механізму та величиною сили притискування використані такі залежності:

- поточна маса тіла намотування (пакування) M_T :

$$M_T = \frac{\pi}{4}(D_T{}^2 - D_б^2)\cdot l_н \cdot \rho \ , \qquad (1)$$

де $D_T{}^2$ – поточний зовнішній діаметр тіла намотування; $D_б^2$ – зовнішній діаметр бобіни; $l_н$ – довжина розкладки нитки; ρ – густина намотки;

- кут повороту важеля бобінотримача α_T визначається за виразом:

$$\alpha_T = \arccos \left\{ \frac{1}{2 L_p \cdot L_ф} \left[L_p^2 + L^2{}_ф - \left(\frac{D_ф}{2} + \frac{D_б + 2t}{2}\right)^2 \right] \right\}, \qquad (2)$$

де t – товщина тіла намотування; L_p – довжина важеля бобінотримача; $L_ф$ – відстань від осі важеля до осі фрикційного циліндра; $D_ф$ – діаметр фрикційного циліндра.

Плече сили реакції фрикційного циліндра h_T визначається за виразом:

$$h_T = \left| \frac{Y_Ф \cdot X_T - X_ф \cdot Y_T}{\sqrt{(Y_T - Y_ф)^2 + (X_T - X_ф)^2}} \right|, \qquad (3)$$

де X_T , Y_T – координати точки O_T ; $X_Ф$, $Y_Ф$ – координати точки $O_Ф$.

На рисунку 3 наведена залежність плеча сили притискування бобінотримача до фрикційного циліндра за цикл намотування.

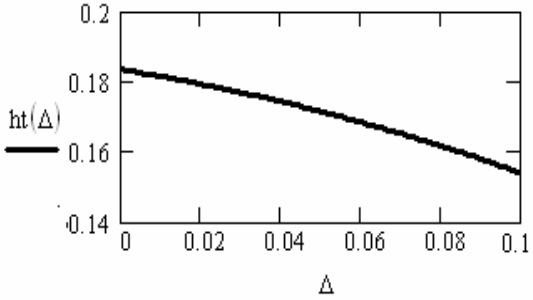


Рис. 3. Графік залежності зміни плеча сили притиснення від товщини тіла намотки $h_T = f(\Delta)$

Гравітаційний момент від сили ваги бобінотримача з важелем M_g визначається за виразом:

$$M_g = X_T\left(M_б + n \cdot M_T\right)\cdot g + M_p \cdot X_p \cdot g \ , \qquad (4)$$

де X_T – плече сили ваги бобінотримача; $M_б$ – маса бобінотримача; n – число пакувань бобінотримача; M_p – маса важеля бобінотримача; X_p – плече сили ваги важеля.

Залежність гравітаційного моменту (моменту, що спрямований на відрив бобінотримача) від товщини тіла намотування наведена на рисунку 4.

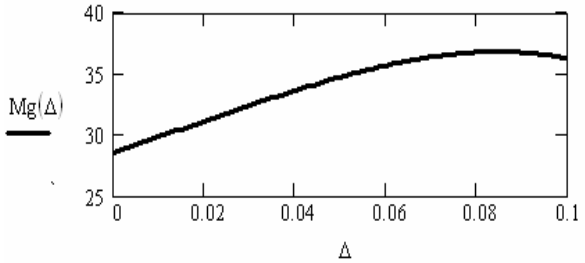


Рис. 4. Залежність гравітаційного моменту від товщини тіла намотки

Плече компенсаційної сили, яка компенсує гравітаційний момент та створює силу притискування між роторами $h_к$ визначається за виразом:

$$h_к = \left| \frac{Y_A \cdot X_C - X_A \cdot Y_C}{\sqrt{(Y_C - Y_A)^2 + (X_C - X_A)^2}} \right|, \quad (5)$$

де X_A, Y_A – координати точки А; X_C, Y_C – координати точки $А_1$.

Величина компенсаційного моменту $M_к$ визначається таким чином:

$$M_K = P_ц \cdot F_ц \cdot h_K \cdot \frac{R}{r}, \quad (6)$$

де $P_ц$ – тиск у пневмоциліндрі; $F_ц$ – площа пневмоциліндра; R – радіус сектора; r – радіус ролика.

Закон зміни сили притискування $P_{пр}$ визначається за виразом:

$$P_{пр} = \frac{M_K - M_g}{h_T}. \quad (7)$$

Залежність зусилля притискання бобінотримача до фрикційного циліндра від товщини тіла намотування при різних початкових кутах нахилу важеля наведена на рисунку 5.

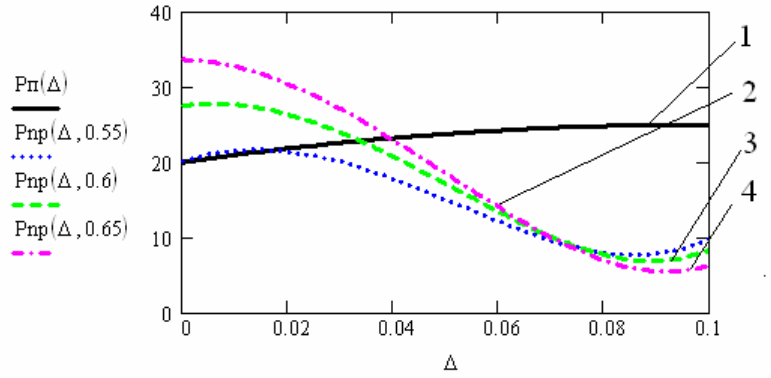


Рис. 5. Залежність зусилля притиску від товщини тіла намотування при різних початкових кутах нахилу важеля

Одним із законів, що може бути реалізованим на практиці, є закон, зображений на рисунку 5 (крива 1). Змінюючи початковий кут нахилу важеля в межах (0,55–0,65) радіуса, можливо досягнення деякого приближення до заданого закону.

Зміна величини зусилля на штоку пневмоциліндра впливає на закон притискування бобінотримача до фрикційного циліндра таким чином:

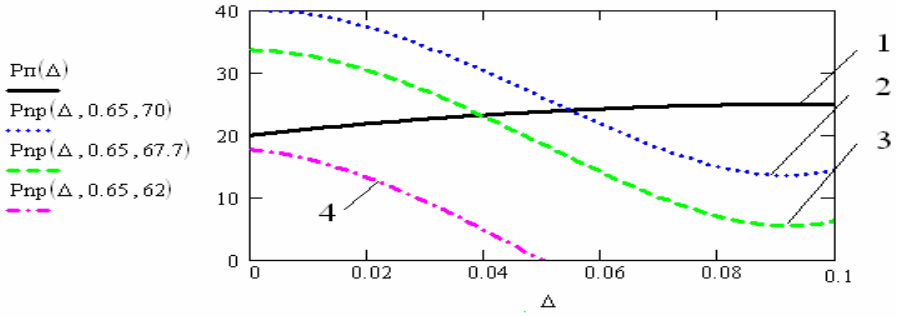


Рис. 6. Залежність зусилля притиску від товщини тіла намотки $P_{пр} = f(Δ)$ та початкового кута $\varphi_н$

Для найбільш сприятливого зусилля на штоку циліндра ($P_ц$ = 67,7 Н, рис. 6) при різних кутах початкового кута нахилу важеля отримані радіуси змінних секторів, що забезпечують закон зміни зусилля притиску (рис. 7, крива 1).

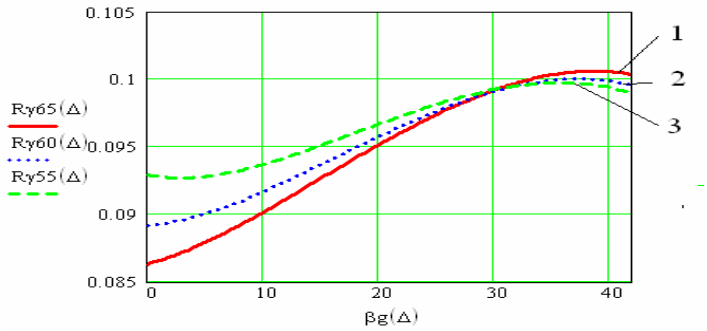


Рис. 7. Залежність радіуса сектора від його кута повороту за час напрацювання пакування

Висновки. Розроблено алгоритм розрахунку параметрів механізму для забезпечення заданого закону сили притискування бобінотримача до фрикційного циліндра.

Проведено дослідження впливу параметрів механізму на силу притискування за весь цикл намотування, визначені оптимальні параметри механізму притискування.

Список використаних джерел

1. Коритысский Я. И. Колебания в текстильных машинах / Я. И. Коритысский. – М.: Машиностроение, 1973. – 320 с.

2. Матюшев И. И. Высокоскоростные приемно-намоточные механизмы для химических нитей / И. И. Матюшев, В. А. Климов. – М.: Легпромбытиздат, 1991. – 228 с.

3. Машины для формования химических и минеральных волокон / под ред. проф. Х. З. Регельмана. – М.: Машиностроение, 1972. – 264 с.

4. Прошков А. Ф. Расчет и конструрование машин для производства химических волокон / А. Ф. Прошков. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 402 с.

УДК 621.91:678.5

І.О. Булах, аспірант
О.В. Глоба, канд. техн. наук
НТУУ “КПІ”, Механіко-машинобудівний інститут, м. Київ, Україна

МЕХАНІЧНА ОБРОБКА КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Розглянуто області застосування, переваги та недоліки композиційних матеріалів. Проаналізовано методи механічної обробки композитів та дефекти, що виникають під час свердління. Особливу увагу сконцентровано на процесі розшарування композитів при вході та виході свердла з матеріалу. Зокрема, розглянуто основи математичного моделювання, що є фундаментальним при запобіганні розшаруванню. Розглянуто новий склопластик Twintex, його переваги та застосування.

Постановка проблеми. Свердління композиційних матеріалів є найбільш поширеною операцією їх механічної обробки. В силу того, що композиційні матеріали є анізотропними, характеризуються високою міцністю армуючих елементів при невеликій міцності матриці, мають високу абразивну здатність і низьку теплопровідність їх свердління дуже специфічне, супроводжується різноманітними пошкодженнями навколо отворів. Одна з основних проблем, що виникає під час утворення отворів у композиційних матеріалах – це розшарування на вході і виході інструменту з матеріалу. Наявність цього дефекту істотно впливає на несучу спроможність і надійність виробу в цілому. Тому важливо підібрати такі параметри обробки матеріалу, щоб максимально інтенсифікувати процес свердління й одержати гарантовану якість.

Аналіз досліджень і публікацій. Для покращення свердління композиційних матеріалів були запропоновані різні заходи. В першу чергу, вони стосувалися геометричних параметрів свердла. В роботі [1] було запропоновано використовувати від 3 до 6 ріжучих кромок, щоб збільшити довжину контакту між інструментом та матеріалом. Був розгля-

нутий комплекс дій, пов'язаний з регулюванням подачі, що застосовується в свердлильних верстатах з ЧПУ. Наприклад, у роботі [2] автори запропонували метод спіральної подачі, в роботі [3] описано орбітальний метод свердління, де отвори обробляються вздовж осі та радіально. Було показано, що подача має великий вплив на осьову силу, кількість ушкоджень збільшується зі зростанням подачі. Було доведено, що під час вирішення проблеми розшарування фундаментальним є побудова механізму руйнування і побудова його математичної моделі.

Мета статті. Розглянути особливості та сфери застосування композиційних матеріалів. Проаналізувати свердління КМ, основні проблеми, що виникають під час механічної обробки отворів у цих матеріалах. Розкрити перспективи подальшого дослідження обробки композитів.

Виклад основного матеріалу. Композиційні матеріали (КМ) – це матеріали, що складаються з двох або більше матеріалів, що не розчинні один в одному, властивості яких відрізняються від властивостей їх компонентів (матеріалів).

Композиційні матеріали в наш час знайшли широке застосування. Ці матеріали застосовуються з кількох причин, зокрема, це висока жорсткість і міцність при відносно невеликій вазі, що дуже актуально для авіапромисловості, де зменшення маси літака значно знижує витрати пального. Межі витривалості композиційних матеріалів значно вищі, ніж у деяких металів. Композитам властивий низький коефіцієнт теплового розширення, що забезпечує стабільність розмірів. Виробництво композитів займає менше часу і деталь можна створити відразу потрібної форми, що зменшує час механічної обробки. Композиційні матеріали широко застосовуються в автомобільній промисловості, суднобудуванні тощо. Зокрема, на діаграмі (рис. 1) зображене процентне співвідношення використання композитів у різних галузях промисловості.

Рис. 1. Застосування композитів у промисловості

Наприклад, під час побудови літаків композити застосовуються для елементів обшивки фюзеляжу та інтер'єру, модулів та панелей крила, закрилків, елементів хвостової частини. Застосування композитів у літаку порівняно з алюмінієм, сталлю, титаном показано на рис. 2.

Рис. 2. Використання композитів для деталей літака

Механічна обробка композиційних матеріалів необхідна для досягнення бажаної якості поверхні, отримання складних конфігурацій виробу. Крім того, вона необхідна для розрізування виробів до потрібних розмірів, а також для отримання зразків, за допомогою яких визначаються фізико-механічні характеристики готових виробів.

Під час виготовлення виробів із високоміцних полімерних композиційних матеріалів застосовують такі види механічної обробки: точіння, свердління і розгортання, фрезерування, розрізування, шліфування і нарізування різьби. На діаграмі представлене їх процентне співвідношення (рис. 3).

Рис. 3. Структура механічної обробки полімерних композитів

Залежно від виду композиційного матеріалу, вимоги до інструменту відрізняються. Наприклад, для свердління деталей зі склопластиків рекомендовано застосовувати свердла з твердосплавного матеріалу ВК6, обробку проводити при швидкості різання 30-35 м/хв та подачі 0,1-0,5 мм/об. Можна використовувати свердла з швидкоріжучої сталі, проте стійкість і виробничість їх нижча. Для свердління деталей з вуглепластиків рекомендовано застосовувати свердла з твердосплавного матеріалу ВК6, обробку проводити при швидкості різання 16 м/хв та подачі 0,05-0,1 мм/об. Також можливе використання свердел із швидкоріжучої сталі. Для свердління деталей зі органопластиків потрібно застосовувати свердла з твердосплавного матеріалу ВК6 або ВК8 (спеціальних конструкцій), обробку проводити при швидкості різання 25-30 м/хв та подачі 0,08-0,25 мм/об. Через низьку теплопровідність виникають великі утруднення під час різанні матеріалу більше 10 мм.

Незважаючи на широке розповсюдження композиційних матеріалів, необхідно брати до уваги і враховувати під час обробки деякі їх недоліки. Зокрема, це дороговизна виробництва КМ, залежність їх температурної стійкості від матеріалу зв'язуючої матриці. Композиційні матеріали є гігроскопічними, що впливає на процес обробки і поведінку виробів з КМ. Для обробки композитів потрібно враховувати такі параметри, як: товщина матеріалу, вимоги до якості та точності отвору під час обробки, вид матеріалу. Для кожного виду матеріалу потрібен індивідуальний підхід до геометрії інструменту.

Згідно з аналізом, представленим на рисунку 3, свердління композиційних матеріалів є одним із найпоширеніших видів механічної обробки. Найчастіше отвори у композиційних матеріалах створюються під болтове та заклепкове з'єднання. Вимоги до точності отворів для цих двох видів з'єднань відрізняються. Зокрема, в авіаційній промисловості вимоги до точності отворів під заклепки 3-6 квалітетів, а для болтового з'єднання 6-12 квалітетів.

Через особливості будови та фізико-хімічні характеристики композиційних матеріалів, а саме їх високу абразивну здатність, що призводить до швидкого зношування різального інструменту, низьку теплопровідність, що веде до підвищення температури у зоні різання, необхідні спеціальні інструменти та умови роботи (швидкість подачі, оптимальні сили різання тощо). Дефектів у композиційних матеріалах під час обробки можна уникнути введенням додаткових різальних кромок (свердла з подвійною заточкою тощо), створенням позитивних передніх кутів. Нульових і негативних кутів потрібно уникати, бо це призводить до виштовхування волокон матеріалу і знижує якість отворів. Важливою є величина перемички. Мала перемичка покращує здатність проникнення інструменту у

матеріал. Це покращує якість і точність обробки. Типи різальних кромок сучасних свердел для обробки композиційних матеріалів представлені на рис. 4.

Для більш успішної обробки композиційних матеріалів у НТУУ "КПІ" були розроблені свердла таких конструкцій: комбінований осьовий інструмент (рис. 5, а) [4], різальна частина якого утворена у формі триперого свердла, причому на різальній кромці відсутня перемичка, і ступінчасте свердло (рис. 5, б), що складається з двох ступенів різного діаметра.

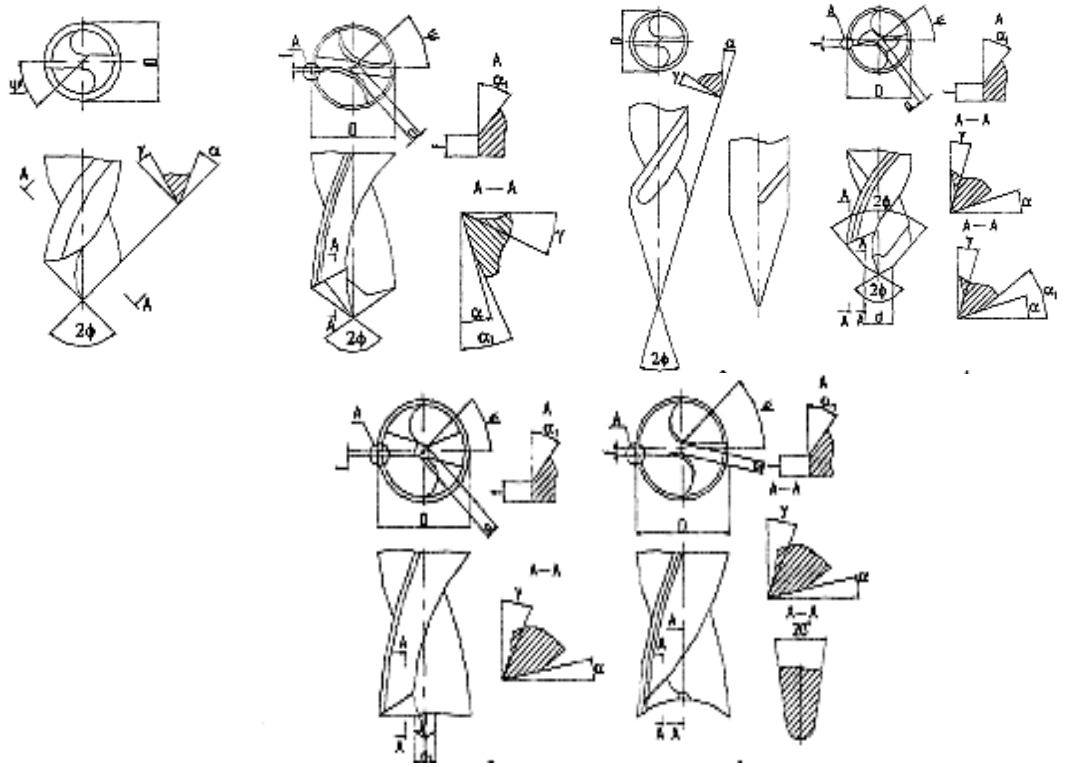
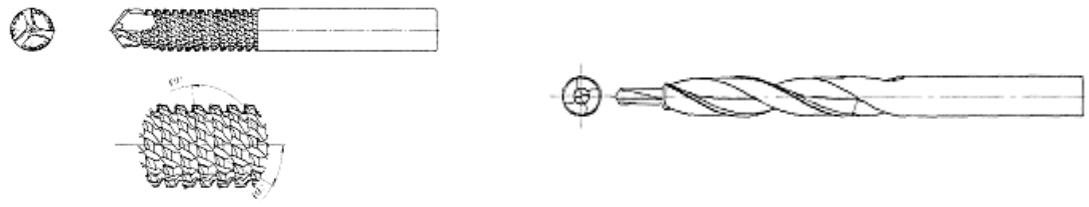


Рис. 4. Конструкції свердел для композиційних матеріалів

Як було вказано вище, КМ має високі властивості, наприклад, склоепоксидні, графіт-епоксидні КМ мають велику кількість абразивних елементів, що призводить до швидкого зношення інструменту. Тому широко почали використовуватися полікристалічні алмази PCD. Вони забезпечують підвищення стійкості інструменту, якість і точність отворів, більш високий рівень обробки.



а б

Рис. 5. Конструкції свердел для композиційних матеріалів, розроблених у НТУУ "КПІ"

Якість оброблюваної поверхні отворів включає в себе ряд показників, що характеризують як геометричні параметри, так і фізико-хімічний стан поверхневого шару виробу (рис. 6).

При свердлінні композиційних матеріалів, шари композиційного матеріалу, які потрапляють на різальну кромку, піддаються місцевій деформації на вигин, що є причиною розшарування матеріалу навколо отвору. Неважко припустити, що розшарування буде вимагати невеликого осьового зусилля, особливо коли значення товщини не зріза-

ного шару залишиться незначним, внаслідок чого на виході матеріалу буде спостерігатися розшарування матеріалу [6].

До можливих дефектів композиційних матеріалів під час свердління слід відносити розрив шарів КМ на вході свердла (рис. 7) та розшарування на виході свердла з матеріалу (рис. 8). Шорсткість є однією з найбільш важливих характеристик якості оброблювальної поверхні. В більшості випадків достатньо отримати шорсткість Rz20-Rz40. Сколи виникають під час обробки полімерних композитів з крихкою матрицею. Для зменшення сколів необхідно ретельно підбирати геометричні параметри інструменту. Під час обробки волокнистих композитів за допомогою лез, особливо органопластиків, характерна поява ворсистості, тобто незрізаних волокон армуючого матеріалу. Для зменшення ворсистості потрібно підбирати оптимальні режими різання, використовувати гострозаточений інструмент, використовувати схеми з різнонаправленими значеннями кута ріжучої кромки.

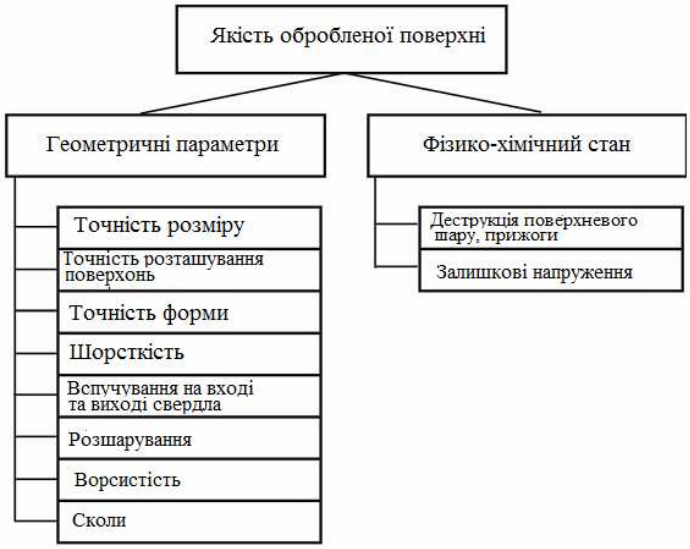


Рис. 6. Параметри якості обробки поверхонь отворів

Окрім похибок геометричних параметрів, виникають похибки, пов'язані з фізико-хімічним станом поверхні, такі як термодеструкція поверхневого шару тощо [5]. Під час обробки різанням ВМПКМ за рахунок великих контактних площ на задній поверхні інструменту і дії високих температур у зоні різання виникають прижоги.

У результаті цього процесу виникає деструктовано-диспергований шар, який погіршує експлуатаційні характеристики виробів з ВМПКМ. Глибина деструкції залежить від виду та умов обробки і коливається в проміжку 0,003-0,5 мм.

Багато авторів, зокрема [7], провели численні експерименти щодо пошуку такої схеми обробки, що дасть можливість запобігти розшаруванню. Зокрема, були зроблені висновки, що під час вирішення цієї проблеми фундаментальним є формулювання механізму руйнування та побудова математичної моделі.

Найбільш розповсюдженою є модель Hocheng і Dharan [8]. Ця модель пов'язана з визначенням критичної сили, яка забезпечує початок руху тріщини для входу і виходу свердла з матеріалу.

Згідно з цією моделлю критична сила руйнування на виході свердла:

$$F_a = \pi \sqrt{\frac{8G_{IC}EH^3}{3(1-\nu^2)}} \left(\frac{h}{H}\right)^{\frac{3}{2}}. \qquad (1)$$

Критична сила руйнування на вході свердла:

$$F_c = k_{slope}\pi\sqrt{\frac{8G_{IC}EH^3}{3(1-\nu^2)}}\left(1-\frac{h}{H}\right)^{\frac{3}{2}}, \quad (2)$$

де H – товщина шаруватого пластику;

h – недорізана глибина під інструментом;

G_{IC} – критична енергія інтенсивності звільнення тріщини;

E – модуль пружності;

ν – коефіцієнт Пуассона;

k_{slope} – постійна, що визначається величинами λ (кут нахилу вершини свердла) і μ (коефіцієнтом тертя між інструментом і матеріалом).

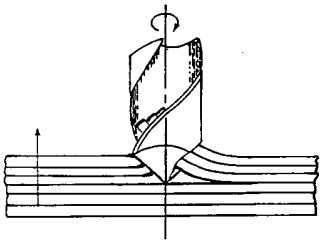


Рис. 7. Розрив шарів на вході

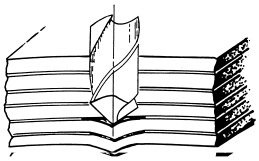


Рис .8. Розшарування на виході

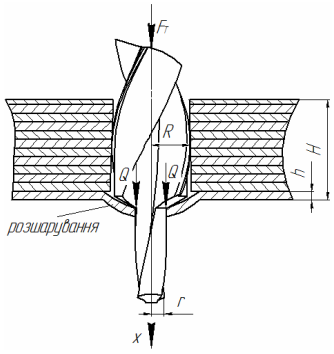


Рис. 9. Схема навантаження матеріалу наступною ступінню свердла

У роботі [9] подана схема навантаження матеріалу під час обробки ступінчастим свердлом (рис. 9), а також поданий вираз для розрахунку критичного зусилля розшарування:

$$F_T = \frac{\sqrt{2}\pi}{1-\upsilon}\left[\frac{32G_{IC}M\left\{(1-\upsilon)+2(1+\upsilon)\xi^2\right\}^2}{(1+\upsilon)\left\{2(1-\upsilon)(1+2\upsilon^2)-(12-4\upsilon+3\upsilon^2+3\upsilon^3)\xi^2-8(1+3\upsilon)\xi^2\ln\xi\right\}}\right]^{1/2}, \quad (3)$$

де E – модуль Юнга, K_I – показник інтенсивності навантажень, ν – коефіцієнт Пуассона, h – товщина шару матеріалу , G_{IC} – швидкість вивільнення енергії деформації при нормальному відриві, $M = D$ жорсткість на згин, $\xi = r/R$ відношення радіусів ступенів свердла.

Щоб уникнути розшарування матеріалу в процесі обробки тонкостінних і порожніх деталей, а також листового матеріалу з термопластичних матеріалів застосовують свердла з кутом при вершині 2φ = 55...60°, а для свердління оргскла – з подвійним кутом заточки 2φ =100, 2φ =130...140°. Свердління здійснюється при швидкості різання 40...50 м/хв і подачі 0,05...0,1 мм/об. Можливе застосування підкладки під матеріал під час свердління. Були проведені дослідження із заморожуванням композиційного матеріалу [10].

Для контролю розшарування композиційних матеріалів застосовуються різноманітні неруйнуючі методи, наприклад ультразвуковий, тепловий, акустичний методи. Можливе застосування магнітних рідин і холестеричних рідких кристалів.

У наш час широко досліджується новий композиційний матеріал фірми Twintex. Це сухий препрег, виготовлений з неперервного скловолокна та волокон поліпропілену методом композитування скловолокна та поліпропілену, що під час нагрівання плавиться і утворює суцільну матрицю.

Перевагами цього матеріалу є легка вторинна переробка, хімічна та ударна стійкість, подовжений термін служби, екологічність, висока швидкість переробки, можливість зварки, ремонтоздатність, відсутність деламінації.

Twintex знаходить широке застосування в автомобілебудуванні, зокрема з нього виготовляють елементи обшивки автомобілів, каркаси сидінь, модулі дверей, панелі приладів, паливні канали, елементи захисту двигуна тощо. Це зумовило великий інтерес до дослідження обробки цього матеріалу, так як він належить до групи вуглепластиків і суттєво відрізняється по оброблюваності від склопластиків, які широко застосовуються на цьому етапі.

Нині перспективними напрямками дослідження композиційних матеріалів є:

1. Створення раціональної геометрії свердел.
2. Розгляд нових схем різання.
3. Створення математичних моделей з метою прогнозування процесу різання.
4. Використання нових інструментальних матеріалів.

Висновки. Розглянуто поняття композиційних матеріалів, області їх застосування, переваги та недоліки цих матеріалів.

Досліджено структуру механічної обробки полімерних композитів, як найбільш розповсюджений вид механічної обробки, проаналізовано свердління композитів. Зокрема, розглянуті типи ріжучих кромок, що застосовуються для свердління композитів, а також перспективні типи свердел, що розроблені в НТУУ "КПІ" для більш успішної обробки. Вказані особливості свердління (швидкість подачі, матеріал інструменту) для різних типів композиційних матеріалів.

Проаналізовані різні типи дефектів композитів під час створення отворів. Окремо розглянуто розшарування композитів на вході і виході інструменту з матеріалу. На основі вивчення різноманітних джерел подано основи математичних моделей, заснованих на процесах руйнування. Описані деякі можливі напрямки уникнення та контролю процесу розшарування. Проте найбільш фундаментальним є метод попереднього математичного моделювання.

Описані переваги та застосування нового композиційного матеріалу Twintex, а також запропоновані напрямки подальшого дослідження обробки композиційних матеріалів.

Список використаних джерел

1. Experimental analysis of drilling damage in thin carbon/epoxy plate using special drills / Piquet R., Ferret B., Lachaud F. and Swider P. // Composites, 2000, – A, 31. – P. 1107-1115.

2. Park K.Y., Choi J.N., Lee D.J. Delamination free and high efficiency drilling of carbon fibre reinforced plastics // J. of composite materials, 1995, – 29 – P. 985-1003.

3. Persson E., Eriksson I., Zackrisoon L. Effects of hole machining defects on strength and fatigue life of composite laminates // Composites, 1997, – A, 28, – P. 141-151.

4. UA 60355 U B23 B51/02 (2006/01) Комбінований осьовий інструмент: деклараційний патент України 60355/ О. В. Кухановський, О. В. Глоба; опубл. 10.06.2011, Бюл. №11.

5. Степанов А. А. Обробка різанням високоміцних композиційних матеріалів / А. А. Степанов. – Л.: Машинобудування, 1987. – 178 с.

6. Глоба А. В. Оценка качества обработанной поверхности при сверлении высокопрочных полимерных композиционных материалов / А. В. Глоба, Ю. И. Адаменко // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: збірник наукових праць. – 2008. – № 23. – С. 220-224.

7. Dharan C.N.K., Won M.S. Machining parameters for an intelligent machining system for composite laminates // Int. J. of machine tools and manufacture, 2000,– 39,– P. 415-426.

8. Hocheng H., Dharan C.N.K. Delamination during drillinf in composite laminates // J. of engineering for industry, 1995,– 112, – P. 236-239.

9. Глоба О. В. Аналітичний розрахунок критичного зусилля розшарування при обробці композиційних матеріалів ступінчатими свердлами та визначення оптимальної величини ступені / О. В. Глоба, О. В. Кухановський // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: збірник наукових праць. – 2011. – № 28.

10. Криштопа Н. А. Исследование и разработка способов и инструментов для сверления слоистых материалов: дис. канд. техн. наук / Н. А. Криштопа. – К.: б.и., 1974. – 208 с.

UDK 621.91.01

O.M. Cherednikov, candidate of technical science
O.O. Borisov, assistant
O.G. Semenyako, graduate student
Chernihiv State Technological University, Chernihiv, Ukraine

STUDY IN DEFORMATION OF LOW RIGIDITY RINGS UNDER ACTION OF INSTALLATION ELEMENTS

A modeling has been performed to assess impact of compressing devices to surface layer state of the rings made of porous composite materials during mechanical treatment.

Formulation of problem. Due to complicated conditions of operation of the low rigidity rings and impact of quality of their production to efficiency of spinners and twiners, the ring is subject to quite strict requirements as for their geometrical precision:

- Deviations from flatness of the ring butts (0,05…0,20 mm);
- Deviation from roundness of internal working surface (0,2…0,35 mm);
- Parallelity of butts within tolerances for the ring heigth;
- Perpendicularity of axis of executive surface to the main basis of the ring (0,05…0,1 mm);
- Coaxiality of working surface and main basis (0,05…0,10 mm).

They are subject to high requirements as for their hardness, wear resistance, roughness and corrosion resistance. The ring hardness has to be more than HRC50, and at the same time porosity of steel has to be minimum 18-25 %. Roughness of working areas of the ring is Ra 0,16…0,32 mkm.

Analysis of studies and published works. The rings are made of steel grades 40, 45, 40Х13, ШХ15 and fritted powders ЖНБМ GOST 49-74; ПА–ЖГрМ, ПА–ЖГрД2,5, ПА–ЖГрД1,5К0,4, ПА–ЖГр3М15, ПА–ЖГрН0,1К0,4, ПА–ЖГрДН0,1К0,4, ПА–ЖГрДМс, ПА–ЖГр3Цс40,1К1 GOST 26802-86, which can be carbonitrided and tempered [3; 4].

Use of the rings made of ordinary steel has misadvantages compared to the rings made of fritted powders:

- quick wear due to friction (occurs in result of dry friction in places of contact of runner with the ring);
- increase of complexity of ring production due to execution of spiral groove of lubricating system to reduce friction of the ring-runner pair;
- contamination of fibers with lubricant.

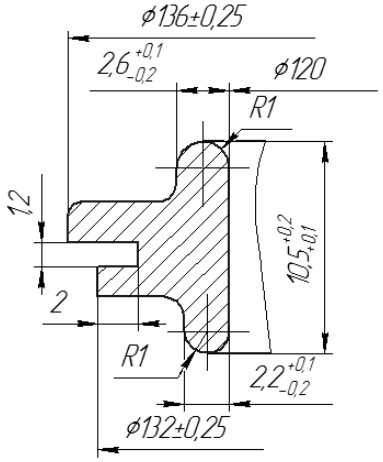


Fig. 1. Sketch of studied ring

Ordinary steel rings under conditions of wool spinning have service life of 3-4 months.

In rings of fritted materials, process of lubricant emission is regulated automatically. Thus, when increasing runner motion, surface pressure is raised, and need of lubricant as well. That's why there is no excess of oil on the surface of the ring which could dirt the thread. When the runner is in motion, working surfaces of the ring are getting hot. Oil is pressed out from the pores to the surface and creates a thin film. During long operation unstoppable oil supply is performed by a wick-feed lubricator which is connected to oil collector.

When the machine stops, temperature of the ring lowers, lubricant is absorbed, and only a superficial, initial layer remains on the surface of the ring.

Practice of use of the ring made of rough part produced by method of powder metallurgy, has shown that wear strength exceeds the steel ones by 3÷4 times.

Purpose of the article. Study of deformation was performed for low rigidity ring (fig. 1). Material of the ring – ПА–ЖГрМ.

Four types of fixation were examined:

- in two- jaw chuck (fig. 2, a);
- in three-jaw chuck (fig. 2, b);
- in four-jaw chuck (fig. 2, c);
- in special device (fig. 2, d).

Description of main material. During mechanical treatment fixation force Q and moment of friction M_{mp} are acting to the ring, which are transmitted by installation elements of process equipment. During fixation in special device, force Q is evenly distributed over the ring surface. Under action of Q, reaction of bearing N occurs (fig. 2).

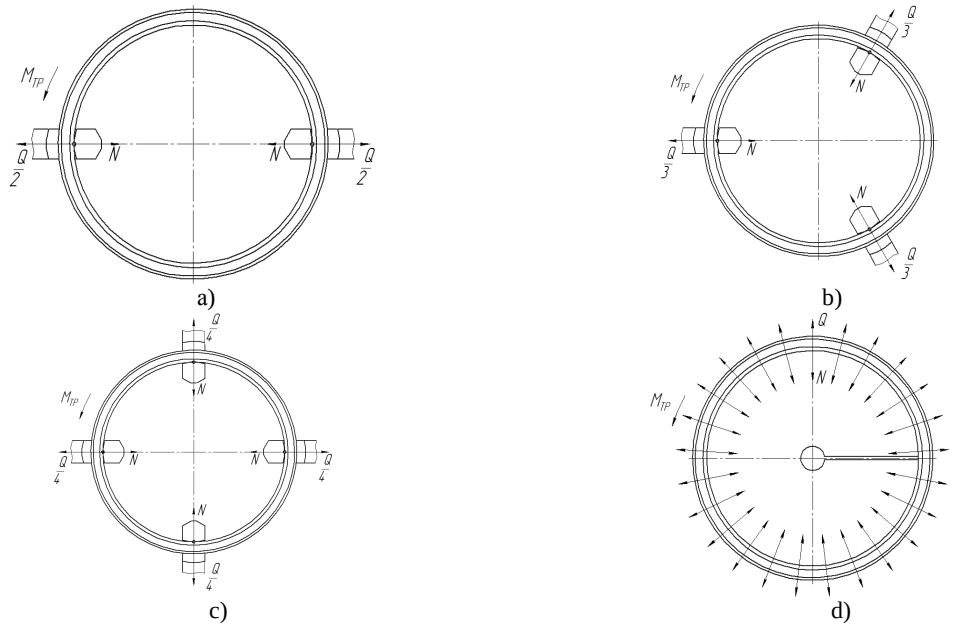


Fig. 2. Types of fixation of low rigidity rings in the process equipment a) in 2-jaw chuck; b) in 3-jaw chuck; c) in 4-jaw chuck; d) in special device

Let us calculate force of fixation Q and moment of friction M_{TP} when cutting grooves with width of 1,2 mm.

As per Figure 2 [1]:

$M_{TP} = kM_{PI3} \Rightarrow M_{TP} = K \cdot R_z \cdot \frac{d_1}{2}$, by turn $M_{TP} = F_{TP} \cdot \frac{d_2}{2} = Q \cdot f \cdot \frac{d_2}{2}$, from where $Q = \frac{2M_{TP}}{f \cdot d_2}$,

where M_{pi3} – moment of cutting, $N \cdot m$; R_z – cutting load, N; F_{mp} – friction force, N; f = 0,18 – friction coefficient of working areas of installation elements; R_z – cutting load, N; d_1 = 132mm, d_2 = 120mm – dimensions of studied ring (fig. 1); K – safety factor [1]:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6,$$

where K_0 – guaranteed safety coefficient for all cases. K_0=1,5; K_1 – coefficient considering state of process base of rough part. K_1 = 1,0; K_2 – coefficient considering dulling of cutting tool. K_2 = 1,1; K_3 – coefficient considering shock load to the tool. K_3 = 1,0; K_4 – coefficient considering stability of power drive. K_4 = 1,3; K_5 – coefficient considering features of compressing device. K_5 = 1,0; K_6 – coefficient considering specified location of supporting points. K_6 = 1,0.

Thus, $K = 1{,}5 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}1 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}3 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 = 2{,}15$.

We take K = 2,15.

Cutting force R_z [2]:

$$P_Z = 10 C_P t^x S^y V^n K_P$$

Value of tool advance, cutting depth, coefficients and indices of formula degrees for specified material, cutter with material of cutting part – hard alloy ВК6М [2]:

$S = 0{,}3\ мм/об$; $t = 1{,}2\ мм$; $C_P = 92$; $x = 1$; $y = 0{,}75$; $n = 0$; $K_P = 0{,}87$.

Hence: $P_Z = 10 \cdot 92 \cdot 1{,}2^{1{,}0} \cdot 0{,}3^{0{,}75} \cdot 0{,}87 = 389{,}34 H$.

Moment of friction M_{TP}:

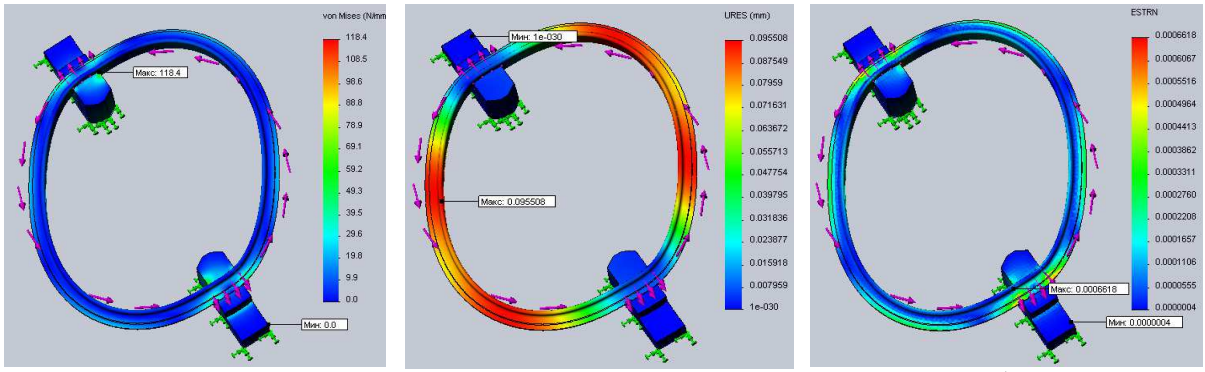
$$M_{TP} = 2{,}15 \cdot 389{,}34 \cdot \frac{0{,}132}{2} \approx 55 H \cdot м.$$

Force of fixation Q:

$$Q = \frac{2M_{TP}}{f \cdot d_2} = \frac{2 \cdot 55}{0{,}18 \cdot 0{,}12} \approx 5100 H.$$

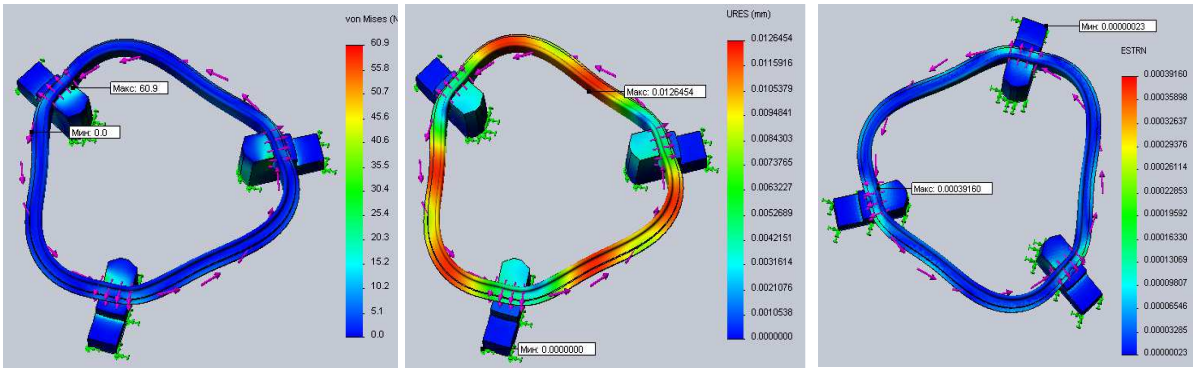
We accept for all studies: Q = 5100Н = const; M_{TP} = 55 Н*м = const.

Deformation study of low rigidity rings under action of installation element of process equipment during mechanical treatment of external outline has been performed with help of COSMOSWorks, a supplement to SolidWorks (fig.3-6).



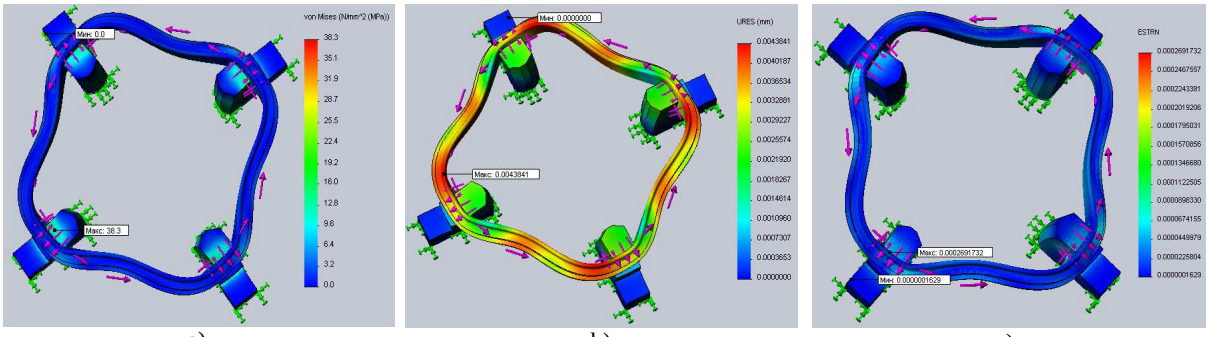
a) b) c)

Fig. 3. Deformation study of low rigidity rings when treated in 2-jaw chuck
a) evaluation of stresses; b) evaluation of displacements; c) evaluation of equivalent deformations



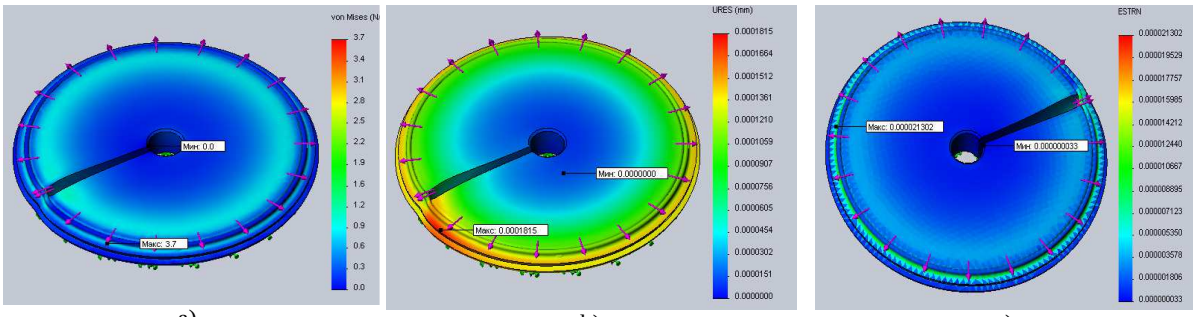
a) b) c)

Fig 4. Deformation study of low rigidity rings when treated in 3-jaw chuck
a) evaluation of stresses; b) evaluation of displacements; c) evaluation of equivalent deformations



a) b) c)

Fig. 5. Deformation study of low rigidity rings when treated in 4-jaw chuck
a) evaluation of stresses; b) evaluation of displacements; c) evaluation of equivalent deformations



a) b) c)

Fig. 6. Deformation study of low rigidity rings when treated in special device
a) evaluation of stresses; b) evaluation of displacements; c) evaluation of equivalent deformations

Table 1

Results of studies

Type of fixation	Max. stress, MPa	Max. displacement, mm	Max. equivalent deformation, %
in 2-jaw chuck	118,4	0,0955	0,066
in 3-jaw chuck	60,9	0,0126	0,039
in 4-jaw chuck	38,3	0,0044	0,027
in special device	3,7	0,0002	0,002

Conclusions. Internal stresses and shape inaccuracies impact significantly operational properties of the ring-runner pair (table).

Based on the performed studies we may conclude that use of standard fixation types fro low rigidity details of ring type leads to deformations in form of two-, three-, four-sided faceting. It also leads to occurrence of higher stresses and displacements compared to the special device.

Therefore, already on the stage of technological preparation to manufacture of low rigidity rings, it is reasonable to use special process equipment, use of which leads to reduction or elimination of deformation in radial direction.

References

1. Станочные приспособления: справочник: в 2-х т. Т.1 / под ред. Б. Н. Вардашкина. – М.: Машиностроение, 1984. – 636 с.

2. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., переработ. и дополн. – М.: Машиностроение, 1985.

3. Бондаренко С. Г. Отчет о научно-исследовательской работе “Разработка технологии, изготовление и испытание партии колец” (промежуточный) / С. Г. Бондаренко, О. Н. Чередников. – Чернигов: Черниговский филиал Киевского ордена Ленина политехнического института, 1989. – 142 с.

4. ГОСТ 3608-78. Кольца прядильных и крутильных машин. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 30 с.

РОЗДІЛ ІІ. МЕХАНОХІМІЯ

УДК 621.175

В.В. Горін, канд. техн. наук
Національний технічний університет України «КПІ», м. Київ, Україна

В.П. Квасніков, д-р техн. наук
Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

ТЕПЛОВІДДАЧА ПІД ЧАС КОНДЕНСАЦІЇ ХЛАДОНУ R407C ВСЕРЕДИНІ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ТРУБ

Проведено дослідження тепловіддачі під час конденсації хладону R407c всередині горизонтальних труб. Зроблено порівняння одержаних експериментальних даних з розрахунковими залежностями інших авторів. Запропонована залежність для розрахунку тепловіддачі.

Проведено исследование теплоотдачи при конденсации хладона R407c внутри горизонтальных труб. Сделано сравнение полученных экспериментальных данных с расчетными зависимостями других авторов. Предложена зависимость для расчета теплоотдачи.

Heat transfer with condensation of refrigerant R407c in horizontal smooth tube has been resulted. Comparing experimental data with dependencies of other authors has been done. Calculating of coefficient heat transfer was suggested.

Вступ. У наш час розробляється багато нових альтернативних хладонів, які є екологічно безпечними, але про них у загальній літературі обмежена інформація щодо питання коефіцієнтів тепловіддачі під час кипіння і конденсації у відповідних агрегатах холодильних установок. У зв'язку з цим виникає потреба проведення досліджень теплообміну у випарниках та конденсаторах холодильних установок. Найбільш інформативними є експериментальні дослідження, в яких визначаються локальні характеристики процесів.

Аналіз даних. Під час аналізу даних встановлено, що у всіх опублікованих роботах вимірювалися тільки середні по периметру труби і на певній довжині L (мінімум 0,5 м) коефіцієнти тепловіддачі $\alpha_к$, при конденсації всередині гладких труб, що не дозволяло отримати достатню картину про особливості теплообміну під час конденсації, а саме про вплив на теплообмін паровмісту x, швидкості пари ρw, щільності теплового потоку q і натікання конденсату.

Відзначено, що переважна частина результатів досліджень з конденсації різних хладонів та їхніх сумішей усередині гладких та оребрених труб, проведених в останні десять років [1-6], представлені авторами у вигляді залежностей середнього по всій поверхні вимірювальної ділянки труби коефіцієнта тепловіддачі $\alpha_к$ як функції масового паровмісту x і масової витрати G.

Постановка задачі. У цій роботі розглянута можливість використання методу товстостінної труби [7-9] для дослідження локальних характеристик теплообміну під час конденсації теплоносіїв у горизонтальних гладких трубах.

Методи та результати. Вплив режимних факторів на процес конденсації в горизонтальній трубі хладона R407c

На рис. 1 показано вплив середньої в поперечному перерізі густини теплового потоку (q) на розподіл температури поверхні теплообміну $t = \Phi(\varphi)$ в поперечному перерізі робочої ділянки (на рис. 1: 0° – нижня, а 180° – верхня твірні робочої ділянки).

З рис. 1 видно, що зміна густини теплового потоку q призводить до розшарування кривих

$$t = \Phi(\varphi),$$

де φ – кутова координата, °.

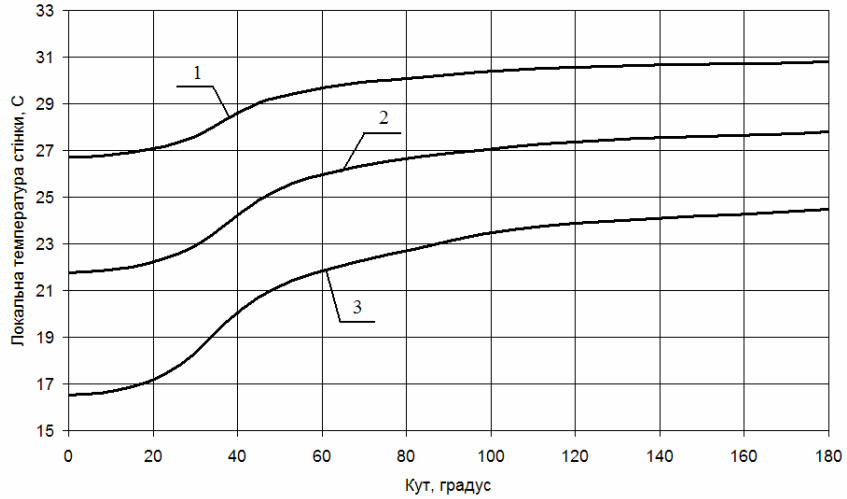


Рис. 1. Вплив густини теплового потоку q на розподіл температури t по периметру поперечного перерізу горизонтальної труби при температурі конденсації t = 37 °С та $q_к$ = 0: 1 – q =7765 Вт/м^2; 2 – 14064 Вт/м^2; 3 – 15005 Вт/м^2

При цьому при більших q температура поверхні теплообміну зменшується.

У нижньому секторі горизонтальної робочої ділянки має місце суттєве зниження температури поверхні теплообміну. При збільшенні q цей сектор зростає з одночасним зростанням падіння температури. При q = 7765 Вт/м^2 температура зменшується на 13 %, при q = 14064 Вт/м^2 – на 21,6 %, а при q = 15005 Вт/м^2 – на 32,7 %. Подібний до розглянутого вигляд мають і залежності $t = \Phi(\varphi)$, отримані авторами під час конденсації хладона R22.

На рис. 2 показано розподіл коефіцієнтів тепловіддачі α по периметру поперечного перерізу горизонтальної труби під час конденсації хладона R407c.

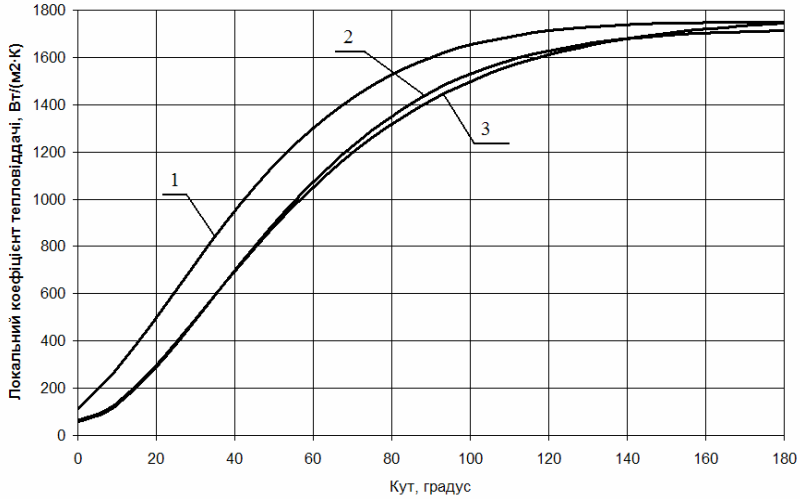


Рис. 2. Вплив густини теплового потоку q на розподіл коефіцієнтів тепловіддачі α по периметру поперечного перерізу горизонтальної труби при температурі конденсації t = 37 °С: 1 – q = 7765 Вт/м^2; 2 – 14064 Вт/м^2; 3 – 15005 Вт/м^2

Порівнюючи графіки на рис. 2 та експериментальні дані для хладона R22, можна зробити висновок про однаковий, якісний та близький кількісний характер залежностей $\alpha = \Phi(\varphi)$ при близьких значеннях основних режимних параметрів. Цей факт можна пояснити близькістю ефективних фізичних властивостей хладона R407c (трьохкомпонентна суміш) до фізичних властивостей хладона R22 (однокомпонетний холодильний агент), а значить, і однаковими режимами течії двофазного потоку в робочій ділянці стенда.

Слід відзначити, що така близькість значень коефіцієнтів тепловіддачі для хладонів, що порівнюються, має місце, коли коефіцієнт тепловіддачі під час конденсації хладона R407c віднесено до різниці температур плівки конденсату та поверхні теплообміну (для хладона R407c температура конденсату у стані насичення не дорівнює температурі сухої насиченої пари).

Експериментальне дослідження теплообміну під час конденсації альтернативних холодоагентів.

Аналіз отриманих результатів. У роботі як альтернативний холодильний агент використовувався теплоносій марки R407c. Він за своїми теплофізичними властивостями відноситься до зеатропних сумішей [10].

Характерною особливістю таких речовин, з точки зору теплофізичних властивостей, є наявність різних значень тиску насичення для пари і рідини для однієї й тієї ж температури насичення. Причому ця різниця для R407c досягає значних величин: від тиску p = 0,107 МПа для температури t = 0 °С до p = 0,24 МПа для t = 60 °С і, як бачимо, вона не є величиною постійною, а збільшується зі збільшенням температури.

Під час конденсації пари це призводить до того, що на границі пара-рідина (плівка або струмок конденсату) існує температурний стрибок у бік зменшення, якщо розглядати зміну температури у напрямку потоку теплоти. Причому величина цього стрибка є змінною і функцією температури насичення. Зрозуміло, що при таких обставинах питання узагальнення експериментальних даних для тепловіддачі під час конденсації пари різних холодоагентів (особливо зеатропних і незеатропних) є доволі складним. Тому нам видається, що на цій стадії дослідження доцільним буде отримання емпіричних (зручних для проектувальників холодильних установок) формул, що придатні для розрахунку локальних коефіцієнтів тепловіддачі.

Експериментальне дослідження локальних коефіцієнтів тепловіддачі під час конденсації пари R407c всередині горизонтальної труби проводилося для розшарованого режиму течії його фаз при двох значеннях температури насичення пари $t_н$ = 23,3 і 35,3 °С. Відомо, що розшарований режим течії фаз холодоагентів актуальний для горизонтально-трубних конденсаторів з повітряним охолодженням і займає більшу частину труб для конденсаторів з водяним охолодженням.

Типовий графік змінювання температури стінки робочої ділянки на радіусі R = 0,0115 м представлено на рис. 3.

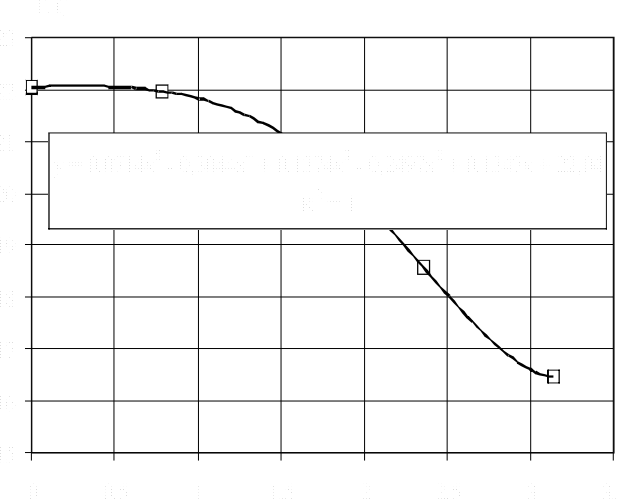


Рис. 3. Змінювання температури стінки робочої ділянки на радіусі R = 0,0115 м під час конденсації R407c

По осі ординат відкладена температура стінки в °С, по осі абсцис – кутова координата φ в радіанах (відлік проводився від верхнього отвору труби). Квадратні маркери – експериментальні значення температур. Лінія – апроксимаційний графік (у рамці – його рівняння і величина достовірності апроксимації).

Видно задовільну апроксимацію експериментальних значень температур.

Величина локального середнього по перерізу питомого теплового потоку $\overline{q}_\varphi$ при аналізі експериментальних даних визначалася за формулою:

$$\overline{q}_\varphi = \frac{\lambda\left(\overline{T}_{R=0,0115} - \overline{T}_{R=0,037}\right)}{\ln\left(\frac{0,037}{0,0115}\right)R_B}, \quad (1)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м К); $\overline{T}_R$ – середня температура для радіусів закладки термопар відповідно 0,0115 і 0,037 м, °С; R_B – внутрішній радіус труби, м.

Локальний середній по перерізу коефіцієнт тепловіддачі $\overline{\alpha}_\varphi$ визначався за залежністю:

$$\overline{\alpha}_\varphi = \frac{\overline{q}_\varphi}{T_H - \overline{T}_C}, \quad (2)$$

де $T_H, \overline{T}_C$ – відповідно температура насичення і середня температура внутрішньої поверхні труби в перерізі закладки термопар при фіксованому φ.

Середня по перерізу температура внутрішньої поверхні труби $\overline{T}_C$ визначалася за формулою:

$$\overline{T}_C = \overline{T}_{R=0,0115} + \frac{\overline{q}_\varphi R_B \ln\left(\frac{0,0115}{R_B}\right)}{\lambda}. \quad (3)$$

Визначені таким чином величини локальних коефіцієнтів тепловіддачі α в функції питомого теплового потоку q під час конденсації R407c всередині горизонтальної труби представлені на рис. 4.

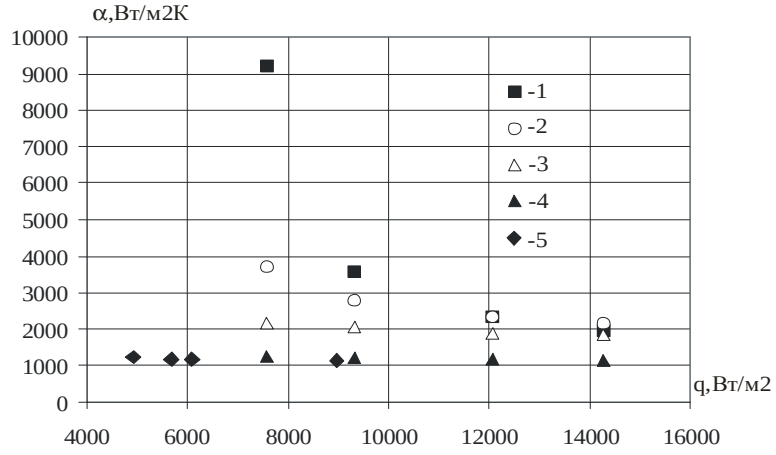


Рис. 4. Залежність локальних коефіцієнтів тепловіддачі α = f(q) під час конденсації пари R407c при розшарованому режимі течії фаз для двох значень Тн для пари 23,3 і 35,3 °С

По осі ординат тут відкладена величина локального коефіцієнта тепловіддачі α, Вт/(м^2·К), по осі абсцис – питомий тепловий потік q, Вт/м^2. Маркерами 1-4 позначені величини локальних коефіцієнтів тепловіддачі, що відносяться до режиму конденсації з $T_н$ для пари 35,3 °С: маркером 1 – експериментальні значення α при $T_н$ для пари

35,3 °С, що віднесені до різниці температур з $T_н$ для рідини, і визначальною температурою – $T_н$ для рідини; маркером 2 – α, що були розраховані за відомим рішенням Нусельта (4) [11] при тих же умовах для зовнішньої поверхні горизонтальної труби, яке для випадку конденсації всередині труби, з урахуванням кута затоплення струмком нижньої її частини, добре узгоджується з експериментальними даними [12, 13] та ін. Відповідно до [11] при умові $T_C = const$ по координаті φ середній по перерізу труби локальний коефіцієнт тепловіддачі α дорівнює:

$$\alpha = 0{,}728\left(\frac{\lambda^3 \rho g r}{\nu d (T_H - T_C)}\right)^{0{,}25}, \qquad (4)$$

де ρ – густина, кг/м^3; g – прискорення вільного падіння, м/с^2; ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості, м^2/с; r – прихована теплота пароутворення, Дж/кг; d – діаметр, м.

Маркером 3 – α, що були розраховані за формулою (4) при умовах, коли $T_н$ для рідини замінялася на $T_н$ для пари; маркером 4 – експериментальні значення α, що віднесені до різниці температур з $T_н$ для пари, і такою ж визначальною температурою. Маркерами 5 позначені експериментальні значення $\alpha = f(q)$ при $T_н$ для пари 23,3 °С, що віднесені до різниці температур $(T_н - T_c)$ з $T_н$ для пари, і такою ж визначальною температурою.

Видно, що розраховані за формулою (4) значення α (маркер 2), для даних з $T_н$ для пари 35,3 °С у діапазоні зміни величини q = (9000…14500) Вт/м^2 доволі задовільно узгоджуються з експериментальними їх значеннями (маркер 1) при прийнятій як визначальній температурі $T_н$ для рідини (відхилення дослідних даних від розрахункових становить не більше 22 %). Виключення становить α при q = 7600 Вт/м^2, де дослідні дані перевищують розрахункові на ≈ 60 %. Розрахункові за формулою (4) значення α (при $T_н$ для пари як визначальної температури) ще більше відхиляються в бік зменшення від дослідних (маркер 3).

Якщо ж віднести експериментальні значення локального питомого теплового потоку до різниці температур $(T_н - T_c)$ з $T_н$ для пари і прийняти її як визначальну для теплофізичних властивостей рідини, то можна отримати доволі несподіваний результат. Розраховані таким чином значення експериментальних локальних коефіцієнтів тепловіддачі по суті автомодельні до величини q (маркер 4). Тут, мабуть, виявляється нівелюючий вплив суттєво збільшеної (на ≈ 5 °С) різниці температур $(T_н - T_c)$.

Цікаво, що такий же результат отримується і для випадку конденсації з $T_н$ для пари, що дорівнює 23,3 °С (маркер 5; експериментальні і розрахункові дані $\alpha = f(q)$, що відповідні тим, які відображують маркери 1-3, аналогічні режиму конденсації з $T_н$ для пари, що дорівнює 35,3 °С; тому для того, щоб не захаращувати рисунок, вони не наводяться).

Для спрощення інженерної методики розрахунку конденсаторів холодильних установок доцільно узагальнити результати експериментального дослідження з використанням температури насичення пари як визначальної температури. Така обробка представлена на рис. 5.

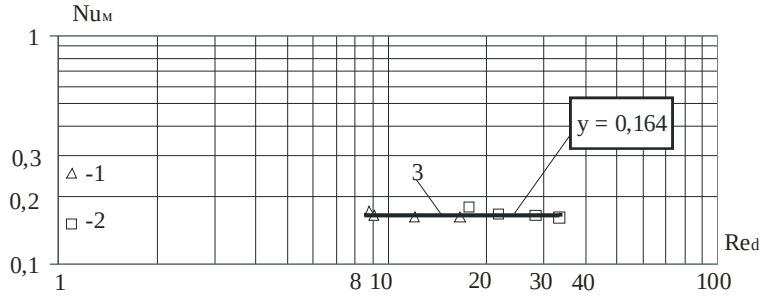


Рис. 5. Представлення дослідних даних під час конденсації R407c для розшарованого режиму течії фаз

По осі ординат відкладені значення модифікованого критерія Нуссельта $Nu_M = \frac{\alpha}{\lambda}\left(\frac{\nu^2}{g}\right)^{1/3}$, по осі абсцис – плівкового критерія Рейнольдса у вигляді $\mathrm{Re}_d = \frac{q\pi D_B}{\nu\rho r}$. Маркером 1 позначені експериментальні дані з $T_н$ для пари, що дорівнює 23,3 °С, маркером 2 – експериментальні дані для пари, що дорівнює 35,3 °С, 3 – графік $Nu_M = 0{,}164$.

Видно, що експериментальні значення локальних коефіцієнтів тепловіддачі під час конденсації пари R407c при розшарованому режимі течії його фаз, що віднесені до різниці температур $(T_н - T_c)$ з температурою насичення для пари $T_н$ і з цією ж температурою як визначальної для теплофізичних властивостей конденсату, задовільно узгоджуються з графіком (рис. 5), з якого маємо:

$$Nu_M = \frac{\alpha}{\lambda}\left(\frac{\nu^2}{g}\right)^{1/3} = 0{,}164 \cdot \qquad (5)$$

Тобто, при вказаній обробці експериментальних даних критерій Nu_M автомодельний по відношенню до плівкового критерія Рейнольдса Re_d.

Висновки. Таким чином, проведені експерименти показали, що під час конденсації пари холодоагенту R407c (зеатропна суміш) при розшарованому режимі течії його фаз оцінювати інтенсивність тепловіддачі можна за залежністю Нуссельта (4) (при визначальній температурі, що дорівнює $T_н$ для рідини), враховуючи, що при малих q теорія дає більш низькі значення α (ця обставина може бути актуальною в кінці горизонтальної труби при охолодженні її водою).

Якщо як визначальну температуру прийняти $T_н$ для пари, то експериментальні дані задовільно узгоджуються з рівнянням (5). Відхилення дослідних даних від розрахункових за формулою (5) становить не більше ± 8 %, що дає змогу рекомендувати її для використання в розрахунках.

Список використаних джерел

1. A. Cavallini, G. Censi, D. Del Gol, L. Doretti, G.A. Longo. L. Rossetto, In-tube condensation of halogenated refrigerants. International Journal of HVAC&R Research (2002) P. 146-161.

2. O. Garcia-Valladares, Review of In-Tube Condensation Heat Transfer Correlations for Smooth and Microfin Tubes. Heat Transfer Engineering, vol. 24(4): (2003) P. 6-24.

3. J. Ei Hajal, J.R. Thome, A. Cavallini, Condensation in horizontal tubes. Part 1: Two-phase flow pattern map. International Journal of Heat and Mass Transfer 46 (2003) P. 3349-3363.

4. Cavallini A., Censi G, Del Col D., et al., Condensation of refrigerants in smooth tubes: a new heat transfer model for heat exchanger design, 3rd International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics, 21-24 June 2004, Cape Town, South Africa.

5. E.W. Jassim, T.A. Newell, J.C. Chato, Prediction of two-phase condensation in horizontal tubes using probabilistic flow regime maps, International Journal of Heat and Mass Transfer 51 (2008) P. 485-496.

6. R. Suliman, L. Liebenberg, J.P. Meyer, Improved flow pattern map for accurate prediction of the heat transfer coefficients during condensation of R-134a in smooth horizontal tubes and within the low-mass flux range. International Journal of Heat and Mass Transfer 52 (2009) P. 5701-5711.

7. Петухов Б. С. Метод толстостенной трубы для измерения теплоотдачи в трубах / Б. С. Петухов // Теплоэнергетика. – 1954. – № 4. – С. 36-41.

8. Риферт В. Г. Режимы течения фаз и теплообмен при конденсации пара внутри горизонтальных труб / В. Г. Риферт, А. И. Сардак, А. Н. Тобилевич // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1985. – № 4. – С.101-109.

9. Louahlia-Gualous H., Panday P.K., Artioukhine E. Inverse determination of the local heat transfer coefficients of nucleate boiling on a horizontal cylinder // Journal of Heat Transfer, Transaction of the ASME. – 2003. – № 125. – P. 1087-1095.

10. Бабакин Б. С. Альтернативные хладоагенты и сервис холодильных систем на их основе / Б. С. Бабакин, В. И. Стефанчук, Е. Е. Ковтунов. – М.: Колос, 2000. – 160 с.

11. Nusselt W. Die Oberflachenkondensation des Wasserdampfes.- VDI, 1916, Bd 60, № 27, S. 541-546, 569-575.

12. Кректунов О. П. Процессы конденсации и конденсаторы масло-жирового производства / О. П. Кректунов, А. С. Савус. – СПб., 1998. – 495 с.

13. Риферт В. Г. Конденсация пара внутри горизонтальных труб / В. Г. Риферт // ИФЖ. – 1983. – Т. XLIV. – № 6. – С. 1017-1029.

УДК 663.951:006.015.5

Т.М. Денисенко, канд. техн. наук
С.В. Гаценко, ст. викладач
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ДЕГУСТАЦІЙНА ОЦІНКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЧАЮ

Проаналізовано марки чаю, що користуються попитом на ринку України. Розглянуто хімічні складові (розчинні речовини) чаю та їх вплив на властивості готового напою й організм людини. Наведено результати органолептичних та фізико-хімічних досліджень якості конкретних зразків чаю на відповідність вимог стандартів.

Постановка проблеми. Чай, як товар, має свої особливості. З однієї сторони, це продукт повсякденного вживання, що гарантує його виробникам і трейдерам відносно стабільний товарообіг й отримання певної рентабельності. З другої – він імпортується як сировина і як готовий продукт. Робота з ним залежить від багатьох факторів: стану справ у країнах-виробниках, цінових коливань на світових чайних біржах, стану економіки у нашій країні.

На ринку України представлено більше 20-ти марок чаю. Починаючи з першої половини 2002 року і до сьогодні, позиції лідера займає чай марки Lipton.

Чай в Україні не вирощується. Понад 80 % чаю завозиться в Україну зі Шрі-Ланки, близько 10 % продукту індійського походження. Решту становить продукція, що завозиться з Китаю, Індонезії, В'єтнаму, Кенії, Аргентини, Сінгапуру, Грузії тощо. Широко представлена продукція фасувальників з Німеччини, Нідерландів, Великобританії, Греції, Польщі, Росії, Чехії та інших країн [5].

У зв'язку зі стовідсотковим імпортом та дуже широким асортиментом чаю гостро стоїть проблема дослідження його якості з метою недопущення на ринок неякісного товару.

Аналіз досліджень та публікацій. Споживання чаю складає близько 61 % від загальної кількості напоїв. Досить активно фігурують на українському ринку чаю такі марки, як Dilmah, Ahmad Tea (чай "Цейлон ОР", що являє собою вишуканий купаж чорних чаїв); ТМ "Майський чай" (продукція компанії "Май"), під цією маркою пропонуються 50 брендів, 8 з яких крупнолистові чаї; компанія "Ормі трейд Ltd" представляє на ринку торгові марки

“Принцеса Нурі”, “Принцеса Канді”, “Принцеса Гіта”, що користуються попитом у споживачів; не знижуються об’єми продажу чаю “Бесіда”; до числа елітних відноситься крупнолистовий чай OP Long Leaf із нової колекції вишуканого чаю компанії “Маброк Тіз ЛТД” одного із найкрупніших цейлонських виробників, що більше 100 років працює на світовому чайному ринку (ексклюзивний дистриб’ютор в Україні – фірма “Продторг ЛТД”). Високогірний цільнолистовий Gold OP відкриває і знамениту серію TM Mabroc Gold, що виготовляється за спеціальною технологією, яка є ноу-хау компанії – Mabroc; TM Pickwick (ексклюзивний дистриб’ютор на Україні Holdeks Group BV, Holland); серед найбільш вживаних марок чаю є чай “Три слона” компанії “Мономах”; не поступається за рівнем споживання чай “Принцеса Ява” (індонезійський чорний байховий). Користуються попитом споживачів і такі торгові марки, як “Добриня”, “Лісма”, “Брук Бонд”, “Аскольд”, “Краснодарський”, Akbar, “Домашній чай”, SAF tea, Quelitea, Milford, Edwin [6; 7].

Нині збільшується частина чаю, який фасується в Україні. Фасуючи чай в Україні, підприємство-виробник має більше маркетингових можливостей швидко реагувати на зміну споживчих переваг. Наприклад, для того, щоб змінити вигляд розфасовки при імпорті фасованого чаю, потрібно 6-10 місяців. Особливо коли підприємство хоче запровадити свої дизайнерські рішення кольору, графіки, тексту маркування, тобто, елементи брендингової політики, виходячи з конкретної кон’юнктури ринку в Україні. Імпортувати чай в Україну під фасування вигідніше з точки зору маркетингової логістики. Наприклад, один морський контейнер вміщує у 1,5 рази більше чаю вагового, ніж фасованого.

В умовах росту конкуренції кожен із учасників ринку зацікавлений у формуванні стабільного кінцевого попиту й активно використовує різні маркетингові комунікації у процесі просування своєї продукції. Тут важливо все: реклама, упаковка, PR-акції, BTL-компанії, виставки, ярмарки, дегустації і семплінги, мерчандайзинг. У просуванні чаю на ринку активно використовується телереклама, радіореклама, друкований продукт. На ринку чаю сформувалась багаторівнева структура каналів розподілення. Виробники, в основному, орієнтують реалізацію на конкретні регіони, в кожному з яких мають одного чи декількох дистриб’юторів.

При всьому різноманітті видів чаю – чорний, зелений, червоний, білий – це не різні сорти, а лише різні способи обробки. Цілющі властивості чаю обумовлені вмістом цінних алкалоїдів (кофеїну, теоброміну, теофіліну), фенольних сполук (танінів, катехінів), ефірних олій, вітамінів і мінеральних речовин. Із розчинних речовин перш за все слід звернути увагу на шість найбільш важливих складових чаю: це дубильні речовини, ефірні олії, алкалоїди, амінокислоти, пігменти і вітаміни. Дубильні речовини являють собою складну суміш більше трьох десятків поліфенольних сполук, що складаються з таніну і різних (близько семи) катехінів, поліфенолів та їх похідних. У чаї міститься теотанін, який являє собою складний хімічний комплекс. У свіжому чайному листі танін має гіркий смак, а після фабричної обробки ця гіркота зникає і танін у чаї набирає приємної терпкості, що надає основного смаку чайному настою. Танін та катехіни чаю мають властивості вітаміну Р і саме через це чай є для нас головним джерелом отримання цього важливого вітаміну. У чаях Південної Азії – індійському, цейлонському – міститься більше таніну, ніж у китайському, грузинському, азербайджанському і краснодарському. Окрім того, зазвичай у всіх чаях вищих сортів таніну міститься більше ніж у чаях нижчого ґатунку [3]. Дубильні речовини чаю не залишаються незмінними. Продукти їх окислення – хінони, що з’являються у процесі виробництва чаю, здійснюють окислення інших речовин чайного листа й утворюють багато ароматичних продуктів, що беруть участь у створенні аромату чаю. Дубильні речовини чаю не здійснюють дубильної дії на слизові оболонки внутрішніх органів людини.

Ефірні олії містяться в зеленому листі і в готовому чаї. Від них залежить якість чаю. У зеленому листі чаю їх міститься лише 0,02 %. При переробці чайного листа втрата ефір-

них олій становить 70-80 %, але при цьому утворюються нові ефірні олії. Кількість хімічних компонентів ефірних олій у готовому чаї становить близько 32. Багато ефірних олій мають запах троянд, меду, ванілі, цитрусових, бузку, кориці. Хімічно чисті ефірні олії являють собою оліфатичні й ароматичні вуглеводи, альдегіди, кетони, феноли, складні кислоти (типу саліцилової) та інші виключно летючі. Більшість з них можуть випаровуватись не лише під час підвищення температури, а і при порушенні правил зберігання, пакування, транспортування чаю та при його неправильному заварюванні.

Суттєвим компонентом чаю є алкалоїди. Основним винуватцем тяги людей до чаю, як до тонізуючого напою, є кофеїн. Кофеїн, що міститься у чаї, називають теїн. У чистому вигляді він являє собою безкольорову, що не має запаху, але гірку на смак речовину. У чаї вміст кофеїну становить 4-5 %, у каві не більше 2,4 %, але чайний кофеїн має більш м'яку дію, ніж кофеїн, що міститься у каві і виступає не ізольовано, а у комплексі з таніном, утворюючи сполуку танат кофеїну, що діє більш м'яко на серцево-судинну і центральну нервову систему. Кофеїн чаю не затримується, не накопичується в організмі людини, що виключає небезпеку отруєння кофеїном, навіть при дуже частому вживанні цього напою. Завдяки вживанню чаю організм людини отримує на добу близько 0,01 г кофеїну, у той час як стимулююча добова норма, яку допускають фармакологи, становить у 30 разів більше [4]. Окрім кофеїну, до складу чаю входять у незначній кількості інші алкалоїди. Це розчинні у воді теобромін і теофілін (вони є гарними судинорозширюючими і сечогінними засобами), важкорозчинний у воді адеїн і зовсім нерозчинний у воді гуанін – пуринова основа з негативними властивостями. Його можна вивести з чайного листа у настій різким кип'ятінням чи довгим підігріванням завареного чаю. Тому не слід робити міцний чай на вогні.

За вмістом білків та їх якістю чайний лист не поступається бобовим культурам. Підвищений вміст білків знижує якість чаю, погіршуючи його смак та колір, оскільки велика кількість білків у готовому настої чаю супроводжується зниженням вмісту таніну, що підтверджується блідим кольором такого чаю. У чайному листі присутні, здебільшого білки, що розчинні у лугах – глютеліни, й у меншій кількості – білки, розчинні у воді – альбуміни. У чаї виявлено 17 амінокислот. Серед амінокислот чаю найважливішою є глютамінова кислота, тому що активно сприяє обмінним процесам та відновленню виснаженої нервової системи людського організму.

У забарвленні чайного листа беруть участь пігменти. В чорному чаї присутні в основному ксантофіл і каротин. Кольоровість настою пов'язана, переважно, з двома групами барвних речовин – теарубігінами і теофлавінами. Перші, що дають червонувато-коричневі тони, складають 10 % сухого чаю, інші мають золотисто-жовту гаму, їх лише 2 %. При цьому теофлавіни складаються із саме теофлавіну і теофлавінгаллату та є дуже нестійкими речовинами, при найменшому окисленні вони переходять у теарубігіни. Ця властивість пігментів чаю пояснює багато властивостей настою. Наприклад, його побуріння. Спитий і низькосортний чай швидко буріє, стає непрозорим, темним, якщо його залишити постояти деякий час. Це означає, що відбувається окиснення теофлавінів, які дають не тільки колір, а й тон та яскравість настою.

Мінеральних та інших неорганічних речовин у чаї міститься 4-7 %. У чаї присутні магній, марганець, натрій, а також калій, кальцій, фтор, йод, мідь, золото. Всі вони входять до складу складних сполук, але, перебуваючи в колоїдному стані, піддаються розчиненню у воді і переходять у чайний настій (особливо фтор і йод). До складу чаю входить і невелика за питомою вагою, але різноманітна група смолистих речовин. Це складні за хімічним складом комплекси: спирти (резеноли), смоляні кислоти, смоляні феноли та інші органічні сполуки. Вони поки мало вивчені, але їх роль у чаї у загальних рисах зрозуміла: вони виступають в основному як носії та фіксатори чайного аромату.

У чаї присутня велика кількість вітамінів. Він містить провітамін А – каротин, який є важливим для нашого зору та забезпечує нормальний стан найніжніших слизових оболонок – носу, глотки, гортані, легень, бронхів, сечостатевих органів. У чаї представлена широка група вітаміну В. Близька до цієї групи і нікотинова кислота (вітамін РР) – протиалергічний вітамін, дуже стійкий до високих температур і добре розчиняється у воді. Вміст нікотинової кислоти у чаї великий, у сотні разів більший ніж вітаміну В1. У чаї міститься також вітамін С. У свіжому чайному листі його в чотири рази більше ніж у соку лимона.

Мета статті. Метою нашої роботи є оцінка якості зразків чаю на відповідність вимогам нормативних документів та заявленому маркуванню.

Виклад основного матеріалу. Для проведення досліджень було взято зразки чорного чаю, чаю чорного байхового з добавками, зеленого чаю різних виробників, що користуються попитом у споживачів:

- чай Pukala виготовлений у Німеччині фірмою Pukala Teehandles і являє собою суміш листового і гранульованого чаю;
- чай Brooke Bond виготовлений у Росії філіалом ТОВ “Юнілевер СНГ” і являє собою суміш листового і гранульованого чаю;
- чай Dilmah виготовлений в Індонезії для “М Джей Ф Груп” Коломбо, Шрі-Ланка і представлений у вигляді листового чаю;
- чай листовий Hyleys. “Полуниця з вершками” виготовлений та упакований у Шрі-Ланці «Ріджженсі Тіс(Пвт) Лтд.»;
- чай листовий Akbar. “Полуниця з вершками” виготовлений компанією «Сапсан» Росія;
- чай «Майський чай з ароматом полуниці» виготовлений компанією «Май» Росія;
- чай зелений байховий Hyleys особливо крупнолистовий виготовлений та упакований у Шрі-Ланці «Ріджженсі Тіс(Пвт) Лтд.»;
- чай зелений байховий «Askold. Ган Паудер» виготовлений ТОВ СП «Соломія» м. Київ, Україна;
- чай зелений Greenfield виготовлений ТОВ «Ексімтрейд» м. Київ, Україна.

Проводилась оцінка зразків чаю за органолептичними та фізико-хімічними показниками. Результати проведених досліджень порівнювали із параметрами, що повинні бути характерні для доброякісного чаю згідно із стандартами.

Серед органолептичних показників для чаю нормуються: аромат і смак, настій, колір розвареного листа, зовнішній вигляд чаю.

Для проведення органолептичних досліджень із середньої проби кожного виду досліджуваного чаю відбирається наважка, висипається тонким шаром на аркуш білого паперу. Із взятої наважки береться 3 грами чаю (похибка зважування на більше 0,01 грама), заливається крутим кип’ятком у фарфоровому чайнику на 5 хвилин, при цьому чайник не доливається кип’ятком на 4-6 мм. Настій заливається у чашку і через 1,5 хв починають проводити дослідження.

Аромат визначається у парах розварки чаю, звертається при цьому увага на сторонні, не характерні для чаю запахи (затхлість, кислуватість та інше). Потім визначається смак чаю, відмічається повнота, ступінь вираженості і терпкість, а також наявність сторонніх присмаків, не характерних для чаю. Після попереднього викладання розвареного листа на кришку чайника визначається його колір. Інтенсивність кольору, відтінок і прозорість визначають візуально. Зовнішній вигляд наважки сухого чаю визначають шляхом його огляду при денному розсіяному світлі. Результати органолептичної оцінки зразків представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Органолептична оцінка зразків чаю

Показник	**Pukala**	**Brooke Bond**	**Dilmah**	**Hyleys "Полуниця з вершками"**	**Akbar "Полуниця з вершками"**	**"Майський чай з ароматом полуниці"**	**Hyleys**	**Askold**	**Greenfield**
Смак і аромат	Достатньо ніжний аромат, середньої терпкості	Ніжний аромат, не дуже терпкий	Ніжний аромат, смак з приємною терпкістю	Приємний аромат полуниці, терпкий смак	Ніжний аромат, полуничний, з приємною терпкістю смаку	Ніжний аромат полуниці, смак середньої терпкості	Приємний аромат, гіркувато-терпкий смак	Приємний аромат, достатньо терпкий смак	Приємний аромат, достатньо терпкий смак
Настій	Недостатньо яскравий і досить прозорий	Не дуже яскравий і прозорий	Яскравий середньої прозорості	Яскравий середньої прозорості	Яскравий, прозорий, інтенсивний	Яскравий середньої прозорості, інтенсивний	Прозорий світло-зеленого кольору	Недостатньо прозорий, жовтого кольору	Прозорий, жовтого кольору
Колір розвареного листа	Недостатньо однорідний коричневого кольору	Недостатньо однорідний, світло-коричневий	Однорідний коричнево-червоного кольору	Однорідний коричневого кольору	Однорідний коричневого кольору	Недостатньо однорідний коричневого кольору	Недостатньо однорідний зеленуватого кольору	Недостатньо однорідний, зелений з жовтим відтінком	Недостатньо однорідний, зелений
Зовнішній вигляд сухого чаю	Недостатньо рівний, скручений	Недостатньо рівний, скручений	Рівний, однорідний, добре скручений	Недостатньо рівний, скручений	Недостатньо рівний, скручений	Недостатньо рівний, скручений	Однорідний, рівний, скручений, наявність стебел	Однорідний, рівний, скручений, наявність стебел	Недостатньо рівний, скручений і пластинчатий, наявність стебел та пилу
Загальна балова оцінка	4,2	4,0	4,8	4,4	4,8	4,5	4,6	4,0	4,5

За результатами проведених досліджень найбільш високі оцінки серед чорних отримав чай Dilmah, що мав ніжний аромат, приємний з терпкістю смак, яскравий та прозорий настій, однорідний коричневого кольору розварений лист, та рівні, однорідні, добре скручені чаїнки до заварювання. Відповідно до еталону, цей чай відноситься до вищого сорту. Дещо поступався йому за органолептичними показниками чай Brook Bond, який мав аромат менш ніжний та середньої терпкості смак, менш інтенсивний настій, розварений лист можна охарактеризувати як недостатньо однорідний, а зовнішній вигляд листа як недостатньо рівно скручений. Такий чай за характеристиками органолептичних показників відповідно до вимог стандарту відноситься до першого сорту.

Найменш привабливим з точки зору органолептики виявився чай Pukala, але посівши третє місце серед цієї групи досліджуваних зразків, він мав всі характеристики, щоб бути віднесеним, згідно зі стандартами до першого сорту.

За результатами досліджень серед ароматизованих чаїв найвищу оцінку отримав чай Akbar "Полуниця з вершками", що відзначався приємним ніжним полуничним ароматом, терпкуватим смаком, інтенсивним прозорим яскравим настоєм, однорідним коричневого кольору розвареним листом та добре скрученими чаїнками до заварювання. Відповідно до вимог стандарту – це чай першого сорту. "Майський чай з ароматом полуниці" та Hyleys "Полуниця з вершками" мають практично однакові органолептичні характеристики: ніжний полуничний аромат, терпкий смак, яскравий середньої прозорості настій, розварений лист коричневого кольору, нерівномірно скручені чаїнки сухого чаю. Відповідно до вимог стандарту – чаї першого сорту.

Результати органолептичної оцінки зеленого байхового чаю показали, що кращим є чай Hyleys. Він характеризується приємним ароматом, гіркувато-терпким смаком, прозо-

рим настоєм світло-зеленого кольору, недостатньо однорідним розвареним листом зеленуватого кольору, однорідними рівними чаїнками сухого чаю та поодинокими стеблами. Відповідно до вимог ГОСТ 1939 – це чай першого сорту. Другу сходинку займає чай Greenfield, поступається попередньому лише за кольором настою та зовнішнім виглядом сухого чаю, відноситься також до першого сорту. Чай Askold має найменш привабливі органолептичні характеристики. Відповідно до вимог стандарту – це чай другого сорту.

Отже, за органолептичними показниками, всі чаї відповідають вимогам стандарту.

Серед фізико-хімічних показників для чаю визначали масову частку вологи, водорозчинних екстрактивних речовин, металомагнітних домішок, дріб'язку, а також таніну.

Визначення фізико-хімічних показників чаю проводились у лабораторії кафедри товарознавства та комерційної діяльності ЧДТУ. Еталоном слугував чай, який відповідав усім вимогам стандартів і мав органолептичну оцінку 5 балів. Результати досліджень представлені в таблиці 2.

Таблиця 2

Фізико-хімічні показники зразків чаю

Назва чаю	Масова частка вологи, %	Масова частка водорозчинних екстрактивних речовин, %	Масова частка металомагнітних домішок, %	Масова частка таніну, %	Масова частка дріб'язку, %
Pukala	8,3	32,0	0,00064	8,52	5,07
Brooke Bond	7,8	32,2	0,00052	8,85	4,79
Dilmah	6,1	35,6	0,00042	9,04	0,92
Hyleys "Полуниця з вершками"	6,5	33,9	0,00043	9,17	0,85
Akbar "Полуниця з вершками"	7,0	34,6	0,00038	9,10	0,78
"Майський чай з ароматом полуниці"	7,3	32,6	0,00045	9,08	0,93
Hyleys	6,3	34,2	0,00046	12,2	0,82
Askold	7,05	32,1	0,00033	13,6	0,62
Greenfield	7,00	33,4	0,00047	12,0	5,14

Отже, проаналізувавши результати досліджень, можна зробити висновок про те, що чай Dilmah відповідає всім вимогам стандарту для чаю вищого сорту і за показниками близький до еталонного чаю, хоча і не є ним. Дещо нижчі оцінки за показниками якості отримав чай Brook Bond, який має вологість 7,8 %, що недалеко від 8 %, які є гранично допустимою межею згідно зі стандартом, масову частку водорозчинних речовин 32,2 %, у той час коли нормується не менше 32 % для чаю першого сорту. Масова частка металодомішок становить 0,00052 %, у той час коли стандартом нормується не більше 0,00050 % для листового і 0,0070 % для гранульованого. Дослідження чаю Pukala дали не найкращі результати, виявивши перевищення допустимого стандартом рівня вологи на 0,3 %, що пов'язано, очевидно, з порушенням умов зберігання та транспортування. Маса екстрактивних речовин знаходиться на рівні, встановленому стандартом для чаю першого сорту. Масова частка дріб'язку перевищує вимоги стандарту на 0,07 %. Виявлено велику кількість металодомішок, що дуже близька до граничної для гранульованого чаю, і перевищує на 0,00014 % допустиму межу для листового чаю. Оскільки чай є сумішшю листового і гранульованого чаїв, то можна вважати цю цифру допустимою.

Ароматизовані чаї Akbar "Полуниця з вершками", "Майський чай з ароматом полуниці" та Hyleys "Полуниця з вершками" за фізико-хімічними показниками повністю відповідають вимогам для чаю першого сорту.

Для зеленого байхового чаю відповідно до вимог стандарту масова частка вологи повинна становити не більше 8 %, у досліджуваних зразках – знаходиться в межах норм. Масова

частка водорозчинних екстрактивних речовин повинна становити не менше: для першого сорту – 33 %, для другого – 31 %. Чай Hyleys та Greenfield відповідають вимогам першого сорту, чай Askold – другого. Масова частка металодомішок у всіх зразках знаходиться в межах норм стандарту. Масова частка таніну у досліджуваних зразках відповідає вимогам для зеленого чаю. А от масова частка дріб'язку перевищена на 0,14 % у чаї Greenfield.

На основі проведених досліджень можна зробити висновки, що за фізико–хімічними показниками, цілком відповідають вимогам стандартів лише чаї Dilmah, ароматизовані Akbar "Полуниця з вершками", "Майський чай з ароматом полуниці", Hyleys "Полуниця з вершками" та зелений байховий Hyleys. Brook Bond і Pukala характеризуються високим вмістом металодомішок, а Pukala до того ж підвищеною вологістю і вмістом дріб'язку. Чай Greenfield має підвищений вміст дріб'язку. Хоч чай Askold повністю відповідає вимогам ГОСТу за фізико-хімічними показниками для чаю другого сорту, але не відповідає заявленому в маркуванні вищому сорту.

Висновки. На основі аналізу органолептичної оцінки та фізико-хімічних показників якості досліджуваних зразків чаю можна зробити висновок, що чаї Dilmah, ароматизовані Akbar "Полуниця з вершками", "Майський чай з ароматом полуниці", Hyleys "Полуниця з вершками" та зелений байховий Hyleys відповідають вимогам стандартів і заявленому на упаковці маркуванню.

Список використаних джерел

1. ГОСТ 1939–90. Чай зеленый байховый фасованый. Технические условия.
2. ДСТУ 7174:2010. Чай черный байховый фасованный. Технические условия.
3. Єделькіна О. Таємниці східного чаювання / О. Єделькіна // Брутто. – 2011. – № 2. – С. 21.
4. Кістанова С. Чайні варіації на Цейлонських плантаціях / С. Кістанова // Напитки плюс. – 2010. – № 8. – С. 30-35.
5. Ковтун О. Зміна чайного лідера / О. Ковтун // Новий маркетинг. – 2010. – № 7. – С. 32-36.
6. Следзь С. Чай: ринок динамічно зростає / С. Следзь, Н. Следзь // Галицькі контракти. – 2008. – № 21. – С. 60-65.
7. Чай – продукт особливий. Маркетингова оцінка і перспективи розвитку українського ринку чаю // Продукты питания. – 2009. – № 5. – С. 35-37.

УДК 620.197.3

В.Н. Челябиева, канд. техн. наук, доцент
О.Л. Гуменюк, канд. хим. наук, доцент
Черниговский государственный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ ЗАМЕСТИТЕЛЯ НА ЭФФЕКТИВНЫЕ ЗАРЯДЫ АКТИВНЫХ ЦЕНТРОВ ПРОИЗВОДНЫХ БРОМИДА 1-(4-ЭТОКСИБЕНЗИЛ, 2-ГИДРОКСИ, 2-ФЕНИЛИМИДАЗО[1,2-а]ПИРИДИНИЯ

С привлечением квантовохимических расчетов изучено влияние заместителей различной природы на эффективные заряды активных центров производных бромида 1-(4-этоксибензил, 2-гидрокси, 2-фенилимидазо [1,2-а] пиридиния. Показано, что под влиянием заместителей происходит перераспределение зарядов на атомах во всех ароматических системах молекулы бромида 1-(4-этоксибензил, 2-гидрокси, 2-фенилимидазо[1,2-а]пиридиния. Увеличение общего эффективного заряда на атомах ароматических систем молекулы приводит к возрастанию противокоррозионной активности рассмотренных производных в растворе хлоридной кислоты.

Анализ последних исследований и публикаций. Четвертичные соли с конденсированными системами на основе имидазольного кольца являются высокоэффективными ингибиторами коррозии стали [1-3].

Установлено, что противокоррозионная активность таких систем зависит:
– от величины цикла, конденсированного с имидазолом [4; 5];
– от способности к образованию металохелатных пленок [6; 7].

Показано [3; 6], что природа заместителей существенно влияет на противокоррозионную активность ингибиторов. Как предполагают авторы [3; 6], изменение противокоррозионной активности ингибитора под влиянием электронодонорного или электроноакцепторного заместителя связано с изменением эффективных зарядов на атомах, выполняющих важную роль при адсорбции данных соединений на поверхности металла (в дальнейшем – активные центры).

Постановка проблемы. Анализ публикаций показал, что отсутствуют подтвержденные квантовохимическими расчетами данные о характере перераспределения зарядов на активных центрах конденсированных систем на основе имидазола под влиянием заместителей различной природы. Подобные исследования расширят представление о природе противокоррозионной активности производных гетероциклов и будут полезны при разработке эффективных ингибиторов коррозии, в том числе и биологической.

Формулирование целей статьи. С применением квантовохимических расчетов:

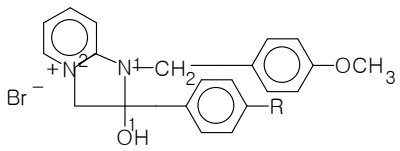
– установить характер изменения эффективных зарядов на активных центрах бромидов производных 1-(4-этоксибензил, 2-гидрокси, 2-фенилимидазо[1,2-а]пиридиния (**БИП**) под влиянием ряда электронодонорных и электроноакцепторных заместителей;

– установить реакционные центры, определяющие противокоррозионную активность БИП.

Изложение основного материала исследований. Структурные формулы и характеристика БИП, исследованных в работе, приведены в табл. 1. Строение и состав веществ идентифицированы с помощью ПМР-спектроскопии и данных элементного анализа [6].

Таблица 1

Структурные формулы БИП

Условное обозначение	R	Константа Гаммета, σ_R
		
БИП 1	H	0
БИП 2	OCH_3	-0,240
БИП 3	CH_3	-0,170
БИП 4	Cl	0,227
БИП 5	Br	0,232
БИП 6	NO_2	0,778

Противокоррозионную активность оценивали на стали 45 при концентрации БИП $7 \cdot 10^{-4}$ моль/дм^3 весовым (10 %-ный раствор HCl, время испытаний 6 часов) и электрохимическим (0,1М HCl, поляризационные кривые с шагом 20 мВ/мин) методами. Температура всех исследований 293 К.

По результатам весовых исследований рассчитывали коэффициент торможения общей коррозии γ, степень защиты *Z*, по данным электрохимических испытаний определяли коэффициент торможения и степень защиты от электрохимической коррозии – γ_c и Z_c соответственно. Результаты эксперимента приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты исследования противокоррозионной активности веществ 1-6

БИП	1	2	3	4	5	6
γ	38,46	52,63	47,60	50,0	52,63	10,86
Z	97,4	98,1	97,9	98,0	98,1	90,8
γ_c	7,56	12,01	10,46	19,04	12,58	4,36
Z_c	86,8	91,7	90,4	94,7	92,1	77,1

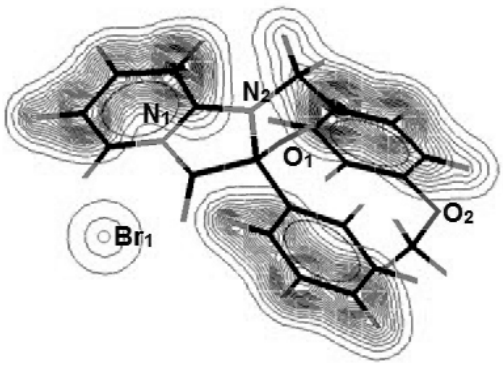
Эффективные заряды на атомах в молекулах БИП определяли квантовохимическим расчетом полуэмпирическим методом РМ 3 с помощью программы Hyper Chem (табл. 3, рис. 1).

Таблица 3

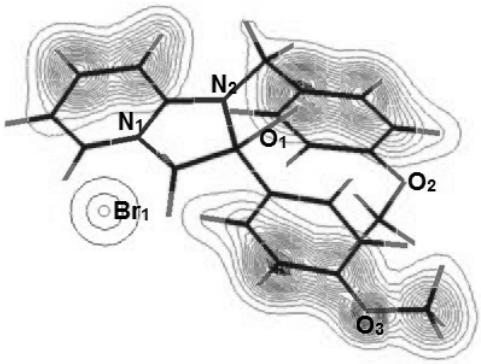
Эффективные заряды на атомах активных центров БИП

Эффективный заряд	БИП-1	БИП-2	БИП-3	БИП-4	БИП-5	БИП-6
1	2	3	4	5	6	7
N^1	0,022458	0,048995	0,051165	0,022686	0,022506	0,026844
N^2	0,585149	0,558431	0,561997	0,587630	0,585702	0,573621
O^1	-0,295820	-0,273667	-0,276993	-0,296334	-0,295845	-0,293501
Ph^*	-0,587705	-0,345499	-0,441233	-0,590550	-0,553812	-0,726383
Ben^{**}	-0,470457	-0,421131	-0,434611	-0,476095	-0,477730	-0,673748
Pyr^{***}	0,037319	-0,076915	-0,071458	0,046767	0,047695	0,058967
$Ph^*+Ben^{**}+Pyr^{***}$	-1,020845	-0,843548	-0,947302	-1,019878	-0,98388	-1,341163

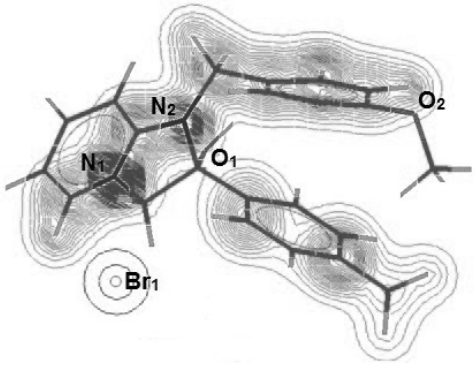
Ph^* – суммарный заряд на атомах, образующих ароматическую систему фенила;
Ben^{**} – суммарный заряд на атомах, образующих ароматическую систему бензила;
Pyr^{***} – суммарный заряд на атомах пиридина



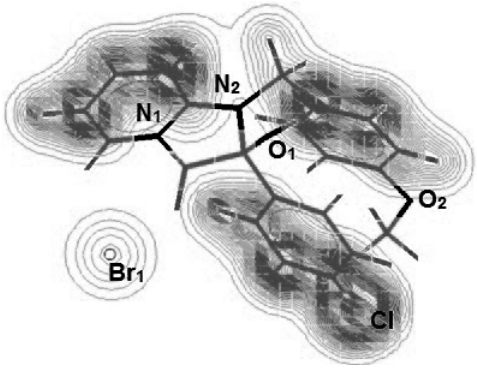
БИП-1



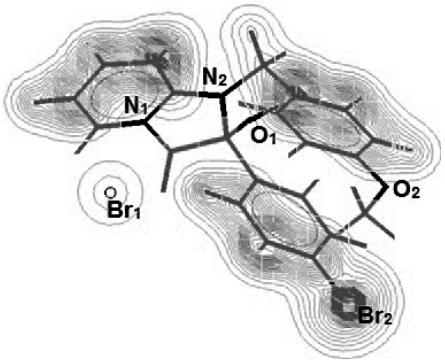
БИП-2



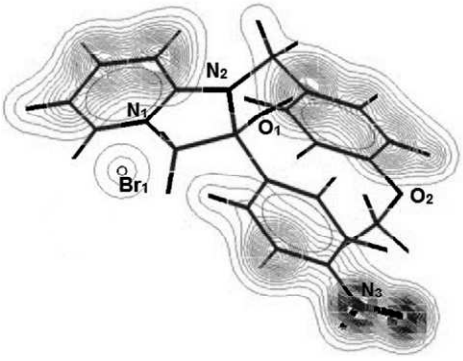
БИП-3



БИП-4



БИП-5



БИП-6

Рис. 1. Распределение электронной плотности на активных центрах молекул БИП-1–БИП-6

БИП-2 – БИП-5, производные БИП-1, содержат в своей структуре, как элетронодонорные заместители (σ_R = -0,240; -0,170), так и электроноакцепторные (σ_R = +0,227; +0,232). Все БИП-2 – БИП-5 проявляют противокоррозионную активность в 1,4–2,5 раз выше, чем БИП-1. БИП-6, содержащий в своей структуре заместитель с ярко выраженной электроноакцепторной природой, в 3,5 раза по γ, и в 1,1 раза по γ_c менее активен, чем БИП-1.

Для объяснения полученных результатов были рассчитаны эффективные заряды на атомах молекул БИП-1–БИП-6 (табл. 3).

Активными центрами конденсированных систем на основе имидазола могут быть пиррольный (N^1) и пиридиновый (N^2) атомы азота, бензольные ядра, гетероатомы [3; 5; 7].

Из табл. 3 видно, что введение заместителей в *пара*- положение фенильного кольца (БИП-2 – БИП-5) существенно не влияет на заряд пиридинового атома азота. На пиррольном азоте БИП-2, БИП-3 положительный заряд резко возрастает, однако взаимосвязь между величиной заряда на N^1 и противокоррозионной активностью БИП-2 и БИП-3 не прослеживается. Так, степень защиты *Z* БИП-2 не отличается от *Z* БИП-4, а Z_c у БИП-2 на 3 % ниже, по сравнению с БИП-4, при этом у БИП-4 заряд на пиррольном атоме азота в 2,3 раза меньше, чем у БИП-2, БИП-3 и практически не отличается от БИП-1. Противокоррозионная активность БИП-3 по Z не отличается от БИП-1, а по *Z* и Z_c меньше по сравнению с БИП-2. При этом заряд на пиррольном атоме азоте у БИП-3 не отличается от БИП-2.

Таким образом, изменение противокоррозионной активности БИП 2-6, полученных введением заместителей различной природы в *пара*- положение фенила БИП-1, не связано с изменением заряда на пиррольном и пиридиновом атомах азота.

Из рис. 1 видно, что введение заместителей в фенильное кольцо БИП-1, влияет на распределение электронной плотности ароматического ядра этого радикала. Однако суммарный заряд на атомах углерода фенила БИП-4 и БИП-5 (табл. 3) существенно не отличается от БИП-1, а противокоррозионная активность БИП-4 и БИП-5 по сравнению с БИП-1 возросла соответственно по γ в 1,3 раза, по γ_c в 2,5 раза (табл. 2).

Таким образом, явной закономерности между величиной общего заряда на атомах углерода фенила и противокоррозионной активностью БИП не прослеживается.

Анализируя результаты квантовохимических расчетов, можно проследить взаимосвязь между суммарным зарядом на атомах всех ароматических систем БИП-1– БИП-6 (фенильное, бензильное и пиридиновое кольца) и их противокоррозионной активностью. С увеличением суммарного заряда на атомах ароматических систем молекул БИП-2 – БИП-5 возрастает степень защиты от коррозии по сравнению с БИП-1; с уменьшение суммарного заряда на атомах ароматических систем БИП-6 (он составляет -1,341163 и в 1,3 раза ниже, чем у БИП-1) уменьшается его противокоррозионная активность (табл. 2).

Суммарный заряд атомов ароматических систем БИП-4 и БИП-5 не существенно отличается от БИП-1(табл. 3), но противокоррозионная активность этих соединений отличается в разы. Объяснить такое явление можно высоким по сравнению с БИП-1 суммарным зарядом на атомах пиридинового цикла у БИП-4 и БИП-5.

Адсорбция БИП, как любого поверхностноактивного вещества на твердом адсорбенте, носит конкурентный характер [8]. Для БИП применима классическая модель:

I стадия – электростатическая адсорбция молекул ингибитора на поверхности стали;

II стадия – вытеснение частиц ингибитора анионами фона из адсорбционного комплекса;

III стадия – образование прочных адсорбционных комплексов (в том числе металохелатных) молекулами БИП.

Указанная модель согласуется с экспериментальными и расчетными данными. Так, поверхность стали в растворе хлоридной кислоты (как и бактериальная клетка) заряжена отрицательно, поэтому повышение общего заряда атомов ароматических систем БИП

при высоком положительном заряде на пиридиновом цикле способствует более активному протеканию I стадии по сравнению с БИП-1 и, соответственно, быстрее будет протекать процесс образования адсорбционных комплексов. У БИП-6 эффективный заряд на атомах пиридинового цикла выше, чем у БИП-4 и БИП-5, однако общий эффективный заряд атомов всех ароматических систем молекулы намного отрицательнее, чем у БИП-1 – БИП-5, что и обуславливает невысокий противокоррозионный эффект БИП-6.

Выводы. При введении заместителей различной природы в *пара*- положение фенила бромида 1-(4-этоксибензил, 2-гидрокси, 2-фенилимидазо[1,2-а]пиридиния происходит перераспределение заряда во всех ароматических системах молекулы.

Определяющую роль в противокоррозионной активности бромидов производных 1-(4-этоксибензил, 2-гидрокси, 2-фенилимидазо[1,2-а]пиридиния играет суммарный эффективный заряд на атомах всех ароматических систем молекулы.

Увеличение общего эффективного заряда ароматических систем молекулы обуславливает увеличение противокоррозионной активности.

Список использованных источников

1. Защитные свойства некоторых конденсированных имидазол содержащих соединений в кислых средах / С. В. Грузнова, И. Н. Курмакова, А. М. Демченко [и др.] // Защита металлов. – 1992. – Т. 28. – № 6. – С. 1020-1023.

2. Новые производные имидазо[1,2-а]азепиния – эффективные ингибиторы кислотной коррозии / И. Н. Курмакова, С. В. Грузнова, А. М. Демченко и др. // Защита металлов. – 1994. – Т. 30. – № 5. – С. 550-551.

3. Челябиева В. Н. Ингибирующая и биоцидная активность бромидов имидазо [1,2-а] азепиния / В. Н. Челябиева, Н. В. Смыкун, И. Н. Курмакова // Защита металлов. – 2003. – Т. 39. – № 4. – С. 395-398.

4. Челябієва В. М. Температурно-кінетичний метод дослідження впливу величини гетероциклу на протикорозійну активність конденсованих систем / В.М. Челябієва, Н. В. Смикун, І. М. Курмакова // Вісник Черніг. держ. технол. ун-ту: зб. статей, 1995. – № 2. – С. 103-112.

5. Курмакова И. Н. Ингибирующее и биоцидное действие бромидов полиметиленимидазолиния / И. Н. Курмакова, С. В. Приходько, Н. В. Смыкун // Защита металлов. – 2003. –Т. 39. – № 4. – С. 399-402.

6. Четвертинні солі імідазопіридинію як синергічні добавки в захисні композиції на вторинній сировині / В. Г. Старчак, В. М. Челябієва, В. А. Чумаков [та ін.] // Хімічна промисловість України. – 1998. – № 4. – С. 51-55.

7. Курмакова И. Н. Ингибирующее действие бромида имидазоазепиния при кислотном травлении стали / И. Н. Курмакова, А. А. Королев, О. И. Сизая // Вісник Черніг. держ. технол. ун-ту: зб. статей. – 2011. – № 3 (51). – С.106-111.

8. Антропов Л. И. Теоретическая электрохимия / Л. И. Антропов. – М.: Высш. шк., 1969. – 512 с.

УДК 629.33:678-2

A.I. Burya, A.D. Derkach, O.Yu. Kuznetsova, A.A. Krivel
Dniepropetrovsk State Agrarian University, Dniepropetrovsk, Ukraine

APPLICATION OF CARBON PLASTIC BUSHES WITHIN FRICTION KNOTS OF TROLLEY-BUSES

Abstract. *It's well-known that in comparison with metal works, especially made of expensive nonferrous metals, carbon plastic parts have certain advantages both from technical and economical point of view. That's why further implemention of these parts in any subfield of engineering is of a great importance, since it allows possibility of recycling and saving huge industrial and financial funds. The most vivid example - production of carbon plastic bushings for pintles of front shaft instead of bronze ones for different models of trolley-buses: UMZ (Southern machine building factory, Ukraine); ZIU (Uritski's factory, Russia); SKODA (Czech Republic).*

Description of main material. Assortment of details from polymer composites (PC), and from carbon plastics (CP) in particular, is constantly extending and finding greater application in the areas of different directions: chemical industry, engineering, space industry [1]. The constant scientific search, perfection of technologies of producing PC and details from them allow to draw the latter out of the range of expensive specific ones to the range of inexpensive construction materials characterized by good physico-mechanical and tribotechnical properties [2]. This has become the reason for increasing the number of knots and mechanisms in which applying PC instead of traditional antifriction materials (bronze, brass, alluminium alloys) is now possible. Depending on application and working conditions, thermoplastic or thermoreactive linking elements and various fibrous fillers: asbestos, boron, glass fibre, graphite, carbon, etc. are used as PC compounds. Results of the investigations held by the workers at the laboratory of polymer composites in DSAU (LPC) show, that one of the best fillers for thermoplastic and thermoreactive polymers working in the conditions of dry sliding friction is carbon fibres. Applying these fibres as a fillers provides for the greatest increase of wear resistance (by 30…40 times) and for the decrease of the coefficient of friction (by 2,5…4 times) [3]. CP that we have elaborated can work not only in low-and medium-loaded knots and agregates of various application, but can as well be used successfully in responsible friction knots working in hard exploitation conditions. That is why their introduction into any area of engineering is of an important significance, because this allows to realize wasteless ecologically friendly technologies and the same time, to save much at the account of expensive colour metals' exclusion from knots' construction.

High technical and service requirements made towards a car park in general, and to people transportation means in particular must be met not only by technical servicing in the process of exploitation but also by a car construction proper. Regular and qualified work of people transportation means depends to a certain extent on long-life and reliability of knots and agregates of each particular car. Within mobile conjunctions where there is sliding friction, bronze bushes are mainly used. Today this material cannot totally satisfy modern requirements because firstly, bronze in an expensive material; secondly, exploitation recourse of bronze bushes is limited; thirdly, their exploitation needs necessary lubrication with plastic materials. An alternative solution can be connected with exchange of bronze bushes for carbon plastic ones, which don't give way to, and are even advantageous in some indices over the properties of bronze. Some of the best ones in technico-economical and physico-mechanical properties for being applied within sliding friction knots are CP elaborated at LPC on the basis of alyphatic polyamide (TU U 00493675.002-98). Basic properties of CP of CPA-6-40 brand are cited in table 1.

The analysis of work of sliding friction knots and mobile conjunctions of trolley-buses produced by SEP (Southern Engineering Plant, Ukraine), PnU (Plant named after Uritsky, Russia), Shkoda, 14Tr (Czech Republic) has shown that in order to save material consume and to decrease costs of technical servicing, some of the knots in which there would be efficient to change bronze bushes for carbon plastic ones are bushes of front bridge kingbolt.

Table 1

Properties of carbon plastic CPA-6-40

Indices	Values
Density of a material, g / cm^3	1,17
Shock viscosity, not lower, kJ / m^2	35
Destructive tension at compression, MPa	166
Intensity of linear wear, 10^{-8}: - dry friction - at oil lubrication	 0,66 0,05
Coefficient of friction: - dry friction - at water lubrication - at oil lubrication	 0,23 0,03 0,01
Contraction at moulding, %	0,04…0,06

Two kingbolts of this knot possess 4 bronze bushes (БРАЖ9-4Л brand) which are in hard exploitation conditions. That is why before setting this CP in industrial testing withing the knot, there have been held its tribotechnical investigation, samples for which were produced by means of pressure moulding at temperature (533K), without further thermo-treatment.

Investigations were held in LPC on a friction disc machine according to the scheme "finger sample-disc". The disc was made from steel 45 tempered up to the hardness HRC 43…45, surface roughness made R_a = 0,16…0,32. Sliding velocity varied within a range of 1…2,5 m / sec at constant pressure of 0,4 MPa. Analysis of results of tribotechnical testing shows (fig.1), that stable of CP observed at the suggested regimes: no rapid leaps of temperature and coefficient of friction are observed, and, as it goes from the dependence, these indices show good correlation. At maximum sliding velocity (2,5 m / sec), the temperature within the contact zone does not exceed the value of 265 K, while resistance of this material as to Vicat (GOST 15088-69) makes 494 K. It is also necessary to note that friction was realized across the film of transfer, with its periodical removement. Hereby there has been revealed that the temperature within the contact zone at friction across the film is a little higher than that at friction without a film. This is connected with deterioration of heat elimination from the friction zone, for heat conductivity of a film is much lower than that of steel. In its turn, this leads to deterioration of heat dissipation from the contact zone and, consequently, to the growth of temperature within the contact zone, with simultaneous growth of the adhesion component of friction coefficient. However, this implies in no way on CP work in this exploitation regime. At friction track of 5000…7000 m and sliding of 1,5…2 m / sec slight increase coefficient was noticed, but as this phenomenon was short-time, it did not cause the temperature growth, and further the coefficient of friction was stabilized.

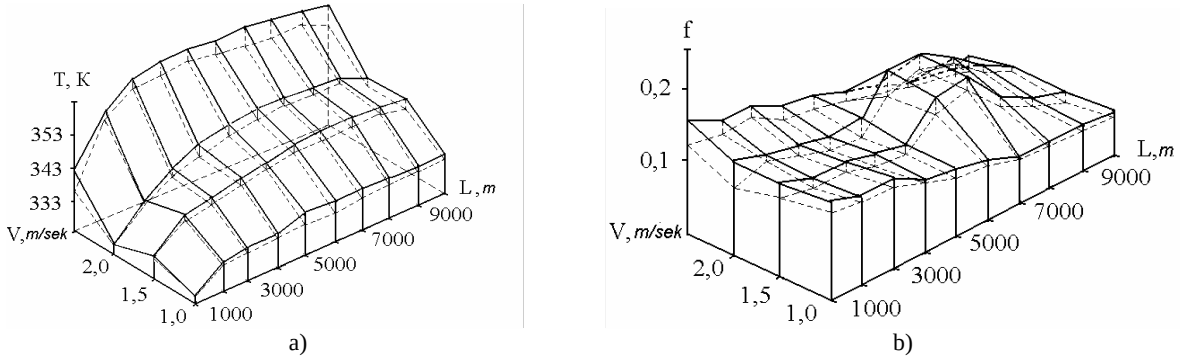


Fig.1. Dependence of temperature within the contact zone (a) and coefficient of friction (b) of CPA-6-40 across the film (–) and without a film (- - -) of transfer

At the same time at friction there was measured samples' weight on analytical scales VLA-200g-M. The results of weighing the samples show (table 2) that the wear varies within quite a small range and increases along with the growth of sliding velocity.

Table 2

Dynamics of wear of CPA-6-40, mg

Sliding velocity, m / sec	1,0	1,5	2,0	2,5
Value	0,3 / 0,5	0,7 / 0,7	0,86 / 0,33	1,66 / 0,63

Note: On the left of dash – wear across the film, on the right – without a film.

Hereby, it is necessary to concern that each test (at the same velocity and the friction track of 10000 m) was set twice in order to lower the errors, and the values of wear represent the total value for the friction track of 20000 m for each velocity.

In the process of tribotechnical tests there has been stated that CP elaborated at LPC can work at values of factor PV = 1,8 MPa· m/sec [4]. The material has shown good thribotechnical and stability properties satisfying the work within mobile conjunctions of trolley-buses' wheel mechanism.

That is why at the next stage of investigation there have been designed and produced the moulds for making bushes for trolley-buses of the mentioned above brands from CP by means of moulding under pressure. After moulding, bushes' dimensions were made repair ones by means mechanical treatment.

Experimental bushes underwent wide industrial testing in different countries from 1997 to 2000 during 7…11 months. Hereby the track of trolley-buses set with the given details made 26000…35600 km. In the process of exploitation the tested details either worked in the regime of dry friction or were lubricated with plastic lubricant solidole S-13.

The specific trait of investigations lay also in the fact that exploitation of tested details was held in different weather conditions: winter-spring-summer-autumn, which gave the opportunity to test the details at greater range of temperature, humidity, and therefore get more objective results.

Positive results of testing at plain tracks allowed to broaden them and hold them in mountainous regions of Crimea (Ukraine), according to the latest Testing Document from 13.02. 2001 held in "Krymtrolleybus" track of trolley-buses of 14tr brand set with tested bushes made from 23455 to 31349 km. Carbon plastic bushes are still in exploitation. There were no reprooves on the work and technical condition of front bridges' kingbolts' bushes exploitation period.

As to the prior results of investigations there has been stated that long-life of CPA-6-40 carbon plastic bushes in on average 1,2…1,6 times higher, and its cost 2…2,3 times lower in comparison to bronze ones used in serial industry.

This gave an opportunity to start introducing carbon plastic bushes in many trolley-bus depots of Ukraine and Russia.

In the process of long-term resource testing there arose the problem of utilizing the worked-out details. Taking into consideration the fact that the considered CP are thermoplastics and can therefore be retreated many times, it is of use to turn rejected details, as well as flow gates and wastes back for retreatment. Taking it into consideration that – as it has been noted – CPA-6-40 details are set in responsible friction knots, it is necessary to know exactly to which degree their physico-mechanical properties change at further retreatment. If the change of properties insignificant, not only the proper cost of production will become lower, but also one of important problems of realizing resource-saving ecologically friendly wastless technology will be solved. Actually, at introducing such a technology of production only that part of material is lost which is really the product of a detail's wear.

At solving the set task, one of the stages of laboratory investigations was to define shock viscosity as to Sharpy (GOST 4647-80) of the given CP after first, second and third retreat-

ment. Testing samples (dimensions 4×6× 50 mm) were produced by means moulding under pressure, within the temperature range from 513 to 543 K.

Table 3

Influence of temperature on shock viscosity, kJ/m^2

Treatment	Temperature, K			
	513	523	533	543
First	41,6	36,1	42,2	33,6
Second	39,2	33,2	35,7	34,4
Third	43,2	41,6	44,3	42,6

The analysis of obtained data (table 3) testifies to the fact that the highest shock viscosity after the first treatment is observed at the temperature of moulding of 533 K, after the second one 513 K. In the first case shock viscosity of samples after the second treatment turned to be lower than after the first one 15%, and in the second case – by 7,l %. After the third treatment the opposite situation is observed: shock viscosity increases in the range from 41,6 to 44,3 kJ/m^2 and copies dependence curves of CPA shock viscosity after the first and second treatments. It is quite clear that the growth of shock viscosity after the third treatment is connected with "sewing-up" of the linking element, for multiple temperature affects and mechanic destruction cause it to some extent.

At defining heat stability of tested CP as to Vicat is has been revealed that it decreases to 482 K after the second treatment and 452 K after the third one, which is lower in comparison to the first treatment by 2,5 and 8,5 % correspondingly.

The results of thribotechnical testing have shown that after the second treatment the material keeps working at the value of factor PV=1, and after the third one – at PV = 0,8 MPa·m/sec. However, at friction of samples made after the third treatment, there is observed instable material condition revealed in varying of friction coefficient and the temperature within contact zone, as well as in poor correlation between these factors.

So, we can draw to a conclusion that after the second treatment the materials properties decrease on average by 8,5 % which is permissible. That is why it is of use to apply it within the observed friction knot of trolley-buses.

Significant decrease of thermophysical and tribological properties of this CP after the third treatment testify to the possibility of using such a material within low-and medium-loaded friction knots (e.g., glass-care bush, etc.).

Conclusion. Thus, the held laboratory and broad industrial tests of the elaborated CP have shown that this material can work in hard working conditions both with lubricant and without it, going instead of expensive colour metals. Also, introducing this material allows to realize a resource-saving ecologically friendly wastless technology.

References

1. Polymers / Ceramics // Advanced Materias And Processes, Vol. 149, № 1, 13 (1996).

2. Burya A.I., Chigvintseva O.P., Kholodilov O.V., Sytar V.I. Thermoplastic Carbon Plastic – Perspective Materials For Motor Industry // Automotive Tehnology For Better Quality of Life, JUMV-SP-9901 – Science and Motor Vehicles `99, 55-57,1999.

3. Burya A.I., Prihod'ko O.G. The modifying of phenilons // Composits polymeric materials, 1981, issue 9, p.25-28.

4. Burya A.I., Burya A.A., Cherepov S.A., Rybak T.I. Tribological characteristics of carbon plastics on the basis of polyamide // Journal of the Balkan Tribological Association, Vol. 2, № 3, 153-160 (1996).

РОЗДІЛ ІІІ. ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ І АВТОТРАНСПОРТУ

УДК 629.033

М.В. Міщенко, канд. техн. наук
О.М. Міщенко, студент
Чернігівський державний інститут економіки і управління, м. Чернігів, Україна

ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНА СХЕМА ГІБРИДНИХ МАРШРУТНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ З КОМП'ЮТЕРНИМ КЕРУВАННЯМ

Запропоновано електрогідравлічну схему гібридних транспортних засобів загального користування з комп'ютерним керуванням, яка дозволить більш ефективно використовувати пальне і таким чином зменшити шкідливі викиди в повітря.
Ключові слова: *двигун внутрішнього згоряння, гідроакумулятор, комп'ютер.*

Предложено электрогидравлическую схему гибридных транспортных средств общего пользования с компьютерным управлением которая позволит более эффективно использовать топливо и таким образом снизить вредные выбросы в воздух.
Ключевые слова: *двигатель внутреннего сгорания, гидроаккумулятор, компьютер.*

Suggested Electohydraulic scheme of hybrid itinerary means of transportation for general usage with computer operation will make it possible to use fuel more effectively and decrease harmful gush out.
Keywords: *internal-combustion engine, hydroaccumulator, computer.*

Постановка проблеми. Однією з найбільш значимих складових екосистеми міст є чистота повітря.

Загальний рівень забруднення повітря в містах України оцінюється спеціалістами як дуже високий. У повітряному басейні міст може бути більше двох десятків різних шкідливих домішок. Більше всього серед них диоксиди сірки, окиси вуглецю, диоксиди азоту та інші.

Головним забруднювачем повітря, за даними департаменту екологічного контролю Міністерства охорони навколишнього середовища України, є автотранспорт.

Наприклад, у місті Києві автомобільний транспорт виробляє 83,4 % усіх шкідливих викидів в атмосферу. Велика кількість автомобілів працює як на низькооктанових, так і на високооктанових марках бензину, в які домішуються потужні концерогени – тетраетилсвинець та 3-4 бензпірен. Відпрацьовані гази автомобілей особливо шкідливі для здоров'я, тому що викиди здійснюються безпосередньо в зону місцезнаходження людей – у безпосередній близькості від тротуарів у зоні активного пішохідного руху.

Висока концентрація диоксиду азоту в повітрі міста Києва, за даними спеціалістів центральної геофізичної обсерваторії Міністерства з питань надзвичайних ситуацій, вища за норму більш як у два рази, а в літній період може підвищуватись до п'яти, шести раз – за рахунок більшого скупчення автомобілів і визначених природних умов.

У певні періоди, коли метеороологічні умови сприяють накопиченню шкідливих речовин у повітрі, концентрація шкідливих домішок може різко підвищуватись – виникає смог.

Аналізи забруднення повітря (за 20 показниками) свідчать, що найбільше всього повітря забруднено з березня по серпень місяць, при цьому пік приходиться на травень – червень місяць.

Приблизно 80 % автомобілів експлуатується більше восьми років, тому вони не мають спеціальних засобів для нейтралізації шкідливих речовин.

Існує декілька засобів економії пального, наприкад, використання гібридних транспортних засобів і, як наслідок, зменшення забруднення повітря.

Виклад основного матеріалу. Пропонується електрогідравлічний засіб економії пального для гібридного маршрутного транспортного засобу загального користування з комп'ютерним керуванням.

Схема (рис.) включає: двигун внутрішнього згоряння 1; коробку перемикання передач 2 з датчиком положення важеля керування коробкою передач 5; електромуфту трансмісії 3; датчик обертання привідного вала 4; привідний вал 6; редуктор задніх ведучих коліс 7; ведучі колеса 8; гідробак 9; гідравлічний фільтр 10; зворотній клапан 11; запобіжний клапан 12; люльку гідронасосу 13; плунжера 14; кардан 15; корпус гідронасосу 16; важіль керування гідронасосу 17; реверсивний електродвигун 18; редуктор 19; електромуфту двигуна 20; зворотній клапан 21; гідроакумулятор 22; мембрану гідроакумулятора 23; ємність для стиснутого газу 24; датчик кількості гідрорідини 25; зворотній клапан 26; електрогідравлічний перемикач 27; регульований дросель 28; гідромотор 29; електромуфти гідромотору 30; редуктора передніх ведучих коліс 31; передніх ведучих коліс 32; зворотного клапана 33; важелі гальмівної системи 34; важелі керування постачанням палива 36; бортовий комп'ютер 36; інформаційне табло 37.

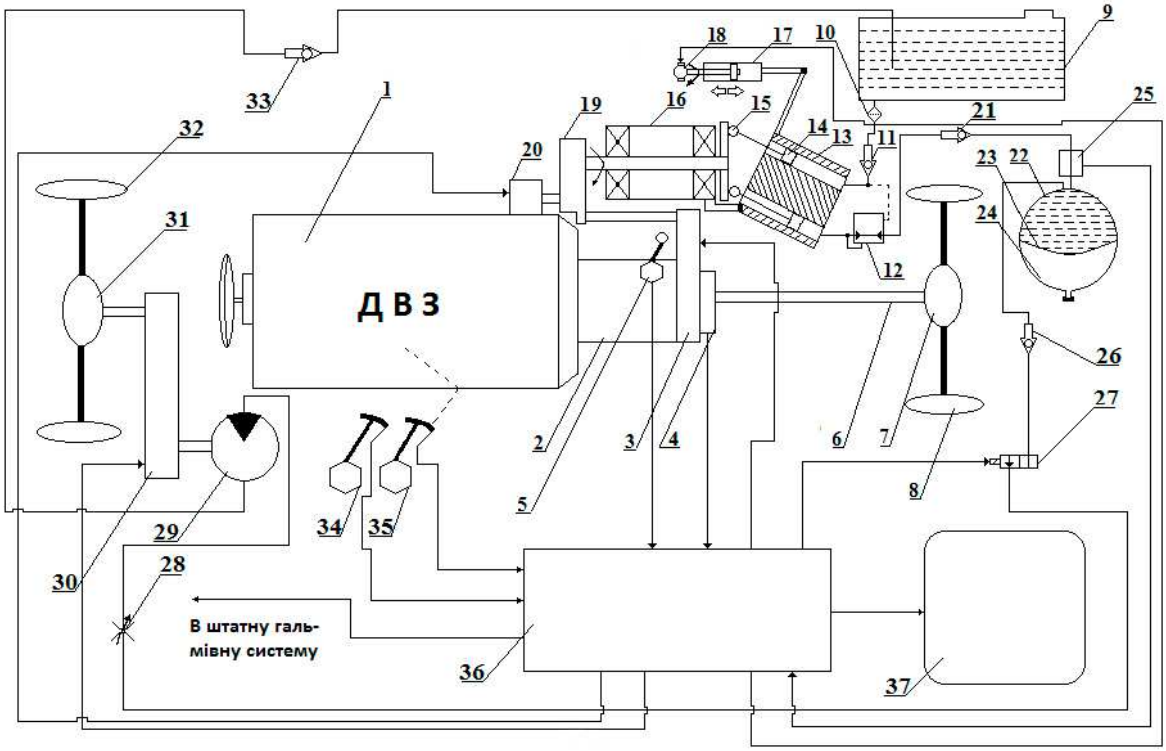


Рис. Схема електрогідравлічного економії пального для гібридного маршрутного транспортного засібу

Під час експлуатації транспортного засобу не вся хімічна енергія палива, яка потім перетворюється в механічну енергію, витрачається для корисної дії, наприклад:

– рухаючись містом маршрутний транспортний засіб вимушений часто гальмувати в різних випадках, внаслідок натискування на важіль гальма механічна енергія витрачається і розсіюється в навколишньому середовищі за рахунок нагріву гальмівних пристроїв;

– під час гальмування двигуном механічна енергія витрачається на механічне тертя як у двигуні, так і в трансмісії;

– під час зупинки маршрутного транспортного засобу для посадки, або висадки пасажирів, то двигун продовжує працювати на холостих обертах, і при цьому також частково марно витрачається енергія.

Зменшення нераціональної витрати палива можливо досягти таким чином.

До двигуна внутрішнього згоряння 1, через пристрій відбору потужності й електромуфту двигуна 20, редуктор 19 з одного боку, приєднаний корпус поршневого гідравлічного насосу роторного типу керованої продуктивності 16. Продуктивність гідронасосу

керується за допомогою реверсивного електродвигуна постійного струму 18 і важеля керування гідронасосу 17, який може переміщатися зворотньо в горизонтальному напрямі, до якого шарнірно приєднана люлька 13. Від кута нахилу люльки 13 залежить продуктивність гідравлічного насосу, чим більший кут нахилу люльки гідронасосу 13, тим більший хід плунжерів 14, і як наслідок підвищення продуктивності гідронасосу, які за рахунок карданного з'єднання 15 прикріплені до корпусу гідронасосу 16.

З другого боку редуктора 19 корпус гідронасосу 16 приєднаний через електромуфту 3, датчик обертання привідного вала 4, привідний вал 6, редуктор заднього ведучого мосту 7 з ведучими колесами 8.

Під час плавного натискання на важіль гальма 34, сигнал (причому сигнал змінюється залежно від зусилля на важелі гальма) поступає в бортовий комп'ютер 36, де оброблюється і видає керуючі імпульси на включення електромуфти трансмісії 3 і включення електромуфти двигуна внутрішнього згоряння 20, завдяки таким діям двигун внутрішнього згоряння від'єднується від трансмісії і в роботу вступає через редуктор 19, гідронасос 16.

Енергія, яка приводить у дію гідронасос 16, через редуктор 19 спрямовується за двома напрямками: перший напрямок – за допомогою трансмісії. Датчик обертів привідного вала 4, механічно через трансмісію з'єднаний з ведучими колесами 8 і видає сигнали також у бортовий комп'ютер 36. У бортовому комп'ютері 36 проводиться порівняння зусилля натискання на важіль гальма 34 і швидкість сповільнення транспортного засобу. Якщо швидкість сповільнення транспортного засобу замала, бортовий комп'ютер 36 подає керуючий сигнал на включення реверсивного електродвигуна постійного струму18, який за допомогою з'єднання типу «гвинт – гайка» переміщує важіль керування гідронасосу 17 у бік збільшення кута нахилу люльки 13, чим збільшує хід плунжерів 14. Таким чином, збільшуючи продуктивність гідронасосу 16, збільшуються зусилля, які передаються від ведучих коліс 8 до гідронасосу 16. Якщо сповільнення транспортного засобу завеликі, то важіль керування гідронасосом 17 зменшує кут нахилу люльки гідронасосу і зусилля, які витрачаються на роботу гідронасосу 16, зменшуються – сповільнення транспортного засобу збільшується.

Другий напрямок – за допомогою двигуна внутрішнього згоряння. Перед початком гальмування колінчатий вал двигуна внутрішнього згоряння і його складові обертались зі швидкістю і мали запас енергії. Для того щоб не втратити марно цей запас енергії через вал відбору потужності й електромуфту двигуна 20, при гальмуванні енергія направляється в редуктор 19. При цьому сигнал з важеля керування постачання паливом 35 також поступає в бортовий комп'ютер 36, де порівнюються й якщо оберти двигуна внутрішнього згоряння не відповідають положенню важеля керування постачання паливом 35, або падають нижче за оберти холостого ходу, сигнал з бортового комп'ютера 36 виключає електромуфту двигуна 20, таким чином від'єднуючи двигун внутрішнього згоряння від редуктора 19.

У випадку, коли сповільнення транспортного засобу проводиться без натискування на важіль гальма 34, сигнал з важеля гальма 34, сигнал з важеля керування постачанням палива 35, який також повинен знаходитися в початковому положенні і сигнал з датчика положення важеля керування коробкою передач 5 (коробка передач повинна бути ввімкнена) поступає в бортовий комп'ютер 36, де оброблюється і виробляються керуючі імпульси для електромуфти двигуна внутрішнього згоряння 20 і електромуфти трансмісії 3, за допомогою яких у роботу включається гідронасос 16, при цьому кут нахилу люльки 13 гідронасосу 16 робиться мінімальним, завдяки чому відбирається найменша енергія від транспортного засобу – сповільнення транспортного засобу проходить плавно.

У випадку, коли потрібне негайне гальмування, натискування на важіль гальма 34 збільшується, сигнал, який поступає в бортовий комп'ютер 36, змінюється. В бортово-

му комп'ютері 36 вироблюється сигнал, який вмикає в роботу не тільки гідронасос 16, люлька 13 якого відхиляється на найбільший кут, таким чином відбираючи не тільки максимальну енергію, а і штатну гальмівну систему.

Гідрорідина з гідробаку 9 через фільтр 10 і зворотній клапан 11 поступає до всмоктуючого отвору люльки 13 гідронасосу 16. З отвору тиску люльки 13 гідронасосу 16 гідрорідина під тиском через запобіжний клапан 12, зворотній клапан 21, датчик кількості гідрорідини 25 поступає по трубопровідах у гідроакумулятор 22.

Гідроакумулятор 22 призначений для накопичення гідравлічної енергії за рахунок стиснення газової порожнини гідроакумулятора 24 за допомогою маслостійкої мембрани 23. У газову порожнину 24, гідроакумулятора 22 через спеціальний отвір закачується під високим тиском газ. Газова і гідравлічна частини гідроакумулятора роз'єднані маслотривкою мембраною 23. Запасена таким чином енергія використовується за допомогою електрогідравлічного перемикача 27, який з'єднаний за допомогою трубопроводів і зворотного клапана 26 з гідроакумулятором 22. Керується електрогідравлічний перемикач 27 сигналом з бортового комп'ютера 36 і має два положення – включений, або виключений.

Сигнал з датчика кількості гідрорідини 25 направляється в бортовий комп'ютер 36, де опрацьовується і враховується під час вмикання гідромотору 29.

Під час початку руху маршрутного транспортного засобу бортовий комп'ютер 36 виробляє сигнал для електрогідравлічного перемикача 27 і електромуфти гідромотору 30, якщо в гідроакумуляторі 22 достатня кількість гідрорідини. Гідрорідина поступає через електрогідравлічний клапан 27, регульований дросель 28 в гідромотор 29.

Гідромотор 29 через електромуфту гідромотору 30 з'єднується з редуктором передніх ведучих коліс 31 і крутний момент передається від гідромотору 29 на передні ведучі колеса 32.

Таким чином, енергія, яка була відібрана під час гальмування, направляється зворотньо в транспортний засіб.

Якщо недостатня кількість гідрорідини в гідроакумуляторі 22 для роботи гідромотору 29, сигнал з бортового комп'ютера 36 не надходить в електрогідравлічний перемикач 27 і електромуфту гідромотору 30, гідрорідина не поступає в гідромотор 29, про що сповіщає інформаційне табло 37.

Відпрацьована гідрорідина з гідромотору 29, через зворотній клапан 33 спрямовується в гідробак 9.

Потужність насосу необхідно обирати з врахуванням втрати кінематичної енергії, віднесеної на час t зупинки автомобіля:

$$m\frac{V_1^2 - V_0^2}{2 \cdot t} = N,$$

де m – маса транспортного засобу, кг; V_1^2 – швидкість на початку гальмування, м/с; V_0^2 – швидкість у кінці гальмування, м/с; t – час гальмування, с; N – потужність, Вт.

Потужність (N) гідравлічного насосу визначається як добуток його продуктивності (витрат Δp) на перепад тисків з урахуванням ККД.

Загальний ККД насосу визначається як добуток об'ємного, гідравлічного, механічного та орієнтовно становить 0,4 = 40 %.

Для Δp = 20 МПа = $2 \cdot 10^7$ Па та витратах Q = 4 л/хв $= \frac{4 * 10^{-3}}{60} = 0{,}6 * 10^{-4}\ \frac{м^3}{с}$

Таким чином, потужність $N = \Delta p \cdot Q = 1.2 * 10^3$ Вт зменшені (множені) на ККД.

Якщо знаходити потужність для інших обертів вала, то потрібно за механічною характеристикою насосу перейти на інші оберти від тих, що відповідають номінальній потужності.

Висновок. Наведена вище схема електрогідравлічного гібридного маршрутного транспортного засобу може бути використана і для інших транспортних засобів, які

працюють в умовах міста, де вагома частина енергії палива витрачається марно за рахунок необхідності зміни режимів руху та гальмування.

Список використаних джерел

1. Тракторы и автомобили / под ред. д-ра техн. наук, проф. В. А. Скотникова. – М.: Агропромиздат, 1983. – 440 с.
2. Бороденко В. А. Самолёт ТУ-134 / В. А. Бороденко, Л. В. Коломиец. – М.: Транспорт, 1972. – 366 с.
3. Кулініченко В. Р. Гідравліка, гідравлічні машини і гідропривід: підручник / В. Р. Кулініченко. – К.: Інкос, 2006. – 616 с.

УДК 629.33 (477)

А.В. Педорич, канд. пед. наук
Чернігівський державний інститут економіки і управління, м. Чернігів, Україна

ПІДСУМКИ ТА ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ АВТОТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ

У статті досліджено сучасний стан та подальші тенденції розвитку автотранспортної галузі України. Розкрито тенденції, кількісні та якісні показники розвитку автотранспортної галузі України. Подано зміни у виробництві, покупці автомобільного транспорту. Розглянуто концепцію Державної цільової економічної програми розвитку автомобільного транспорту на період до 2015 року.

Ключові слова: автомобільний транспорт, транспортні послуги, концепція розвитку.

В статье исследовано современное состояние и дальнейшие тенденции развития автотранспортной отрасли Украины. Раскрыто тенденции, количественные и качественные показатели развития автотранспортной отрасли Украины. Представлено изменения в производстве, покупке автомобильного транспорта. Рассмотрено концепцию Государственной целевой экономической программы развития автомобильного транспорта на период до 2015 года.

Ключевые слова: автомобильный транспорт, транспортные услуги, концепция развития.

The article deals with the current state and future trends in road transport industry of Ukraine. Trends, quantitative and qualitative development of road transport industry in Ukraine are revealed. Changes in production, purchasing road transport are represented. The concept of the state target economic program of road transport til 2015 is considered.

Keywords: road transport, transport services, concept development.

Актуальність проблеми дослідження. Транспорт є ключовою ланкою спеціально економічної системи держави і належить до стратегічно важливих галузей національної економіки. Без ефективної роботи цієї галузі неможливе подальше підвищення добробуту суспільства. Основні завдання транспорту – своєчасне, якісне та цілковите задоволення потреб галузей економіки та населення у перевезеннях, підвищення економічної ефективності його роботи [2]. Автомобільний транспорт є могутнім сектором української економіки, що обслуговує практично всі галузі господарства і всі верстви населення, сприяє розвитку транспортно-економічних зв'язків і якості життя населення. Керуючись цими положеннями, необхідно стимулювати фактори росту транспорту України, як необхідної умови розвитку держави.

Метою цієї статті є розгляд сучасного стану та подальших тенденцій розвитку автотранспортної галузі України.

Виклад матеріалу. Динаміка перевезення вантажів пов'язана з тенденціями у виробництві в базових галузях промисловості. Наразі розв'язання проблем економічного розвитку України є одними з перших завдань для нашої держави. Особливу увагу привертає транспортна інфраструктура, яка вже стала буденною темою для простого українця. Для розвитку економіки України важливим є підвищення ролі транспорту, що забезпечує життєдіяльність населення, розвиток економіки держави, збереження обороноздатності та можливість досягнення високих зовнішньоекономічних відносин країни. Транспортна система України представлена різними видами транспорту: залізничним, автомобільним, морським, авіаційним тощо.

Значна роль належить саме автомобільному транспорту. Автомобілі беруть участь у вантажообігу всіх галузей народного господарства, забезпечуючи доставку всіх видів сировини, матеріалів, товарів і обладнання на території України та за її межами. Розвиток галузей споживчої кооперації в умовах ринкових відносин безпосередньо пов'язаний з оптимізацією транспортного обслуговування. Від якості роботи автомобільного транспорту залежить перш за все:

– організація безперебійної торгівлі і задоволення потреб населення;

– рівень рентабельності торгівлі, громадського харчування, заготівель і виробничої діяльності;

– забезпечення необхідного обсягу товарообороту.

Сучасний етап розвитку економіки України відбувається під впливом кризової ситуації, що склалася у всьому світі. Це не може не відбитися на розвитку бізнесу в галузі транспорту та на українських підприємствах, що формують сектор малого та середнього бізнесу. Кризові тенденції призводять до зменшення малого та середнього видів бізнесу. Укладання договорів між українськими перевізниками й іноземними партнерами щодо надання послуг на міжнародні перевезення поступово скорочуються. Придбання та оновлення нового рухомого складу українських перевізників характеризується спадом обсягів перевезень та витіснення з ринку транспортних послуг іноземних перевізників. Проте кількість зареєстрованих автотранспортних засобів, які виконують міжнародні автомобільні перевезення, постійно зростає.

Порівняльна характеристика тенденцій розвитку за окремими видами транспорту наведено нижче у таблиці.

Таблиця

Питома вага окремих видів транспорту у загальному перевезенні вантажів, у %

Види транспорту	**Роки**				
	2000	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**
Всього, **зокрема**	100	100	100	100	100
Залізничний	17,2	26,7	24,3	24,1	24,3
Автомобільний	82,8	73,2	75,7	75,9	75,7
Авіаційний	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Незважаючи на кризові явища світової економіки, загалом сучасний період розвитку ринку транспортних послуг характеризується високою інтенсивністю. Водночас спостерігається наростання структурних змін за рахунок тенденцій глобалізації.

В Україні наявний достатньо розвинутий ринок автотранспортних послуг, які надають підприємства різних форм власності. Автотранспортні підприємства споживчої кооперації займають своє місце на ринку. Та транспортне обслуговування підприємств здійснює здебільшого залізничний і автомобільний транспорт, частину перевезень виконує також річковий, морський і повітряний транспорт. Близько 67 % перевезень здійснюють автомобілі, які належать транспортним організаціям споживчої кооперації. Економічна криза останніх років негативно вплинула на розвиток усіх галузей споживчої кооперації: зменшився товарообіг підприємств торгівлі та громадського харчування, випуск продукції на промислових підприємствах. Це негативно позначилося на розвитку автомобільного транспорту.

На сьогодні в галузі існує велика кількість проблем, які потребують негайного та першочергового вирішення. Насамперед, існування великого рівня зношеності основних засобів інфраструктурних об'єктів становить загрозу для виникнення аварійних ситуацій, а в кінцевому результаті до нестабільного функціонування економіки та національної безпеки країни. Поганий стан інфраструктурного сектору зумовлює низьку якість інфраструктурних послуг. Низька якість транспортної інфраструктури призводить до додаткових непродуктивних витрат, які фактично гальмують ріст реального

ВВП. При цьому інфраструктура як галузь економічної діяльності посідає досить важливе місце в економіці України, забезпечуючи приблизно 15 % ВВП [2, с. 238].

Протягом останніх років спостерігається велике скорочення кількості транспортних засобів у споживчій кооперації. Найбільш скорочено вантажні автомобілі, це призвело до зменшення вантажних перевезень. Простежується також тенденція до скорочення кількості пікапів, автобусів, спеціальних автомобілів.

В умовах роботи споживчої кооперації найбільш доцільним є використання автомобілів малої та середньої вантажопідйомності, оскільки саме вони забезпечують оптимальні розміри перевезень для невеликих торговельних, заготівельних, промислових підприємств споживчої кооперації. Але брак таких автомобілів змушує виконувати дрібно гуртові перевезення на автомобілях завищеної вантажопідйомності. Лише третя частина припадає на автомобілі малої та середньої вантажопідйомності з тих автомобілів, які зараз надходять [8, с. 85].

З точки зору кількісних показників автотранспортна галузь за останні роки демонструє позитивну динаміку та вселяє оптимістичні надії на розвиток цього сегмента економіки України. Автомобільний ринок України в 2011 році в цілому виріс на 30,8 % порівняно з 2010 роком.

За даними асоціації "Укравтопром", в Україні в 2011 році було продано 297,6 тис. нових автомобілів, з яких 212 тис. – легкових автомобілів (зростання 22,8 % порівняно з 2010 роком).

Ринок комерційних автомобілів в Україні в 2011 році виріс на 56,8 % (80,7 тис. автомобілів), а автобусів – на 40,3 % (4,6 тис. автобусів).

Згідно з повідомленням Держстату, виробництво автобусів в Україні в січні 2012 року збільшилося на 20,9 %, порівняно з аналогічним періодом 2011 року, до 185 штук, а виробництво вантажних автомобілів збільшилося в 5,1 раза – до 291 штуки.

Як повідомлялося, у 2011 році виробництво легкових автомобілів в Україні збільшилося на 29,5 %, порівняно з 2010 роком, до 97,5 тис. штук. Виробництво автобусів збільшилося на 40,4 % – до 3744 штук, а вантажних автомобілів – скоротилося на 36,4 %, до 3087 штук.

Найбільший в Україні виробник легкових автомобілів ПАТ «Запорізький автомобілебудівний завод» (ЗАЗ, м. Запоріжжя) в 2011 році збільшив випуск автомобілів у порівнянні з 2010 р. більш ніж на третину – до 60 862 штук.

Як повідомили УНІАН у прес-службі заводу, в січні-грудні 2011 року на ПАТ «ЗАЗ» було виготовлено 60 862 автомобілі, що на 33,86 % більше показника виробництва 2010 року, впродовж якого ПАТ «ЗАЗ» випустило 45 465 автомобілів.

Серед автомобілів, випущених Запорізьким автозаводом у 2011 році, 7 авто – ЗАЗ, 2 342 – ВАЗ, 24 086 – CHANCE, 8 394 – Sens, 10 850 – Lanos і 910 – Ланос-фургон. ЗАЗ Forza в 2011 році випущено 4 318 шт, А13 – 5 882, Chevrolet – 524, KIA – 2 957, ТАТА – 292. Також у січні-грудні 2011 р. ПАТ «ЗАЗ» випустило 300 автобусів.

За даними прес-служби заводу, експорт автовиробництва ПАТ «ЗАЗ» у 2011 році, в порівнянні з 2010 р., збільшився більш ніж на 40 %: з 21 717 до 30 590 автомобілів [4].

Найбільшими виробниками легкових автомобілів і автобусів в Україні є Корпорація «УкрАВТО» («ЗАЗ»), Корпорація «Богдан», «Єврокар», Корпорація «АІС» («КрАСЗ»), Корпорація «Еталон» («Чернігівський автозавод» і «Бориспільський автозавод ») та ін. [7].

Гарні перспективи у порівнянні з минулими роками може продемонструвати 2012 рік. Так ПАТ "АвтоКрАЗ" (Кременчук, Полтавська обл.) в 2012 р., порівняно з 2011 р., має намір збільшити випуск автомобілів в 2 рази – до 2 тис. 142 шт, а реалізувати 2 тис. 350 автомобілів. Як зазначив під час зборів акціонерів підприємства перший заступник генерального директора підприємства Ігор Фоменко: "У 2012 р. ми плануємо

збільшити виробництво в два рази. Продати хочемо 2 тис. 350 автомобілів, з них 350 – абсолютно нова техніка, над якою працюють конструктори".

За січень-квітень послугами пасажирського транспорту скористалися 2,2 млрд пасажирів [3].

Україна займає одне з перших місць у Європі по своєму транзитному потенціалу, що свідчить про необхідність розробки й проведення ефективної транспортної політики в державі. Коридор № 5 від Києва до Трієста вважається важливим для автодорожніх і залізничних інфраструктур, що має широкі можливості: розвитку всіх галузей логістики протягом усього коридору, розміщення центрів виробництва вздовж найважливіших транспортних шляхів і перенесення основного обсягу робіт з діючих портових центрів на сході Середземномор'я в Київ шляхом організації великого мультимодального логістичного центру на євразійській території [6].

Ріст показників розвитку транспорту спостерігається й на території Чернігівської області. Так, перевезення вантажів автомобільним транспортом зріс з 12027 тис. тонн у 2009 році до 12432 тис. тонн у 2010 році. Таким чином, ріст склав 3,4 %. Вантажооборот автомобільного транспорту збільшився з 1010,2 млн. т/км, до 1201,2 млн. т/км (на + 18,9 %). Збільшилася наявність автомобільного транспорту в Чернігівській області, з них на 117 автобусів (+3,1 %) та легкових автомобілів 1446 (+1,3 %). За січень-квітень 2012 року ріст пасажирських перевезень автомобільним транспортом зріс на 7 % по відношенню до відповідного терміну 2011 року.

Орієнтовний обсяг фінансування Програми розвитку автомобільного транспорту в Україні на період до 2015 р. становить 57 млрд 900 млн. грн, у тому числі за рахунок державного бюджету – 2 млрд 500 млн. грн, інших джерел – 55 млрд 400 млн гривень. Про це повідомили в Міністерстві інфраструктури України.

Фінансування програми здійснюється за рахунок державного бюджету, а також інших джерел, не заборонених законодавством.

Нагадаємо, Кабінет Міністрів України 3 серпня 2011 року на засіданні затвердив концепцію Державної цільової економічної програми розвитку автомобільного транспорту на період до 2015 р. Дотримання концепції Державної цільової економічної програми розвитку автомобільного транспорту на період до 2015 р. та чітке виконання програми дозволить оновити рухомий склад автотранспорту загального користування на пасажирському транспорті не менш ніж на 35 %, а на вантажному автотранспорті – до 30 %. Для перевізників будуть створені рівні умови сплати податків незалежно від форми власності, кількості автомобілів, найманих працівників тощо. Крім того, перевізники не залежатимуть від державних субвенцій за безкоштовне перевезення пільговиків, що діє нині, оскільки Концепцією передбачено адресну виплату коштів громадянам, які користуються правом на пільговий проїзд.

У Концепції закладено виконання окремих заходів, що дозволять знизити аварійність на автомобільному транспорті загального користування до 30 %. Такого показника планується досягти за рахунок зменшення кількості нелегальних перевізників, впровадження нових технологій, серед яких – інтелектуальні транспортні системи, безготівкові розрахунки за перевезення пасажирів, а також забезпечення обладнання транспортних засобів тахографами та іншими засобами диспетчерського контролю за режимом руху та графіком роботи й відпочинку водіїв [9].

Питання стабільної роботи пасажирського автомобільного транспорту, організації пасажирських автоперевезень, підвищення їх безпеки та якості на сьогодні набули особливої актуальності. Для їх вирішення дорученням голови Чернігівської облдержадміністрації створено робочу групу щодо розробки проекту Стратегії розвитку пасажирського автотранспорту на період до 2015 року. До її складу ввійшли представники відпо-

відних структурних підрозділів ОДА, управління транспорту та зв'язку Чернігівської міської ради, Асоціації перевізників, контролюючих органів, громадських організацій, депутати обласної ради та підприємці.

Під час обговорення проекту Стратегії члени робочої групи озвучили цілу низку пропозицій, які стосувалися пільгових та нелегальних перевезень, шляхів розвитку електротранспорту, моніторингу мережі пасажирських перевезень, якості та доступності послуг, оновлення пересувного складу тощо.

Учасники засідання зауважили, що проект Стратегії потребує доопрацювання з урахуванням пропозицій як перевізників, так і пасажирів та контролюючих органів.

Висновок. Таким чином, розвиток транспорту України та однієї з головних його складових – автомобільного транспорту – є питанням державної ваги та сприяє розвитку економіки та суспільства нашої держави в цілому. Розгляд сучасного стану та подальших тенденцій розвитку автотранспортної галузі України показав, що незважаючи на кризові явища в економіці світу, на Україні автомобільний транспорт демонструє позитивні тенденції з багатьох показників. А увага керівників держави підтверджує стратегічне значення галузі.

Список використаних джерел

1. Про Комплексну програму утвердження України як транзитної держави у 2002-2010 роках: Закон України // Відомості Верховної Ради України. – 2002. – № 24. – Ст. 166.

2. Гудима Р. Р. Проблемні аспекти розвитку транспортної інфраструктури України / Р. Р. Гудима // Проблеми і перспективи розвитку національної економіки в умовах євроінтеграції та світової фінансово-економічної кризи; МФУ, БДФА та ін. / гол. ред. В. В. Прядко. – Чернівці, 2009. – С. 238-239.

3. Державний комітет статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.ukrstat.gov.ua.

4. ЗАЗ в 2011 році збільшив випуск автомобілів на 34 % [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://economics.unian.net/ukr.

5. Еремина Л. В. Логистика как услуга транспортно-экспедиторских компаний / Л. В. Еремина, В. В. Медников // Логистика. – 2006. – № 6. – С. 54-56.

6. Європейська спілка транспортників України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.estu.com.ua.

7. Климова І. Г. Розвиток логістичного управління на промислових підприємствах / І. Г. Климова // Економіка і держава. – 2006. – № 9. – С. 49-51.

8. Мягких І. М. Роль і місце автомобільного транспорту в системі споживчої кооперації та напрями покращення транспортних послуг в Україні / І. М. Мягких // Актуальні проблеми економіки. – 2009. – № 7. – С. 71-75.

9. На розвиток автомобільного транспорту України до 2015 р. передбачено 57,9 млрд. грн [Електронний ресурс]. – Режим доступу: Новини РБК-Україна.htm.

10. Сабриченко А. Шляхи та заходи залучення іноземних інвестицій у дорожнє господарство України / А. Сабриченко // Держава та регіони. – 2009. – № 6. – С. 184-188.

УДК 621.923.42

А.В. Рудик, канд. техн. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ТОВЩИНИ ЗРІЗУ З ТЕМПЕРАТУРОЮ ТОРЦЕВОГО ШЛІФУВАННЯ ПІД ЧАС ВРАХУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ

Розглянуто питання визначення товщини зрізу та температури шліфування під час зміни як теплофізичних характеристик, так і технологічних. Методика передбачає проводити розрахунки температури з врахуванням дії окремих зерен як теплових джерел різної інтенсивності, що дозволить враховувати зміну робочого стану поверхні круга в процесі обробки.

Температура шліфування залежить від умов обробки та може досягати значень близьких до температур структурних перетворень, що викликає появу тріщин поверхневого

шару та втрату правильної геометричної форми. Тому велику кількість наукових праць присвячено визначенню температури як експериментальним, так і розрахунковим методами. В той же час, у науковій літературі відсутні загальні моделі для одночасного врахування товщини зрізу та локальної температури шліфування. Особливо це стосується випадку теплонапруженого процесу обробки торцем кругу.

Метою цієї статті є побудова спільної математичної моделі щодо визначення товщини зрізу та температури торцевого шліфування з врахуванням змінних технологічних та теплофізичних факторів.

Для досягнення вказаної мети необхідно вирішити такі завдання:

1) скласти аналітичні моделі зміни швидкості підведення припуску та товщини зрізів по ділянках торцевої поверхні круга, локальної температури з врахуванням довільної кінематики процесу та зміни опору сталі пластичному деформуванню, а також технологічних факторів;

2) визначити питому потужність теплових джерел, які створюють різальні зерна;

3) скласти алгоритм рішення, виконати розрахунок, проаналізувати отримані дані.

Одновимірну схему дії джерел отримують у площині обертання інструмента. Спрощено одновимірну теплову модель процесу шліфування можна представити у вигляді умовно виділеного у півпросторі деталі $\boldsymbol{x \geq O}$ стержня з поперечним перерізом меншим розмірів зерна, що підходить до зони обробки зі швидкістю кругової подачі V_∂. Положення його торця по осі X змінюється за часом та визначається траєкторією руху зерен. Теплові імпульси різної інтенсивності теплового потоку залежно від товщини зрізу впливатимуть на зміну фізико-механічних властивостей, у функції температури на торці. Вказана задача є нестаціонарною, що потребує визначення послідовної дії декількох теплових джерел – зерен.

У варіаційній постановці задача нестаціонарної теплопровідності може бути представленою у вигляді функціоналу [9]

$$\chi=\frac{1}{2}\int_V\left[\lambda_{xx}\cdot\left(\frac{\partial\Theta}{\partial x}\right)^2-2\cdot\left(Q-C_v\cdot\frac{\partial\Theta}{\partial t}\right)\cdot\Theta\right]dV+ \\ +\int_{S_1}q\cdot\Theta\cdot dS+\int_{S_2}\frac{h}{2}\cdot\left[\Theta-\Theta_c\right]^2\cdot dS, \tag{1}$$

де Θ_c, Θ – температури навколишнього середовища та їх функція по об'єму заготовки V; λ_{xx} – коефіцієнти теплопровідності матеріалу заготовки; h – коефіцієнт, який характеризує конвективний теплообмін від поверхні S_2 заготовки; Q – потужність теплових джерел; C_v – об'ємна теплоємність; q – густина теплового потоку, яка характеризує швидкість підведення теплоти або температурний градієнт; τ – час.

Наведений функціонал одним рівнянням враховує як теплофізичну суть, так і граничні та початкові умови. Для остаточного рішення задачі він потребує мінімізації за рахунок диференціювання його по вектору вузлових температур [Θ].

Умова стаціонарності функціоналу приводить до матричного лінійного звичайного диференційного рівняння першого порядку

$$[C]\cdot\frac{[\Theta]}{dt}+[\Lambda]\cdot[\Theta]=[\Phi], \tag{2}$$

З урахуванням відомих спрощень вираз правої схеми може бути представленим у зручному для машинної реалізації вигляді матричного рівняння [9]:

$$[\Theta]=\left[[\Lambda]+\frac{1}{\Delta t}\cdot[C]\right]^{-1}\cdot\left[\frac{1}{\Delta t}\cdot[C]\cdot[\Theta_0]+[\Phi]\right], \tag{3}$$

де квадратні матриці загальної теплопровідності [Λ] та теплопровідності [C] розміром n×n складено методом «прямої жорсткості» з відповідних матриць скінченних елементів кількістю n-1. Вектор [Φ] дії теплових сил прикладений через інтервал часу ΔT між сусідніми зернами у вузлі, розташованому на торці стержня; $[\Theta_0]$, $[\Theta]$ – вектори температур вузлів системи у моменти часу початковий та через інтервал Δτ.

Таке рівняння нестаціонарного процесу шліфування можна розглядати як комбінацію методів скінченних елементів, побудованого на просторовій сітці, та кінцевих різниць для часової сітки. Воно дозволяє по кроках визначати вузлові температури [Θ] тіла, починаючи з початкової $[\Theta_0]$ (рис.1).

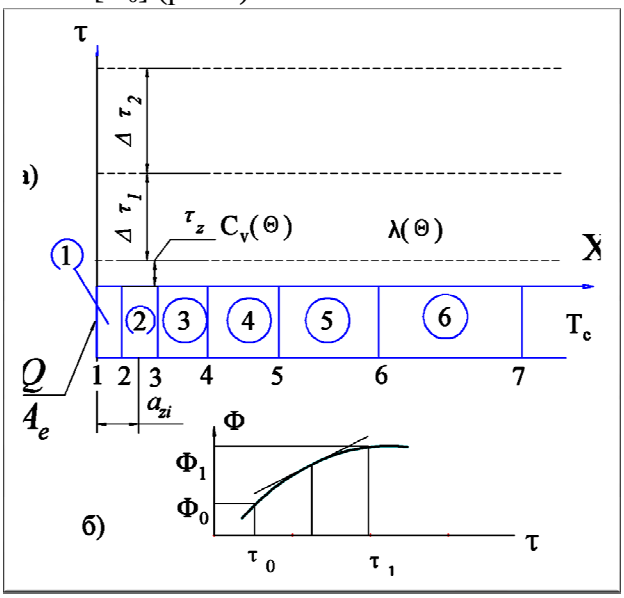


Рис. 1. Розрахункова схема щодо визначення температури шліфування

Температуру Θ, що визначає теплопровідність та теплоємність матеріалу елемента, визначають як середнє по вузлових значеннях.

Як показано в роботі [1], температура задньої поверхні різального леза викликана результатом дії трьох джерел теплоти (рис. 2):

- області пластичного застою (позиція 2), де утворюються бічне видавлювання стружки вздовж різальної кромки у вигляді «вуса», що дотикається до лінії зрізу на ділянці h_2;
- фаски зносу h_3 (позиція 3).

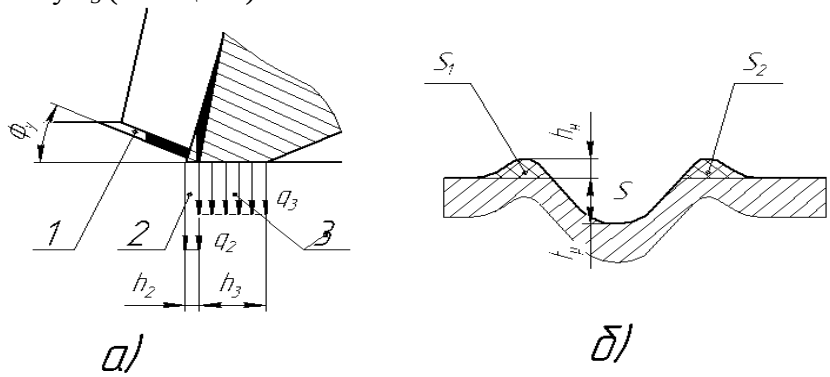


Рис. 2. Схема розподілення щільності теплового потоку: а) на задній поверхні інструмента та б) поперечний профіль шліфувальної риски

Подібна схема наведена в роботі [2].

На основі експериментальних даних про теплові потоки, отримані калориметричним методом, можна стверджувати, що врахування впливу джерела теплоти, розташованого на ділянках пластичної області застою, має принципове значення. Про його вплив на

процес шліфування говорить той факт, що поперечний профіль риски, утвореної під час мікрорізання та шліфування, має напливи по краях з підвищеною твердістю [7]. Таким чином, відбувається процес витіснення металу в поперечному напрямку. Розміри напливів по боках риски є меншими від товщини зрізу (рис. 2, б).

Отже, закон розподілення дії теплових джерел [1; 2] визначає їх потужність та може бути представлений або у вигляді двох джерел теплоти різної щільності на ділянці (h_1 – h_3), де діють на поверхні деталі, або вибраним середнім з урахуванням їх малих розмірів.

Складений алгоритм (рис. 3) та розроблена програма розрахунку, які побудовані з використанням подібних, що розроблені в роботі [2].

Дані по робочому стану круга та товщині зрізів, часу між ними були отримані в роботі [5]. Ці дані, у свою чергу, отримані на основі моделі робочої поверхні круга [8], описаної Л.М. Філімоновим, який враховує щільності розташування кромок по висоті; радіуси їх округлення та дані по кількості зерен, що розташовані на одиниці довжини або площі. Алгоритм містить вкладені цикли по часовій сітці, інтервалами меншими від часу дії сусідніх зерен та з врахуванням товщини зрізу та поділу зерен на ті, що ріжуть або деформують без зняття металу (рис. 3).

Результати розрахунків порівняно з тими, що отримані для торцевого шліфування. Характер залежностей та основні закономірності не суперечать між собою.

На цьому етапі уточнюються значення деяких величин: коефіцієнт тепловідведення, потужність джерел теплоти, частка теплоти від загальної кількості, що надходить до деталі під час контактування з різальними та деформуючими зернами.

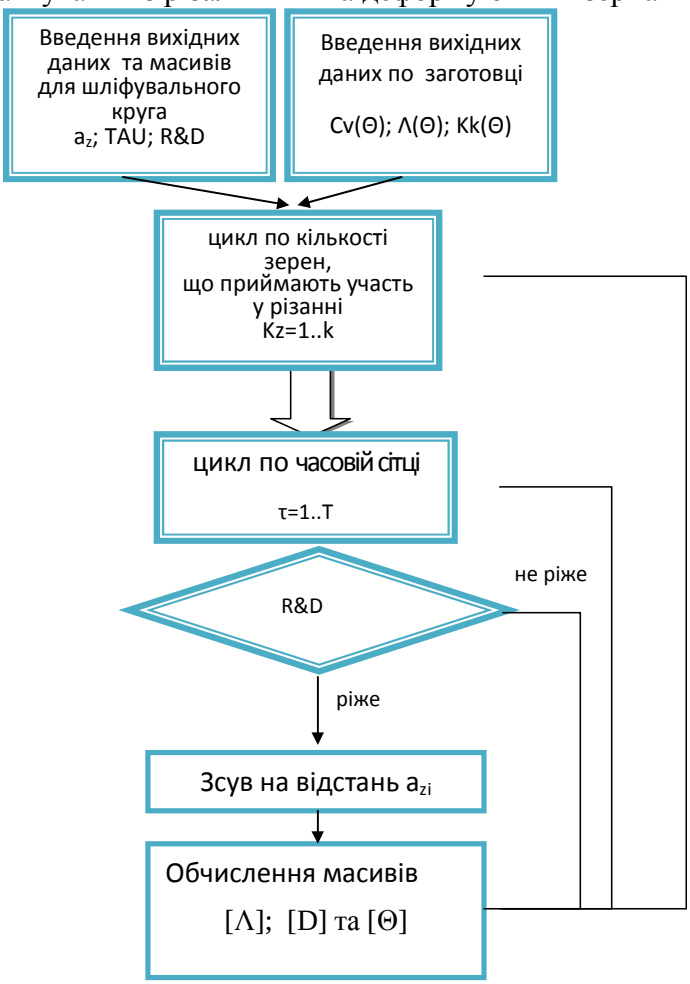


Рис. 3. Блок-схема розрахунку

Висновки. Розроблена методика дозволяє враховувати стан робочої поверхні круга, змінні технологічні та фізичні параметри. Вона не накладає обмежень на кінематику процесу шліфування та враховує закон розподілу товщини зрізу. Тому ця методика може бути використаною також для умов поздовжнього шліфування. Розроблений алгоритм та складена програма розрахунку температури шліфування, отримані попередні результати розрахунків, які добре узгоджуються з дослідними даними.

Аналізуючи результати розрахунків роботи, можна помітити, що температура стружки та доля тепла, яка відводиться з нею, значні. Вона містить частку теплоти верхнього шару від попередніх зерен, так і теплоту, що надходить з площини зсуву.

Розрахунок довів, що у результаті зменшення часу між контактами та внаслідок збільшення їх інтенсивності температура збільшується. Тому вона підвищується під час зростання швидкості різання та використанні кругів з дрібними зернами.

Під час збільшення швидкості шліфування час дії одного джерела зерна зменшується. Однак число зерен, їх інтенсивність збільшується, а глибина їх дії зменшується, що призводить до зростання температури шліфування.

Для круга із затупленими зернами збільшується їх радіус округлення, що підвищує час дії джерел, збільшується кількість тих, які контактують без зрізання матеріалу заготовки, що підвищує температуру. Тому теплота не відводиться зі стружкою.

Під час зростання глибин зрізів a_z збільшується доля теплоти, що відходить зі стружкою. Розмір припуску визначає загальний час дії джерел. Швидкість кругової подачі деталі впливає на загальний час контакту та товщину одиничних зрізів a_z.

Вимірювання температур проводилось у співпраці з іншими авторами для методу торцевого шліфування, що розроблена на базі установки верстата моделі 3342АДО. Розходження емпіричних та теоретичних результатів незначні та можуть у подальшому бути уточненими, наприклад, для залежностей потужності тепловиділень та частки теплоти, яка передається в заготовку різними групами зерен, що ріжуть або лише деформують метал.

Список використаних джерел

1. Васин С. А. Резание материалов. Термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании: учеб. для техн. вузов / С. А. Васин, А. С. Верещака, В. С. Кушнер. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. – 448 с.

2. Дубенець В. Г. Основи методу скінченних елементів: навчальний посібник / В. Г. Дубенець, В. В. Хільчевський, О. В. Савченко. – Чернігів: ЧДТУ, 2007. – 348 с.

3. Корчак С. Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей / С. Н. Корчак. – М.: Машиностроение, 1974. – 280 с.

4. Мазур М. П. Розробка теоретичних основ та практичне використання термомеханічної моделі обробки пластичних матеріалів: автореф. дис. … д-ра техн. наук / М. П. Мазур. – К., 1999. – 36 с.

5. Рудик А. В. Визначення товщини шару, що зрізується кромкою орієнтованого абразивного інструменту / А. В. Рудик // Вісник Чернігівського державного технологічного університету: збірник. – Чернігів: ЧДТУ, 2010. – Вип. № 42. – С. 128-136.

6. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов: пер. с англ. / Л. Сегерлинд; под ред. Б. Е. Победри. – М.: Мир, 1979. – 392 с.

7. Сипайлов В. А. Тепловые процессы и управление качеством поверхности / В. А. Сипайлов. – М.: Машиностроение, 1978. – 167 с.

8. Филимонов Л. Н. Высокоскоростное шлифование / Л. Н. Филимонов. – Л.: Машиностроение, 1979. – 248 с.

9. Шабров Н. Н. Метод конечных элементов в расчетах деталей тепловых двигателей / Н. Н. Шабров. – Л.: Машиностроение, 1983. – 212 с.

УДК 621.822.172:621.7.079

Д.Ю. Федориненко, канд. техн. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ПРОСТОРОВА ФУНКЦІЯ ТИСКУ НА ОПОРНИХ ПОВЕРХНЯХ РЕГУЛЬОВАНИХ ГІДРОСТАТИЧНИХ ОПОР

Визначено просторову функцію тиску в радіальних гідростатичних підшипниках з урахуванням неідеальної геометрії спряжених поверхонь. Розроблено методику чисельного аналізу функції тиску на опорних поверхнях підшипника.

Постановка проблеми. Ефективним шляхом підвищення точності, продуктивності процесів механічної обробки на верстатах є застосування прецизійних конструкцій регульованих шпиндельних гідростатичних опор (ГСО), які дозволяють керувати параметрами точності обертання шпинделя, якості обробки, забезпечують підвищення швидкохідності шпиндельних вузлів.

Основою для визначення реакцій мастильного шару, експлуатаційних параметрів підшипників ковзання є гідродинамічна теорія мащення і, насамперед, функція тиску на опорних поверхнях. Існуючі підходи до визначення функції тиску в ГСО мають недостатню точність, оскільки ґрунтуються на ідеалізації опорних поверхонь підшипника і не дозволяють визначати експлуатаційні характеристики опор при одночасному впливі геометричних відхилень і пружних деформацій спряжених опорних поверхонь підшипника. Це приводить до формування суттєвих похибок розрахунку і значно ускладнює обґрунтований вибір експлуатаційних параметрів опор, системи живлення, що знижує показники якості шпиндельних вузлів із ГСО.

Аналіз досліджень і публікацій. У роботах М.В. Коровчинського [1], О.І. Білоусова [2] оцінено вплив деяких похибок форми спряжених поверхонь на функцію тиску, несучу здатність, витрати рідини. Показано, що несуча здатність, момент тертя, витрата рідини істотно залежать від геометрії спряжених поверхонь навіть при незначних відхиленнях функції зазору від гармонійної складової.

У роботах В.В. Бушуєва [3], В.Д. Ковальова [4] показано, що деформації опорних поверхонь чинять шкідливий вплив на всі експлуатаційні характеристики ГСО.

Найбільш вичерпно задача врахування деформацій одночасно з геометричними похибками опорних поверхонь підшипників ковзання розглянута в монографії [5]. Відзначено залежність розподілу тиску на опорних поверхнях підшипника від ексцентриситету в опорі, тиску насоса, швидкості обертання вала, геометричних параметрів підшипника.

Слід також зазначити, що переважна більшість методик розрахунку ГСО базуються на розгляді одномірної течії Пуазейля, тому експлуатаційні характеристики опор визначаються на основі лінійних законів розподілу тиску між робочими поверхнями. Це припущення спричинює похибки розрахунків, що за даними роботи [4] сягають до 150 %, а при взаємному перекосі несучих поверхонь і більше.

Наявні в технічній літературі методики гідродинамічного аналізу не враховують деформацію гідростатичної втулки, що не припустимо для регульованих конструкцій ГСО.

Таким чином, розробка математичних моделей та методик аналізу просторової функції тиску в підшипнику з урахуванням неідеальної геометрії спряжених опорних поверхонь є актуальним завданням, вирішення якго дозволить підвищити точність розрахунку експлуатаційних характеристик ГСО.

Мета статті. Метою роботи є створення математичної моделі просторової функції тиску в регульованих ГСО з неідеальною геометрією спряжених опорних поверхонь підшипника, розробка методики її чисельного аналізу.

Виклад основного матеріалу. Розподіл тиску на опорних поверхнях підшипників ковзання може бути описаний рівнянням Рейнольдса, яке для ізотермічного, ламінарно-

го усталеного руху нестискаємої в'язкої рідини в циліндричних координатах у безрозмірній формі має вигляд

$$k_1 \frac{\partial}{\partial \varphi}\left(\bar{h}^3(\varphi,\bar{z})\frac{\partial \bar{p}}{\partial \varphi}\right)+k_2 \frac{\partial}{\partial \bar{z}}\left(\bar{h}^3(\varphi,\bar{z})\frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{z}}\right)=k_3 \frac{\partial \bar{h}(\varphi,\bar{z})}{\partial \varphi}, \quad (1)$$

де $h=\bar{h}\cdot\delta_0$; $z=\bar{z}\cdot L$; $p=\bar{p}\cdot p_0$; $k_1=\frac{\delta_0^2}{R_ш^2}$; $k_2=\frac{\delta_0^2}{L^2}$; $k_3=\frac{6\mu\omega_ш}{p_0}$; h, δ_0 – величини динамічного та статичного радіального зазорів у ГСО відповідно; z – апліката; φ – полярний кут; L – опорна довжина підшипника; p – шукана функція розподілу тиску $p(\varphi, z)$; p_0 – опорна величина тиску в системі живлення ГСО; μ – коефіцієнт динамічної в'язкості рідини; $R_ш$ – радіус опорної шийки шпинделя; $\omega_ш$ – кутова швидкість обертання шпинделя; рискою над символом позначені безрозмірні величини.

Обчислюючи похідні добутку двох функцій у лівій частині рівняння (1), та позначивши праву частину рівняння як f, отримаємо

$$a_{11}\frac{\partial^2 \bar{p}}{\partial \varphi^2}+a_{22}\frac{\partial^2 \bar{p}}{\partial \bar{z}^2}+a_{12}\frac{\partial \bar{p}}{\partial \varphi}+a_{21}\frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{z}}=f\ , \quad (2)$$

де a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22} – змінні коефіцієнти диференціального рівняння.

Змінні коефіцієнти в рівнянні (2) обчислюються за формулами:

$$a_{11}=k_1h^3(\varphi,\bar{z}),\ a_{12}=3k_1h^2(\varphi,\bar{z})\frac{\partial h(\varphi,\bar{z})}{\partial \varphi},\ a_{21}=3k_2h^2(\varphi,\bar{z})\frac{\partial h(\varphi,\bar{z})}{\partial \bar{z}},\ a_{22}=k_2h^3(\varphi,\bar{z}). \quad (3)$$

Таким чином, рівняння Рейнольдса в циліндричній системі координат описується залежностями (2, 3) та являє собою лінійне неоднорідне диференціальне рівняння в частинних похідних другого порядку еліптичного типу з двома незалежними змінними φ, $\bar{z}$. В загальному випадку рівняння (1) не має аналітичного розв'язку. Найбільшого поширення для наближеного розв'язання задач гідромеханіки отримали скінченорізнецеві та варіаційні методи для диференціальних рівнянь у частинних похідних [6; 7].

Найбільш зручним для чисельного розв'язку рівняння Рейнольдса є метод скінчених різниць [6; 8], на основі якого можна дістати дискретний набір наближених значень шуканого розв'язку диференціального рівняння на досліджуваній області, що вкрита сіткою. Відповідно до цього методу диференціальна задача замінюється скінченорізницевою і різницевий розв'язок визначається на сітці.

Як досліджувану область підшипника, розглянемо розгортку на площину карману з прилеглими до нього аксіальними і тангенціальними перемичками (рис. 1, а).

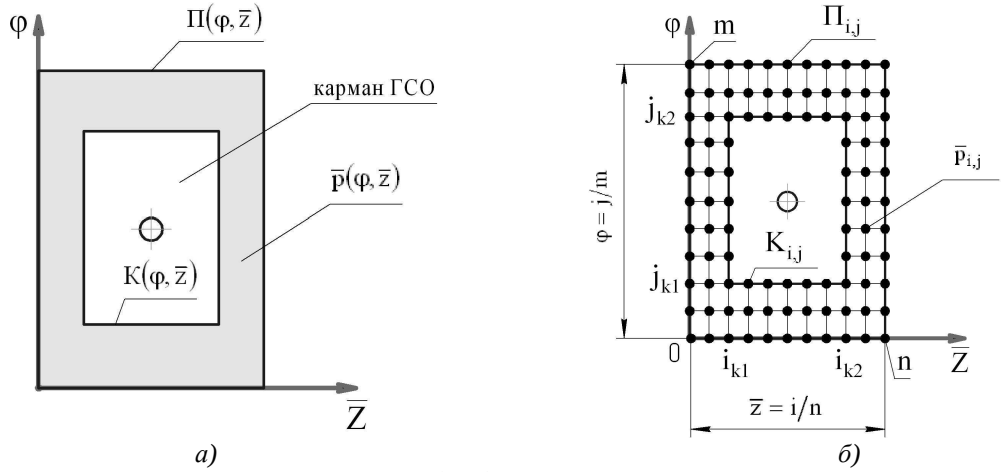


Рис. 1. Область визначення функції тиску $\bar{p}(\varphi,\bar{z})$ а) та прямокутна сітка б) в області змінних $\varphi, \bar{z}$

Таким чином, маємо крайову задачу пошуку розв'язку диференціального рівняння (2) у вигляді $\bar{p} = f(\varphi,\bar{z})$ на області з границями $П(\varphi,\bar{z})$, $К(\varphi,\bar{z})$. Граничні умови запишуться у вигляді:

$\bar{p}(\varphi,\bar{z}) = 0$ за контуром $П(\varphi,\bar{z})$,

$\bar{p}(\varphi,\bar{z}) = \bar{p}_k$ за контуром $К(\varphi,\bar{z})$, (4)

де $\bar{p}_k$ – безрозмірна величина тиску в кармані підшипника.

Накладемо на область визначення функції $\bar{p}(\varphi,\bar{z})$ прямокутну сітку з кроками $\Delta\varphi=1/m$, $\Delta z=1/n$ в напрямку координат $\varphi,\bar{z}$ підшипника відповідно (див. рис. 1, б). На перетині ліній сітки утворюються вузли. Граничні вузли сітки належать границям $П(\varphi,\bar{z})$, $К(\varphi,\bar{z})$. Внутрішнім вузлом будемо вважати вузол, що має чотири сусідні вузли, розташовані відносно нього з кроками $\Delta\varphi$ та Δz.

Дискретні аналоги граничних умов (4) матимуть вигляд:

$\bar{p}_{0,j} = 0$, $\bar{p}_{n,j} = 0$, $\bar{p}_{i,0} = 0$, $\bar{p}_{i,m} = 0$;

$\bar{p}_{i,j} = \bar{p}_k$ для вузлів з номерами $i_{k1} \le i \le i_{k2}$ та $j_{k1} \le j \le j_{k2}$, (5)

де i, j – номера вузлів сітки за координатами $\bar{z}$ та φ відповідно; $n \times m$ – розмірність прямокутної сітки.

Здійснимо скінченорізницеву апроксимацію диференціального рівняння (2), використовуючи п'ятиточкові обчислювальні шаблони з похибками $O(\varphi^2)$ та $O(\bar{z}^2)$. Перейдемо від частинних похідних до їх різницевих аналогів у вигляді:

$$\frac{\partial^2\bar{p}}{\partial\bar{z}^2} = \frac{\bar{p}_{i+1,j} - 2\bar{p}_{i,j} + \bar{p}_{i-1,j}}{\Delta z^2},\ \frac{\partial^2\bar{p}}{\partial\varphi^2} = \frac{\bar{p}_{i,j+1} - 2\bar{p}_{i,j} + \bar{p}_{i,j-1}}{\Delta\varphi^2},$$

$$\frac{\partial\bar{p}}{\partial\bar{z}} = \frac{\bar{p}_{i,j} + \bar{p}_{i-1,j}}{\Delta z},\ \frac{\partial\bar{p}}{\partial\varphi} = \frac{\bar{p}_{i,j} + \bar{p}_{i,j-1}}{\Delta\varphi}. \quad (6)$$

Підставивши вирази (6) до рівняння (2), після перетворень отримаємо

$$A_{i,j}\bar{p}_{i,j-1} + B_{i,j}\bar{p}_{i-1,j} + C_{i,j}\bar{p}_{i,j} + D_{i,j}\bar{p}_{i+1,j} + E_{i,j}\bar{p}_{i,j+1} = f_{i,j}, \quad (7)$$

де $A_{i,j}$, $B_{i,j}$, $C_{i,j}$, $D_{i,j}$, $E_{i,j}$ – коефіцієнти рівняння, що обчислюються за залежностями:

$$A_{i,j} = \frac{a_{11}}{\Delta\varphi^2} - \frac{a_{12}}{\Delta\varphi},\ B_{i,j} = \frac{a_{22}}{\Delta z^2} - \frac{a_{21}}{\Delta z},\ C_{i,j} = \frac{a_{12}}{\Delta\varphi} + \frac{a_{21}}{\Delta z} - 2\frac{a_{11}}{\Delta\varphi^2} - 2\frac{a_{22}}{\Delta z^2},\ D_{i,j} = \frac{a_{22}}{\Delta z^2},\ E_{i,j} = \frac{a_{11}}{\Delta\varphi^2}. \quad (8)$$

Записуючи різницеве рівняння (7) для внутрішніх вузлів сітки, отримаємо систему лінійних алгебраїчних рівнянь, яка в матричній формі має вигляд

$$Ko \cdot p = Fs, \quad (9)$$

де Ko – матриця розмірністю $(n-2)\times(m-2)$, що містить коефіцієнти $A_{i,j}$, $B_{i,j}$, $C_{i,j}$, $D_{i,j}$, $E_{i,j}$; p – матриця-стовпець шуканих значень дискретної функції $\bar{p}_{i,j}$; Fs – матриця-стовпець вільних членів $f_{i,j}$.

Матриця Ko в загальному випадку має п'ятидіагональний вигляд, кожний рядок якої містить не більше п'яти ненульових елементів.

Для розв'язання систем рівнянь вигляду (9) з діагональним переважанням матриці коефіцієнтів Ko найчастіше використовують метод прогонки та ітераційні методи. Ітераційні методи, в порівнянні з прямими, мають ряд переваг, насамперед, ці методи є самовиправними, потребують меншої кількості арифметичних дій для досягнення розв'язку та досить легко програмуються ЕОМ, завдяки повторенню в алгоритмі пошуку рішення однотипних операцій.

Одним з найбільш зручних методів розв'язання системи лінійних алгебраїчних рівнянь (9) є ітераційний метод Зейделя [8; 9]. Перепишемо різницеве рівняння (7) у вигляді для розв'язку методом Зейделя

$$\overline{p}_{i,j} = -\frac{A_{i,j}}{C_{i,j}}\overline{p}_{i,j-1} - \frac{B_{i,j}}{C_{i,j}}\overline{p}_{i-1,j} - \frac{D_{i,j}}{C_{i,j}}\overline{p}_{i+1,j} - \frac{E_{i,j}}{C_{i,j}}\overline{p}_{i,j+1} + \frac{f_{i,j}}{C_{i,j}}. \quad (10)$$

Система рівнянь (9) у цьому випадку матиме вигляд

$$p = Ko^* \cdot p + Fs^*, \quad (11)$$

де Ko^* – матриця розмірністю $(n-2)\times(m-2)$, елементами якої є коефіцієнти правої частини рівняння (10); Fs^* – матриця-стовпчик, елементами якої є вільний член $f_{i,j}\cdot(C_{i,j})^{-1}$ правої частини рівняння (10).

При чисельному розв'язанні крайових задач для диференціальних рівнянь у частинних похідних методом скінчених різниць можуть тільки використовуватися різницеві схеми, що збігаються. В роботі [10] доведено, якщо $A_{i,j}>0$, $B_{i,j}>0$, $C_{i,j}<0$, $D_{i,j}>0$, $E_{i,j}>0$ і виконується умова $A_{i,j} + B_{i,j} + C_{i,j} + D_{i,j} + E_{i,j} < 0$, то послідовні наближення $\overline{p}_{i,j}^{(k)}$ збігаються до точного розв'язку системи рівнянь (11) при будь-якому початковому наближенні $\overline{p}_{i,j}^{(0)}$ і $k\to\infty$, де k – номер ітерації.

Оцінка похибки k-го наближення $\overline{p}_{i,j}^{(k)}$ може бути здійснена за формулою [10]

$$max\left|\overline{p}_{i,j}^{(k)} - \overline{p}_{i,j}\right| \le \frac{q}{1-q} max\left|\overline{p}_{i,j}^{(k)} - \overline{p}_{i,j}^{(k-1)}\right|, \quad (12)$$

де $q = max\sum_{i=2}^{n-1}\left|\frac{A_{i,j} + B_{i,j} + D_{i,j} + E_{i,j}}{C_{i,j}}\right|$.

Ітераційний процес завершується, коли оцінки (12) досягають заданої точності розрахунку. При пошуку розв'язку задачі послідовними наближеннями важливим є швидкість збігання ітераційних процесів, що залежить від початкового наближення $\overline{p}_{i,j}^{(0)}$. В роботі [11] відзначається, що найбільш раціонально як початкове наближення варто використовувати дискретні значення функції $\overline{p}_{i,j}^{\infty}$, отримані при розв'язку рівняння Рейнольдса для підшипника нескінченної довжини.

З точки зору зручності програмування задачі на ЕОМ засобами математичних пакетів область визначення дискретної функції $\overline{p}_{i,j}$ представимо у вигляді, як показано на рис. 2.

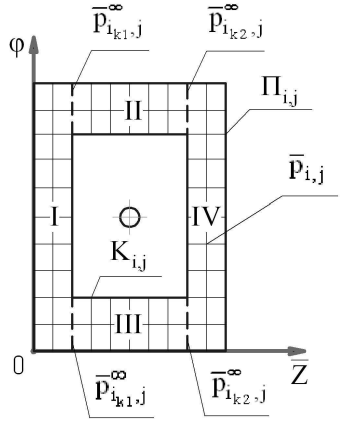


Рис. 2. Область визначення дискретної функції тиску $\overline{p}_{i,j}$ для розрахунку на ЕОМ

Область визначення містить чотири ділянки, позначені на рис. 2 римськими літерами, для кожної з яких додатково введені граничні умови $\overline{p}^{\infty}_{i_{k1},j}$, $\overline{p}^{\infty}_{i_{k2},j}$, що отримуються

попереднім розрахунком величин тиску в тангенціальному напрямку підшипника нескінченної довжини.

Розглянемо особливості визначення величин $\overline{p}^{\infty}_{i_{k1},j}$, $\overline{p}^{\infty}_{i_{k2},j}$ та $\overline{p}^{(0)}_{i,j}$.

Для розрахунку зазначених величин з метою врахування впливу на величини тиску похибок форми в аксіальному (повздовжньому) напрямку підшипника на ділянках II та III (рис. 2) пропонується здійснити корекцію безрозмірної функції зазору $\overline{h}^{\infty}$ таким чином

$$\overline{h}^{\infty}(\varphi,\bar{z}) = \overline{h}(\varphi) + \overline{h}^{*}(\bar{z}), \tag{13}$$

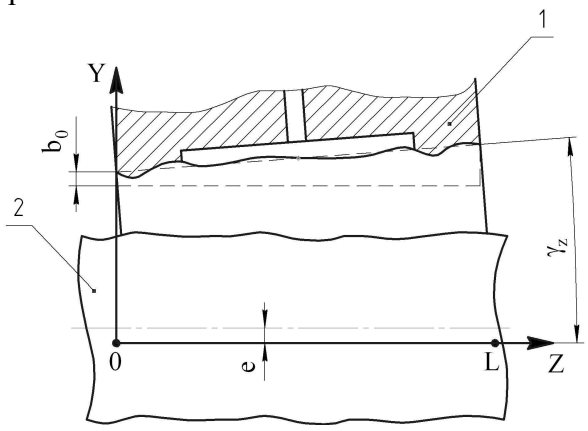
де $\overline{h}(\varphi)$ – безрозмірна функція зазору в тангенціальному напрямку підшипника; $\overline{h}^{*}(\bar{z})$ – додаткова безрозмірна величина, що враховує вплив похибок спряжених поверхонь вздовж осьової координати $\bar{z}$ підшипника.

Функція $\overline{h}(\varphi)$ приймається за рекомендаціями роботи [12].

У першому наближенні апроксимувати значення похибок спряжених поверхонь у повздовжньому напрямку ГСО можна за лінійною залежністю. Тоді величина $\overline{h}^{*}(\bar{z})$ може бути знайдена за залежністю

$$\overline{h}^{*}(\bar{z}) = \frac{k_z z + b_0}{\delta_0}, \tag{14}$$

де $k_z = tg\gamma_z$; b_0 – див. рис. 3.



1 – гідростатична втулка; 2 – шпиндель

Рис. 3. До визначення величини $\overline{h}^{*}(\bar{z})$

Значення величин безрозмірного тиску $\overline{p}^{\infty}_{i_{k1},j}$, $\overline{p}^{\infty}_{i_{k2},j}$ та $\overline{p}^{(0)}_{i,j}$ на ділянках II та III обчислюється з урахуванням коректованої функції зазору (13-14).

Початкове наближення $\overline{p}^{(0)}_{i,j}$ для ділянок I та IV знаходиться так:

$$\overline{p}^{(0)}_{i,j} = \begin{cases} \overline{p}_{i_{k1},j} \cdot \overline{z}^{*} \ \textit{при}\ 0 < \bar{z} < \bar{z}_{i_{k1}}\ i\ (0 < j < j_{k1}\ \textit{або}\ j_{k2} < j < m), \\ \overline{p}_{i_{k2},j} \cdot \overline{z}^{*} \ \textit{при}\ \bar{z}_{i_{k2}} < \bar{z} < 1\ i\ (0 < j < j_{k1}\ \textit{або}\ j_{k2} < j < m), \\ \overline{z}^{*} \ \textit{при}\ j_{k1} \le j \le j_{k2}, \end{cases} \tag{15}$$

де $\overline{z}^{*}$ – функція, що приймає значення:

$$\overline{z}^{*} = \begin{cases} kt_1 \cdot \bar{z} \quad \textit{при}\ 0 < \bar{z} < \bar{z}_{i_{k1}}, \\ kt_2(1-\bar{z}) \ \textit{при}\ \bar{z}_{i_{k2}} < \bar{z} < 1, \end{cases} \tag{16}$$

де kt_1, kt_2 – коефіцієнти, які визначаються за залежностями:

$$kt_1 = \begin{cases} \dfrac{\overline{p}_{i_{k1},j}}{\overline{z}_{i_{k1}}} \ \textit{при}\ 0 < j < j_{k1}\ \textit{або}\ j_{k2} < j < m, \\ \dfrac{\overline{p}_k}{\overline{z}_{i_{k1}}} \ \textit{при}\ j_{k1} \le j \le j_{k2}, \end{cases} \tag{17}$$

$$kt_2 = \begin{cases} \dfrac{\overline{p}_{i_{k2},j}}{\overline{z}_{i_{k1}}} \ \textit{при}\ 0 < j < j_{k1}\ \textit{або}\ j_{k2} < j < m, \\ \dfrac{\overline{p}_k}{\overline{z}_{i_{k1}}} \ \textit{при}\ j_{k1} \le j \le j_{k2}, \end{cases} \tag{18}$$

де $\overline{z}_{i_{k1}}$, $\overline{z}_{i_{k2}}$ – безрозмірні значення координати $\overline{z}$ при $i = i_{k1}$ та $i = i_{k2}$ відповідно.

Таким чином, з урахуванням залежностей (13-18) обчислюються граничні умови $\overline{p}^{\infty}_{i_{k1},j}$, $\overline{p}^{\infty}_{i_{k2},j}$ та початкове наближення $\overline{p}^{(0)}_{i,j}$ для області визначення дискретної функції тиску $\overline{p}_{i,j}$.

Граничні умови за контуром $K(\varphi,\overline{z})$ визначаються шляхом розв'язування рівняння балансу витрат рідини. Це питання докладно висвітлене в роботах [11, 12].

У таблиці 1, як приклад розрахунку, наведено дискретні значення просторової функції тиску $\overline{p}(\varphi,\overline{z})$ для опорної поверхні регульованої радіальної п'ятикарманної ГСО [11], яка містить другий карман з прилеглими до нього перемичками.

Розрахунок здійснено засобами математичного пакету MathCAD. Потовщеною лінією в таблиці показано границі $\Pi(\varphi,\overline{z})$, $K(\varphi,\overline{z})$ (рис. 1) області визначення функції тиску $\overline{p}(\varphi,\overline{z})$.

Під час програмування задачі в середовищі MathCAD як критерій для завершення ітераційної процедури розрахунку використовувалося співвідношення

$$max\left(\overline{p}^{(k)}_{i,j} - \overline{p}^{(k-1)}_{i,j}\right) \le \Omega_p,$$

де Ω_p – задана точність розрахунку (Ω_p=0,001).

Таблиця 1

Фрагмент дискретних значень просторової функції тиску $\overline{p}(\varphi,\overline{z})$

		$\overline{z}$												
		0	0,035	0,07	0,105	0,14	0,175	…	0,815	0,85	0,885	0,92	0,955	1
$\varphi,^\circ$	89	0	0	0	0	0	0	…	0	0	0	0	0	0
	88	0	0	0	0	0,109	0,109	…	0,101	0,101	0	0	0	0
	87	0	0	0	0,097	0,253	0,253	…	0,254	0,254	0,108	0	0	0
	86	0	0	0,068	0,221	0,377	0,377	…	0,379	0,379	0,233	0,086	0	0
	85	0	0,044	0,196	0,349	0,505					0,358	0,21	0,061	0
	84	0	0,044	0,196	0,349						0,358	0,21	0,061	0
	…	…	…	…	…						…	…	…	…
	24	0	0,045	0,197	0,35						0,359	0,211	0,062	0
	23	0	0,045	0,197	0,35						0,359	0,211	0,062	0
	22	0	0	0,077	0,23	0,385	0,385	…	0,386	0,386	0,24	0,092	0	0
	21	0	0	0	0,099	0,254	0,254	…	0,255	0,255	0,109	0	0	0
	20	0	0	0	0	0,133	0,133	…	0,134	0,134	0	0	0	0
	19	0	0	0	0	0	0	…	0	0	0	0	0	0

Якщо порівняти дискретні значення функції тиску, які розташовані на однаковій відстані по координаті $\overline{z}$ від кромок кармана z_{k1}, z_{k2}, можна бачити, що геометричні відхилення опорних поверхонь та деформації гідростатичної втулки в аксіальному напрямку підшип-

ника приводять до зміни значень тиску вздовж осі ГСО. До аналогічного висновку стосовно впливу геометричних відхилень у тангенціальному напрямку приводить аналіз дискретних значень функції тиску по координаті φ підшипника, розташованих на однаковій відстані відносно кромок кармана. Зазначене явище обумовлюється впливом функції зазору $\bar{h}(\varphi,\bar{z})$ на функцію тиску $\bar{p}(\varphi,\bar{z})$: зазор $\bar{h}$ зменшується при зростанні аплікати $\bar{z}$ і зменшенні полярного кута φ в межах області визначення функції тиску, приведеної в табл. 1.

Для наочності представлення розрахункових даних таблично заданої функції $\bar{p}(\varphi,\bar{z})$ побудована на рис. 4 просторова епюра тиску для області визначення функції, обмеженої другим карманом з прилеглими до нього перемичками.

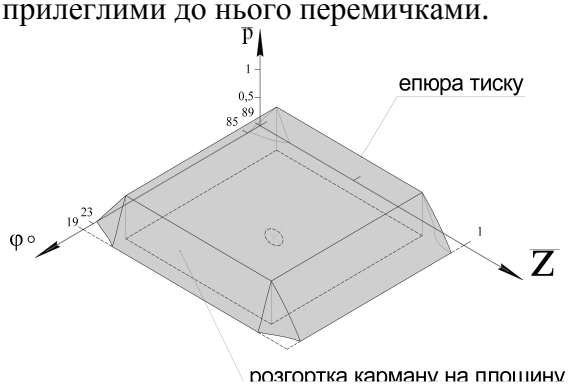


Рис. 4. Просторова епюра тиску

Висновки. Розроблений математичний опис просторової функції тиску на основі рівнянь Рейнольдса та балансу витрат рідини з неідеальною геометрією опорних поверхонь шпиндельних регульованих ГСО, яка є основою для визначення експлуатаційних характеристик опор.

Запропонована методика чисельного аналізу просторової функції тиску з програмною реалізацією засобами математичного пакету MathCAD, що може бути використана для математичного моделювання ГСО широкої номенклатури.

Встановлено, що геометричні відхилення спряжених опорних поверхонь підшипника чинять істотний вплив на розподіл тиску в ГСО. Це обумовлює доцільність їх урахування при розрахунках опор ковзання верстатного устаткування.

Список використаних джерел

1. Коровчинский М. В. Прикладная теория подшипников жидкостного трения / М. В. Коровчинский. – М., 1954. – 186 с.

2. Белоусов А. И. Влияние некоторых погрешностей форм вала и обоймы на характеристики гидростатического подшипника / А. И. Белоусов, Т. А. Хромова // Исследование гидростатических подшипников. – 1973. – С. 18-28.

3. Бушуев В. В. Гидростатическая смазка в станках / В. В. Бушуев. – М.: Машиностроение, 1989. – 176 с.

4. Ковальов В. Д. Основи теорії розрахунку та проектування гідравлічних опорних вузлів верстатного устаткування: дис. … доктора техн. наук: 05.03.01 / Віктор Дмитрович Ковальов. – К.: НТУУ „КПІ”, 2001. – 424 с.

5. Савин Л. А. Моделирование роторных систем с подшипниками жидкостного трения / Л. А. Савин, О. В. Соломин. – М.: Машиностроение-1, 2006. – 444 с.

6. Андерсон Д. Вычислительная гидромеханика и теплообмен / Д. Андерсон, Д. Таннехилл, Р. Плетчер; пер с англ. С. В. Сенина, Е. Ю. Шальмана. – М.: Мир, 1990. – Т. 2. – 392 с.

7. Бахвалов Н. С. Численные методы / Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков. – М.: Наука, 1987. – 600 с.

8. Самарский А. А. Введение в численные методы / А. А. Самарский. – М.: Наука, 1987. – 288 с.

9. Копченова Н. В. Вычислительная математика в примерах и задачах / Н. В. Копченова, И. А. Марон. – М.: Наука, 1972. – 298 с.

10. Григоренко Я. М. Обчислювальні методи в задачах прикладної математики / Я. М. Григоренко, Н. Д. Панкратова. – К.: Либідь, 1995. – 280 с.

11. Струтинський В. Б. Статистична динаміка шпиндельних вузлів на гідростатичних опорах: монографія / В. Б. Струтинський, Д. Ю. Федориненко. – Ніжин: Аспект-Поліграф, 2011. – 464 с.

12. Федориненко Д. Ю. До питання визначення функції тиску в шпиндельних гідростатичних опорах / Д. Ю. Федориненко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія “Технічні науки”. – 2011. – № 1 (47). – С. 16-23.

УДК 621.9.06

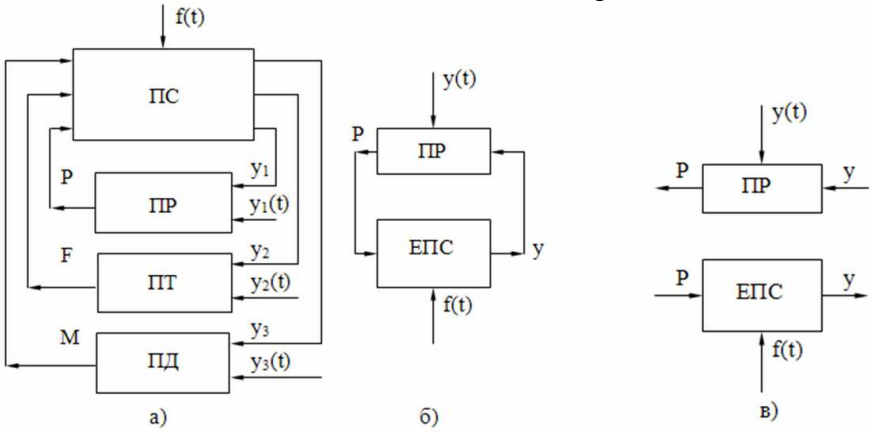
В.М. Чуприна, канд. техн. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м.Чернігів, Україна

МОДЕРНІЗАЦІЯ РОЗРАХУНКІВ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРУЖНОЇ СИСТЕМИ МЕТАЛОРІЗАЛЬНОГО ВЕРСТАТА В САПР

Розглянуто актуальну проблему модернізації динамічних розрахунків пружної системи металорізального верстата під час проектування в САПР. Наведено приклад знаходження динамічних характеристик з використанням розроблених 3D-моделей конструкції верстата. Подано рекомендації щодо застосування цієї методики розрахунку для отримання динамічних характеристик пружних систем верстатів.

Вступ. При сучасних методах проектування металорізальних верстатів у САПР необхідно мати достовірні відомості про вихідні властивості і характеристики розроблених конструкцій. Вони використовуються для оцінки якості верстатів за різними показниками, таких як точність, жорсткість, рівень шуму та інших. Важливими є також динамічні показники, які забезпечують високу динамічну якість конструкції, зокрема вібростійкість верстата під час різання.

За В.О. Кудиновим [1], динамічна система металорізального верстата (рис. 1, а) складається з пружної системи (ПС) і робочих процесів в її рухомих з’єднаннях (процеси різання – ПР, тертя – ПТ, у двигунах – ПД). Перехід до еквівалентної одноконтурної динамічної системи (рис. 1, б) дозволяє виділити з неї еквівалентну пружну систему (ЕПС) (рис. 1, в), що дає змогу досліджувати її незалежно з метою отримання необхідних динамічних властивостей верстата. Знаючи характеристики кожного елемента і застосувавши математичний апарат теорії автоматичного керування, можна визначити необхідні характеристики і показники повної динамічної системи верстата.



а) повна динамічна система; б) еквівалентна динамічна система; в) елементи динамічної системи

Рис.1. Схема динамічної системи металорізального верстата та її основних елементів

Одним із основних динамічних показників є вібростійкість, тобто здатність верстата протидіяти зовнішнім і внутрішнім впливам коливань і вібрацій, які діють на нього в процесі обробки заготовок. Вібростійкість залежить від якості всієї динамічної системи, зокрема від основної її складової – ЕПС верстата. Тому динамічну якість металорізальних

верстатів зазвичай оцінюють за динамічними характеристиками пружної системи, які отримують у різних формах. Найчастіше – у вигляді перехідних або частотних (амплітудних – АЧХ, фазових – ФЧХ, амплітудно-фазових АФЧХ) характеристик, форм (мод) коливань, спектра власних частот та інших.

Традиційний динамічний розрахунок еквівалентної пружної системи верстата зазвичай виконується відповідно до рекомендацій [2-6]. Проте на сучасному рівні розвитку автоматизації проектування верстатів безпосередньо в САПР необхідно використовувати всі можливості потужних CAD-CAE-систем, у тому числі й для динамічних розрахунків [7].

У роботі розглядається модернізація традиційної інженерної методології динамічних розрахунків еквівалентної пружної системи металорізального верстата з використанням розроблених 3D-моделей конструкції в САПР.

Мета статті. Метою цієї публікації є вдосконалення методології розрахунку динамічних характеристик пружних систем металорізальних верстатів для швидкої і надійної оцінки їх динамічної якості під час проектування в САПР.

Виклад основного матеріалу. Динамічний розрахунок проводився на прикладі багатоопераційного верстата типу обробляючий центр мод. ИР500ПМФ4. Для цього на основі заводських креслень у CAD-системі KOMPAS-3D була створена детальна 3D-модель верстата, яка містить більше ніж 3000 елементів (деталей). В усіх своїх основних проекціях вона показана на рисунку 2.

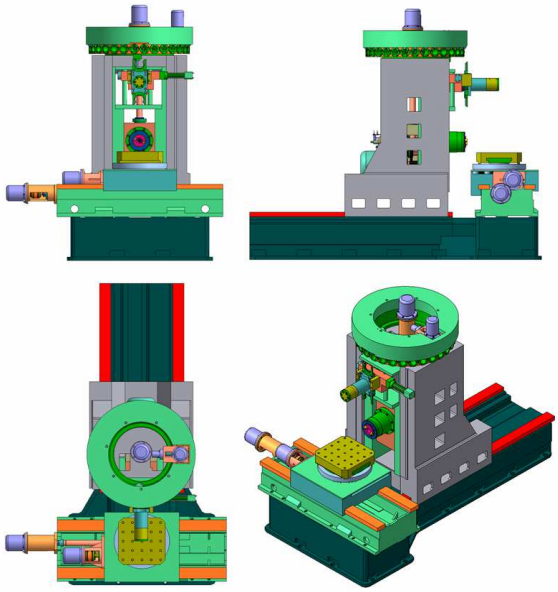


Рис. 2. Загальний вигляд 3D-моделі верстата – обробляючого центру мод. ИР500ПМФ4 (в проекціях)

Метою розрахунку є отримання динамічних частотних характеристик у формі АФЧХ і мод коливань його ЕПС на основних резонансних частотах. Розрахунок амплітудно-фазових частотних характеристик верстата являє собою розрахунок змушених коливань ЕПС у зоні різання від зовнішнього навантаження силами, діючими як сили різання.

Під час дослідження динаміки верстата його динамічна модель традиційно представляється у вигляді кінцевої множини зосереджених мас з великою кількістю ступенів волі. Рівняння руху лінійної коливальної системи під дією зовнішніх сил зазвичай записують у вигляді системи лінійних диференційних рівнянь другого порядку, яка записується у матричному вигляді як

$$M\ \ddot{X} + H\ \dot{X} + CX\ = P(t), \qquad (1)$$

де X – матриця (вектор) узагальнених координат системи (невідомих);

M, H, C – квадратні матриці постійних коефіцієнтів відповідно: інерційних, демпфірування і жорсткості;

P – матриця (вектор) зовнішніх збуджень (силових факторів);

t – плинний час.

Для отримання цієї системи рівнянь необхідно скласти динамічну модель обробляючого центру ИР500ПМФ4. Прийнята розрахункова динамічна модель (розрахункова схема) верстата показана на рисунку 3.

Складання розрахункової схеми (динамічної моделі) верстата проводилось на основі розробленої 3D-моделі. При цьому реальна пружна система ідеалізувалась як динамічна система із зосередженими параметрами. Тобто, верстат мав вигляд лінійної (лінеаризованої) механічної коливальної системи з окремих мас – тіл деталей і вузлів, які з'єднані між собою невагомими пружно-дисипативними зв'язками (в стиках контактуючих деталей). Точна 3D-модель верстата містить багато деталей, але в розрахунковій моделі вона представлена 18-ю основними укрупненими елементами (масами).

Згідно з методикою [4], залежно від відносної жорсткості стику та власної жорсткості тіла в розрахунковій моделі за абсолютно жорсткі тіла («масиви») прийняті: корпус шпиндельного вузла, коробка швидкостей (шпиндельна бабка), стійка, станина, стіл, стіл поворотний, супутник (палета), магазин, автооператор.

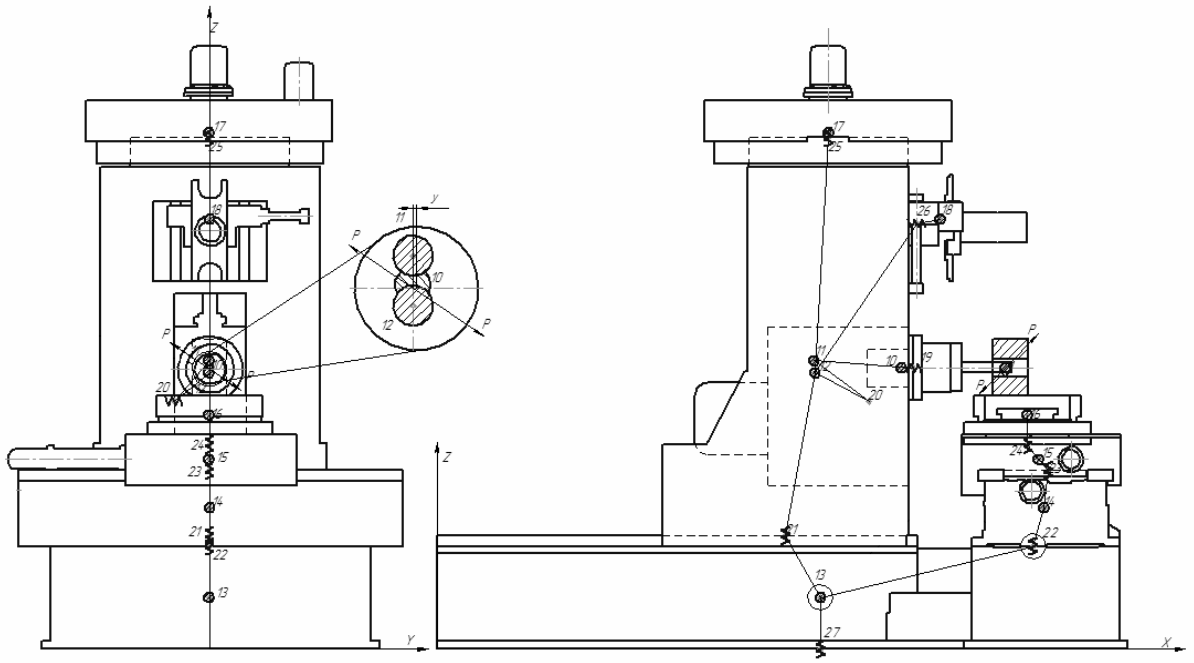


Рис. 3. Розрахункова динамічна модель верстата ИР500ПМФ4 (18-ти масова)

Шпиндель не може бути віднесений до «масивів», бо являє собою гнучку балку з перерізом у вигляді кола (або кільця). Розрахункова динамічна модель шпиндельного вузла, як комплектної одиниці, представлена на рисунку 4 у вигляді вала шпинделя на підшипниках, закріпленого в корпусі. В розрахунках реальний шпиндель (разом з інструментальною оправкою діаметром 70 мм і довжиною 300 мм) замінений невагомим стрижнем з 9-ма зосередженими масами, які розташовані по його довжині. Ця модель входить до складу повної динамічної моделі верстата ИР500ПМФ4 як складова підсистеми.

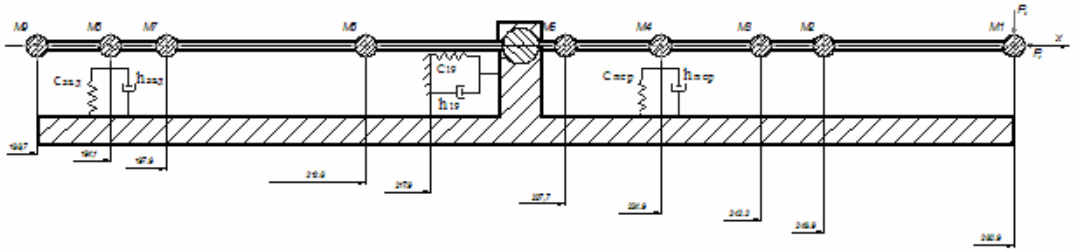


Рис.4. Розрахункова динамічна модель шпиндельного вузла верстата ИР500ПМФ4 (9-ти масова)

Після замінення реальної пружної системи верстата розрахунковою динамічною моделлю, слід визначити всі інерційні, пружні та дисипативні параметри елементів моделі. Це необхідно під час заповнення матриць *M, H, C* матричного рівняння (1) .

Розрахунок більшості параметрів елементів динамічної системи верстата (мас, моментів інерції, координат центрів ваги деталей і вузлів) доцільно проводити безпосередньо в САПР. У більшості CAD-систем для цього існують розроблені внутрішні засоби (сервісні функції), які забезпечують високу точність розрахунків. У цій статті ці параметри для окремих елементів верстата розраховувались за допомогою тривимірної твердотільної моделі оброблюючого центру ИР500ПМФ4, створеної у програмному пакеті КОМПАС-3D. Результати зведені у відповідні таблиці 1–3.

Таблиця 1

Координати центрів мас елементів

Найменування елемента (маси)	Координати		
	X, см	*Y*, см	*Z*, см
Зосереджена маса шпинделя 1	260,9	0	131,2
Зосереджена маса шпинделя 2	246,9	0	131,2
Зосереджена маса шпинделя 3	242,2	0	131,2
Зосереджена маса шпинделя 4	234,9	0	131,2
Зосереджена маса шпинделя 5	227,7	0	131,2
Зосереджена маса шпинделя 6	212,8	0	131,2
Зосереджена маса шпинделя 7	197,9	0	131,2
Зосереджена маса шпинделя 8	194,1	0	131,2
Зосереджена маса шпинделя 9	188,7	0	131,2
Корпус шпиндельного вузла	217,5	0	131,2
Коробка швидкостей	176,6	-0,3	134,6
Стійка	176,9	7,6	128,8
Станина	179,6	0,2	24,1
Стіл	284,2	-0,6	66,2
Стіл поворотний	281,8	-0,2	88,5
Супутник (палета)	276,7	0	109,1
Інструментальний магазин	183,4	1,0	240,9
Автооператор	235,7	2,1	200,3

Таблиця 2

Координати центрів стиків (між елементами)

Найменування стику	Координати		
	X, см	*Y*, см	*Z*, см
Корпус шпиндельного вузла-коробки швидкостей	217,9	0	131,2
Коробка швидкостей – стійка	202,2	17,6	115,5
Стійка – станина	162,9	-1,5	53,0
Станина – стіл	279,1	0	84,0
Стіл – стіл поворотний	286,4	0	83,4
Стіл поворотний – супутник (палета)	276,7	0	95,4
Інструментальний магазин – стійка	183,4	0	238,5
Автооператор – стійка	224,7	0	198,5

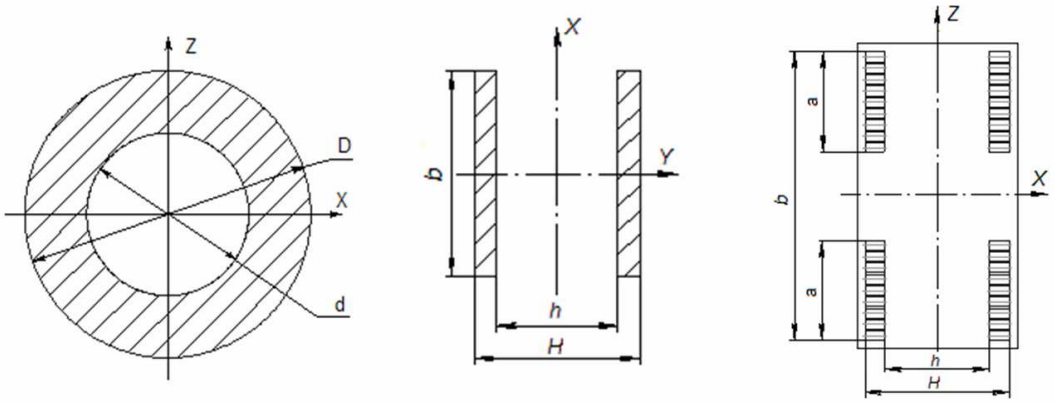
Таблиця 3

Значення ваги, маси та моментів інерції елементів

Найменування елемента	Вага, даН	Маса m, кг·с^2/см	I_x, кг·см·с^2	I_y, кг·см·с^2	I_z, кг·см·с^2
Зосереджена маса шпинделя 1	95,7	0,0957	-	-	-
Зосереджена маса шпинделя 2	119,2	0,1192	-	-	-
Зосереджена маса шпинделя 3	47,0	0,0470	-	-	-
Зосереджена маса шпинделя 4	51,1	0,0511	-	-	-
Зосереджена маса шпинделя 5	78,4	0,0784	-	-	-
Зосереджена маса шпинделя 6	101,8	0,1018	-	-	-
Зосереджена маса шпинделя 7	61,5	0,0615	-	-	-
Зосереджена маса шпинделя 8	25,9	0,0259	-	-	-
Зосереджена маса шпинделя 9	153,0	0,1530	-	-	-
Корпус шпиндельного вузла	69,22	0,0692	10,54	10,52	6,69
Коробка швидкостей	851,76	0,8518	2197,01	1746,18	582,11
Стійка	5188,64	5,1886	23208,29	21003,63	10633,76
Станина	9994,24	9,9942	102527,79	93829,79	12274,29
Стіл	1016,43	1,0164	3416,06	3047,35	621,52
Стіл поворотний	796,06	0,7961	905,09	512,02	461,37
Супутник (палета)	338,31	0,3383	128,92	79,59	79,59
Інструментальний магазин	851,06	0,8511	1706,26	954,13	897,12
Автооператор	144,99	0,1450	59,28	48,94	40,34

На розрахунковій схемі (рис. 3) пружно-демпфіруючий зв'язок у стику між двома елементами умовно зображується однією пружиною. Однак насправді вона позначає одразу два вектори – вектор жорсткості стику C_{ij} і вектор демпфірування в цьому ж стику H_{ij}, причому $C_{ij} = \{c_x , c_y , c_z , c_{\varphi x} , c_{\varphi y} , c_{\varphi z}\}$ і $H_{ij} = \{h_x , h_y , h_z , h_{\varphi x} , h_{\varphi y} , h_{\varphi z}\}$. Тобто коефіцієнт жорсткості стику являє собою не одне, а шість чисел: $c_x , c_y , c_z , c_{\varphi x} , c_{\varphi y} , c_{\varphi z}$ – жорсткості стику по осях x, y, z та кутові жорсткості при обертанні навколо цих осей. Аналогічно позначаються і коефіцієнти демпфірування.

Розрахунок жорсткості плоских стиків – "корпус шпиндельного вузла – коробка швидкостей", "стіл – стіл поворотний", "станина – стіл", "автооператор – стійка" – проводився за загально визнаною методикою [8], згідно з відповідними схемами стиків, показаних для прикладу на рисунку 5, а і 5, б. При цьому враховувалися особливості контактних деформацій у затягнених і незатягнених стиках та у підшипниках і направляючих кочення (танкетки). Під час визначення жорсткості стику "коробка швидкостей – стійка" (рис. 5, в) враховувалась взаємодія елементів через роликові танкетки, тому контактні деформації розраховувались як для тіл кочення [8].



а) *б)* *в)*

а) корпус шпиндельного вузла – коробка швидкостей; б) стійка - станина; в) коробка швидкостей – стійка (з танкетками)

Рис.5. Схеми стиків для визначення коефіцієнтів жорсткості і демпфірування

Коефіцієнти контактної жорсткості плоских стиків по осях координат знаходились як:

$$c_z = \frac{F}{K_\sigma},\ c_x = c_y = \frac{F}{K_\tau}, \quad (2)$$

де F – площа стику;

K_σ – коефіцієнт нормальної контактної податливості;

K_τ – коефіцієнт тангенціальної контактної податливості ($K_\tau \approx 2K_\sigma$).

Контактна деформація визначається за виразом:

$$\delta = K_\sigma \cdot \sigma, \quad (3)$$

де δ – переміщення у стику;

σ – середній тиск у стику.

Коефіцієнт K_σ при динамічних розрахункіах можна знайти за формулою

$$K_\sigma = \frac{2 \cdot C}{\sqrt{\sigma}}, \quad (4)$$

де С – коефіцієнт, який залежить від мікрогеометрії поверхонь та властивостей матеріалів, наприклад, для стику “сталь-сталь” з шліфованими поверхнями – C = 0,8;

Обертові жорсткості стиків розраховувались за формулами:

$$c_{\varphi x} = \frac{I_x}{K_\sigma},\ c_{\varphi y} = \frac{I_y}{K_\sigma},\ c_{\varphi z} = \frac{I_z}{K_\tau}, \quad (5)$$

де I – момент інерції площі стику.

Розрахунок дисипативних характеристик пружної системи верстата зазвичай проводиться для визначення динамічної жорсткості, оцінки стійкості та рішення інших динамічних задач. Розсіювання енергії коливань у верстатах відбувається як у матеріалі деталей (внутрішнє тертя), так і у стиках – місцях контакту спряжених деталей (зовнішнє тертя при місцевих проковзуваннях, зовнішнє та внутрішнє тертя при деформації мікронерівностей) а також у масляних шарах (в основному грузле тертя рідини у суцільному шарі або між мікровиступами). При цьому розсіювання енергії коливань у спряжених стиках деталях у більшості випадків значно більше, ніж у матеріалі цих деталей.

Під час розрахунків дисипативних характеристик для кожного стику знаходились коефіцієнти демпфірування, які складають елементи вектора $H_{ij} = \{h_x, h_y, h_z, h_{\varphi x}, h_{\varphi y}, h_{\varphi z}\}$.

Коефіцієнти демпфірування для поступових переміщень розраховувались за формулою:

$$h = \frac{\lambda}{\pi}\sqrt{m \cdot c}, \quad (6)$$

де λ – логарифмічний декремент коливань;

m – вага меншого з двох контактуючих елементів;

c – жорсткість стику.

Коефіцієнти демпфірування при поворотному русі розраховувались за формулою:

$$h = \frac{\lambda}{\pi}\sqrt{I \cdot c_\varphi}, \quad (7)$$

де λ – логарифмічний декремент коливань;

I – момент інерції;

c_φ – поворотна жорсткість стику.

Значення логарифмічних декрементів коливань для різних стиків і умов їх функціонування приймались згідно з рекомендацій і практики досліджень верстатів [9; 10].

Значення розрахованих коефіцієнтів жорсткості і демпфірування стиків зведені у відповідні таблиці 4 та 5.

Таблиця 4

Коефіцієнти жорсткості стиків

Найменування стику	$c_x \cdot 10^4$, даН/см	$c_y \cdot 10^4$, даН/см	$c_z \cdot 10^4$, даН/см	$c_{\varphi x} \cdot 10^4$, даН·см	$c_{\varphi y} \cdot 10^4$, даН·см	$c_{\varphi z} \cdot 10^4$, даН·см
Корпус шпинделя – коробка швидкостей	300,973	150,486	150,486	24566	24566	24566
Коробка швидкостей – стійка	24,603	49,206	124,155	27515	25219	14905
Стійка – станина	366,254	366,254	732,507	1122933	800279	961606
Станина – стіл	372,053	372,053	744,105	546701	143707	808552
Стіл – стіл поворотний	306,191	306,191	612,382	405549	326603	366076
Стіл поворотний –супутник (палета)	191,297	191,297	382,593	66400	66400	66400
Інструментальний магазин – стійка	133,968	133,968	267,937	141540	141540	141540
Автооператор – стійка	78,822	157,643	124,768	546701	143707	808552

Таблиця 5

Коефіцієнти демпфірування стиків

Найменування стику	h_x, даН·с/см	h_y, даН·с/см	h_z, даН·с/см	$h_{\varphi x}$, даН·с·см	$h_{\varphi y}$, даН·с·см	$h_{\varphi z}$, даН·с·см
Корпус шпинделя –коробка швидкостей	36,34	25,69	25,69	4051	4047	3227
Коробка швидкостей – стійка	72,89	103,09	163,75	311050	201596	168499
Стійка – станина	694,16	694,16	981,68	2570625	2064468	1610209
Станина – стіл	154,83	154,83	218,96	344071	166614	178480
Стіл – стіл поворотний	248,61	248,61	351,59	305076	205917	206943
Стіл поворотний – супутник (палета)	64,05	64,05	90,58	23294,68	18303	18303
Інструментальний магазин – стійка	85,02	85,02	120,23	123729,7	92524	89717
Автооператор – стійка	53,83	76,13	67,73	90650,4	42229	90941

Система рівнянь руху динамічної моделі верстата під дією гармонічних навантажень складається в матрично-векторній формі з використанням методів кінетостатики та коефіцієнтів впливу [3; 4].

Матричні рівняння руху пружної системи верстата ИР500ПМФ4 мають такий вигляд:

$$D_{1,1}M_1\ddot{X}_1 + D_{1,2}M_2\ddot{X}_2 + ... + D_{1,9}M_9\ddot{X}_9 + D_{1,4}H_4\dot{X}_4 + D_{1,8}H_8\dot{X}_8 - D_{1,4}H_4A_{10,4}\dot{X}_{10} - D_{1,8}H_8A_{10,8}\dot{X}_{10} + EX_1 - D_{1,4}C_4A_{10,4}X_{10} - D_{1,8}C_8A_{10,8}X_{10} = D_{1,1}P_1$$

. . .

$$D_{9,1}M_1\ddot{X}_1 + D_{9,2}M_2\ddot{X}_2 + ... + D_{9,9}M_9\ddot{X}_9 + D_{1,4}H_4\dot{X}_4 + D_{1,8}H_8\dot{X}_8 - D_{1,4}H_4A_{10,4}\dot{X}_{10} - D_{1,8}H_8A_{10,8}\dot{X}_{10} + EX_1 - D_{1,4}C_4A_{10,4}X_{10} - D_{1,8}C_8A_{10,8}X_{10} = 0$$

$$M_{10}\ddot{X}_{10} + A^T_{10,4}H_4A_{10,4}\dot{X}_{10} - A^T_{10,4}H_4A_{10,4}\dot{X}_4 + A^T_{10,8}H_8A_{10,8}\dot{X}_{10} - A^T_{10,8}H_8A_{10,8}\dot{X}_8 + A^T_{10,4}C_4A_{10,4}X_{10} - A^T_{10,4}C_4A_{10,4}X_4 + A^T_{10,8}C_8A_{10,8}X_{10} - A^T_{10,8}C_8A_{10,8}X_8 = 0$$

. . .

$$M_{17}\ddot{X}_{17} + A^T_{17,24}H_{24}A_{17,24}\dot{X}_{17} - A^T_{17,24}H_{24}A_{16,24}\dot{X}_{16} + A^T_{17,24}C_{24}A_{17,24}X_{17} - A^T_{17,24}C_{24}A_{16,24}X_{16} = -P_{17}$$

$$M_{18}\ddot{X}_{18} + A^T_{18,26}H_{26}A_{18,26}\dot{X}_{18} - A^T_{18,26}H_{26}A_{18,26}\dot{X}_{18} + A^T_{18,26}C_{26}A_{18,26}X_{18} - A^T_{18,26}C_{26}A_{18,26}X_{18} = 0, \quad (7)$$

де M_i – матриця масових параметрів для i-ї маси;

H_i – матриця дисипативних параметрів для i-го стику;

C_i – матриця жорсткістних параметрів для i-го стику;

$D_{i,j}$ – матриця параметрів податливості (коефіцієнтів впливу) для мас шпинделя;

A_{ij} – матриця переносу параметрів (з точки *i* в точку *j*);

$A_{i,j}^{T}$ – транспонована матриця переносу;

P_k – матриця навантаження в точці *k*.

Усі матриці мають розмір 6×6, а матриці силових навантажень 6×3. Після заповнення всіх матриць системи над ними виконуються необхідні математичні дії, які записані в рівняннях. У результаті кожне з матричних рівнянь системи перетворюється в шість звичайних скалярних лінійних диференційних рівнянь другого порядку з постійними коефіцієнтами виду (1). Для формалізації процесу формування матриць у рівнянні (1) розроблена спеціальна програма.

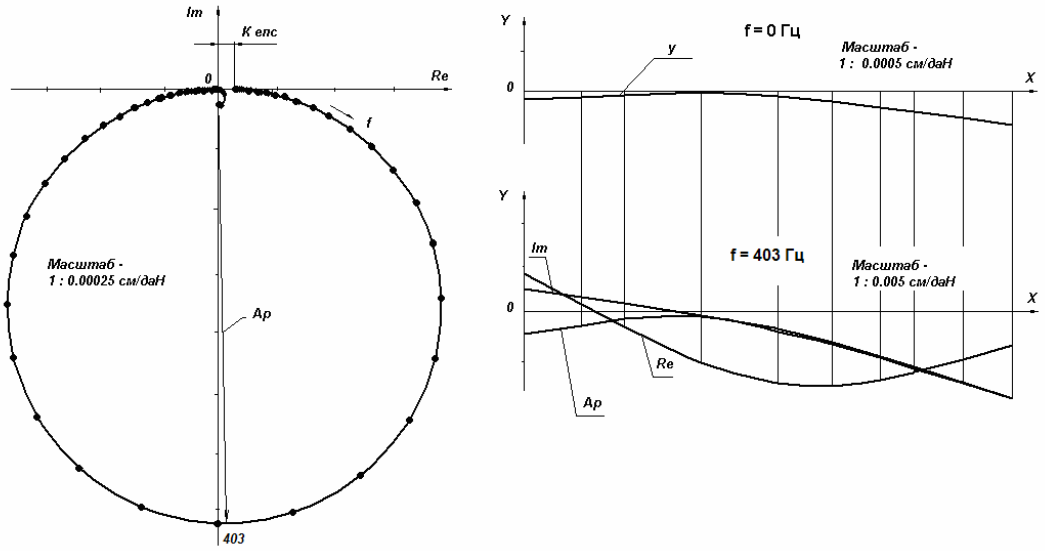
Після розкриття всіх матриць загальна система рівнянь у тривимірній системі координат XYZ складає 82 рівняння. Під час розв'язання системи визначаються абсолютні переміщення (коливання) всіх точок (мас) моделі по трьох осях координат (форми коливань). Однак при розрахунках динаміки верстата найбільш цікавими є відносні переміщення (коливання) між інструментом і деталлю, тобто між точками 1 и 17 в розрахунковій моделі. Тому в системі з'явились ще три додаткові рівняння і система відповідно збільшилась до 85 рівнянь.

Наявність симетрії розрахункової моделі дозволила дещо спростити задачу. Розрахункова модель має площину симетрії XOZ, тобто коливання системи в площинах XOZ та YOZ є практично незалежними. Переміщення кожної і-ї маси розрахункової моделі характеризується в просторі шістьма ступенями волі – вектором переміщень Xi = {xi , yi , zi , φxi , φyi , φzi}. Тоді в цьому випадку він розпадається на два незалежних вектори - Xi1 = {xi , yi , φzi } та Xi2 = { zi , φxi , φyi }. У результаті для коливань пружної системи в площині XOZ складена система з 36 рівнянь, а в площині YOZ – з 35 рівнянь.

Після отримання систем диференційних рівнянь усі коефіцієнти при узагальнених координатах та їх похідних, а також узагальнені сили збираються у відповідні матриці M, H, C і P для формування загальної системи рівнянь виду (1). Цей процес є досить важким і працемістким, тому для складання системи рівнянь використовувалась спеціальна авторська програма. В ній застосовувались формалізовані методи кінетостатики і коефіцієнтів впливу з використанням блочних матриць, що гарантує відсутність помилок і швидке отримання результатів.

Розв'язок отриманих систем лінійних диференційних рівнянь виконувався на комп'ютерах IBM PC за допомогою програми VIBRO, розробленої автором для розв'язку великих систем диференційних рівнянь другого порядку з постійними коефіцієнтами (з кількістю рівнянь до 40 і більше). В результаті проведених розрахунків отримали необхідні динамічні характеристики верстата ИР500ПМФ4 і його шпиндельного вузла.

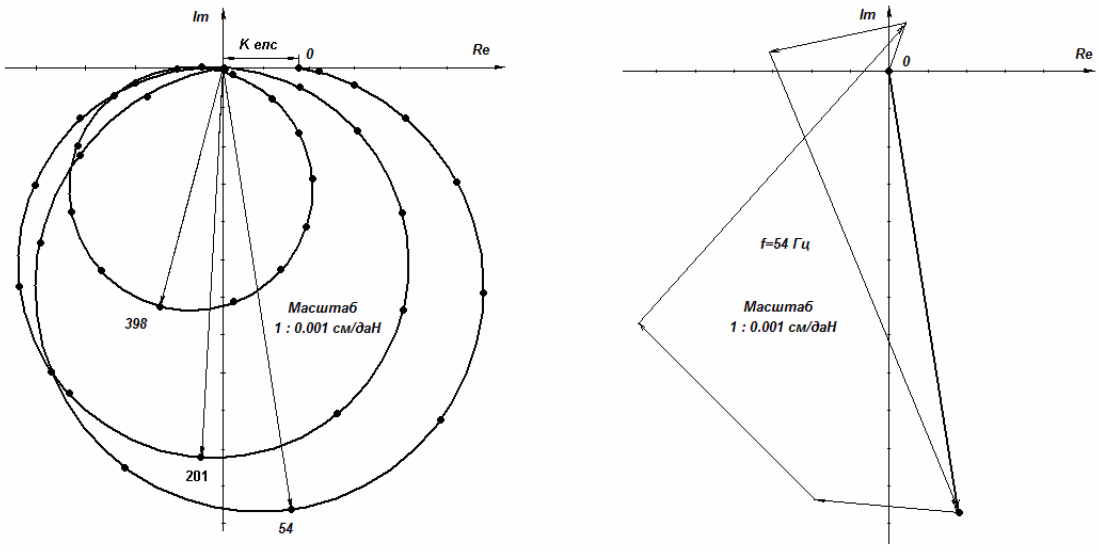
За даними розрахунків згідно з динамічною моделлю шпиндельного вузла (рис. 4) побудована його амплітудно-фазова частотна характеристика, яка показана на рисунку 6, а. В прийнятому робочому частотному діапазоні (0 – 1000 Гц) шпиндель має тільки одну резонансну частоту 403 Гц. Також на рисунку 6, б показано лінію статичного прогину шпинделя (при f = 0 Гц) та форма коливань шпиндельного вузла на основній резонансній частоті (f = 403 Гц).



а) *б)*

Рис. 6. Амплітудно-фазова частотна характеристика (а) та форми коливань(б) шпиндельного вузла

На рисунку 7, а показана розрахункова АФЧХ пружної системи верстата. Вона має три основні резонанси на частотах 54, 201 та 398 Гц, причому остання визначається динамічними параметрами шпиндельного вузла. Також для прикладу на рисунку 7, б показана векторна діаграма коливань пружної системи верстата на частоті 54 Гц.



а) *б)*

Рис. 7. Амплітудно-фазова частотна характеристика верстата ИР500ПМФ4 (а) і векторна діаграма коливань його основних елементів(вузлів) на резонансній частоті 54 Гц (б)

На рисунку 8 зображена деформація моделі верстата під дією сили різання *P* (у збільшеному масштабі). З цього прикладу видно як відбувається відтискання ріжучого інструменту від деталі, а також як деформуються окремі елементи верстата в статиці і динаміці. Аналогічні деформації і форми коливань верстата ИР500ПМФ4, які показані на рисунку 9, були отримані автором при розрахунках за методом скінчених елементів у програмі SolidWorks/Cosmos. Хоча ця програма і не дозволяє побудувати АФЧХ та векторні діаграми коливань пружної системи, проте аналіз одержаних результатів проводився шляхом порівняння величин статичних деформацій та форм коливань верстата на основних резонансних частотах. Він показав практичне співпадіння результатів: по влас-

них частотах до 2-3 %, по статичних деформаціях – до 5-7 % та по формах коливань – до 15-25 %. Це підтверджує достовірність отриманих результатів.

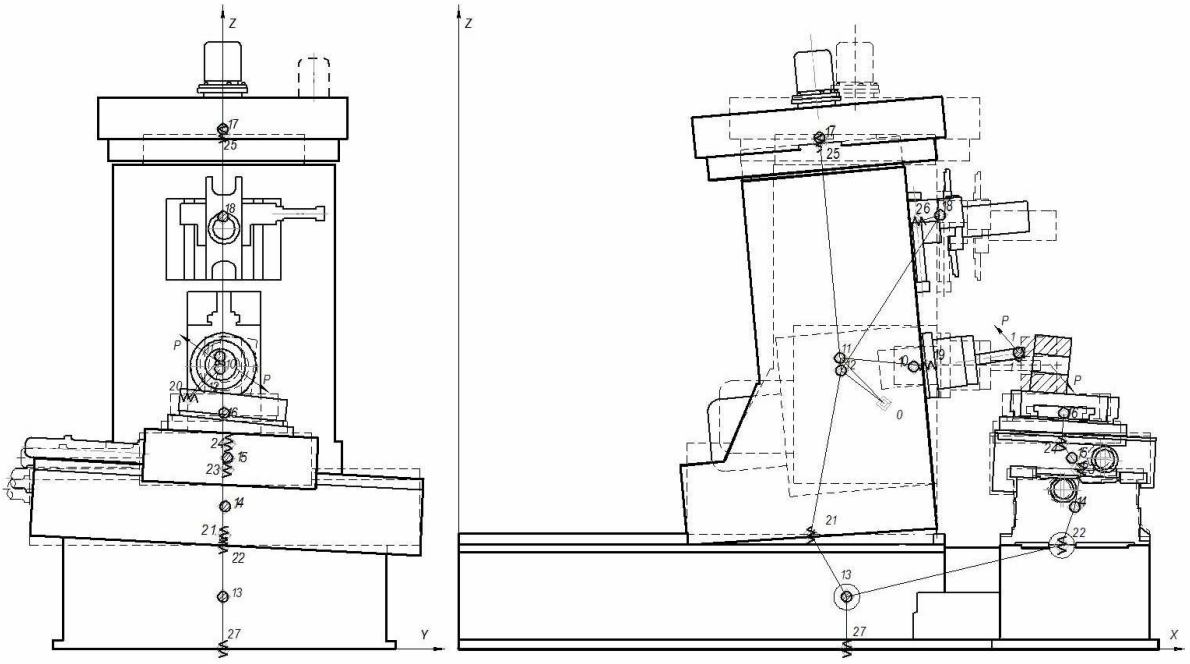


Рис. 8. Деформації (форми коливань) верстата ИР500ПМФ4 на резонансній частоті 54 Гц

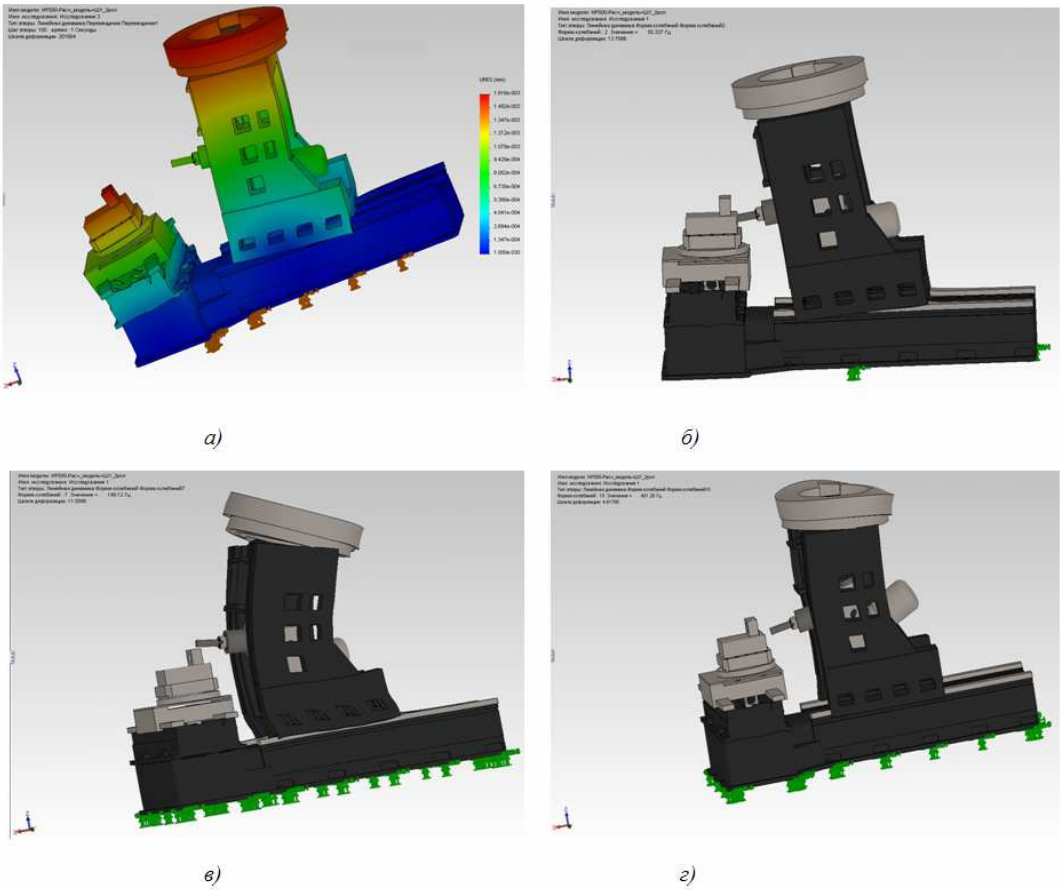


Рис. 9. Статичні деформації (а) і форми коливань верстата ИР500ПМФ4 на основних резонансних частотах 55 Гц (б), 199 Гц (в) та 401 Гц (г)

Висновки. На базі загальних положень динаміки верстатів з використанням теорії механічних коливань і практики попередніх динамічних розрахунків аналогічних систем розроблена вдосконалена методологія розрахункового дослідження динамічної якості металорізальних верстатів. Її особливістю є широке використання розроблених 3D-моделей верстатів в універсальних САПР і високий рівень автоматизації розрахунків із застосуванням оригінальних авторських програм. При цьому на підготовчому етапі розрахунків максимально використовуються можливості CAD-CAE-систем для більш точного визначення параметрів розрахункових динамічних моделей, що суттєво зменшує трудомісткість динамічних розрахунків. Це дозволяє швидко, надійно і достовірно дослідити й оцінити динамічні характеристики пружних систем верстатів ще на стадії їх проектування.

Представлена методика дозволяє отримати динамічні характеристики верстата у вигляді амплітудно-фазових частотних характеристик пружної системи, а також побудувати форми коливань верстата на основних резонансних частотах.

Розроблені автором програми динамічних розрахунків можуть бути застосовані в спеціалізованих пакетах САПР металорізальних верстатів для оцінки їх динамічної якості.

Удосконалена методологія є універсальною і може застосовуватись для дослідження динаміки пружних систем різних конструкцій як верстатів, так і інших машин.

Список використаних джерел

1. Кудинов В. А. Динамика станков / В. А. Кудинов. – М.: Машиностроение, 1967. – 360 с.

2. Кудинов В. А. Поузловой анализ динамических характеристик упругой системы станка / В. А. Кудинов, В. М. Чуприна // Станки и инструмент. – 1989. – № 11. – С.8-11.

3. Бидерман В. Л. Теория механических колебаний / В. Л. Бидерман. – М.: Высшая школа, 1980. – 408 с.

4. Расчет динамических характеристик упругих систем станков с ЧПУ: Методические рекомендации / Е. В. Хлебалов, Т. С. Воробьева, Г. Я. Чумбуридзе, А. Д. Шустиков; под ред. В. А. Кудинова. – М.: ЭНИМС, 1976. – 98 с.

5. Кедров С. С. Колебания металлорежущих станков / С. С. Кедров. – М.: Машиностроение, 1978. – 199 с.

6. Кирилин Ю. В. Методика расчета виброустойчивости станков / Ю. В. Кирилин // СТИН. – 2005. – № 1. – С. 3-6.

7. Норенков И. П. Основы автоматизированного проектирования: учебник для вузов / И. П. Кирилин. – 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 333 с.

8. Левина З. М. Контактная жесткость машин / З. М. Левина, Д. Н. Решетов. – М.: Машиностроение, 1971. – 264 с.

9. Решетов Д. Н. Демпфирование колебаний в деталях станка / Д. Н. Решетов, З. М. Левина // Исследование колебаний металлорежущих станков. – М.: Машгиз, 1958. – С. 45-86.

10. Хомяков В. С. Учет демпфирования при динамических расчетах станков / В. С. Хомяков // СТИН. – 2010. – № 6. – С. 9-12.

РОЗДІЛ IV. ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ

УДК 621.791.4

Г.К. Харченко, д-р техн. наук, професор
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна
Ю.В. Фальченко, канд. техн. наук
Л.В. Петрушинець, інженер
Ін-т електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ, Україна

ДИФУЗІЙНЕ ЗВАРЮВАННЯ У ВАКУУМІ АЛЮМІНІДУ ТИТАНУ З НЕРЖАВІЮЧОЮ СТАЛЛЮ

Розроблено технологію дифузійного зварювання у вакуумі алюмінідуу титану з нержавіючою сталлю. Для запобігання утворення в зоні з'єднання крихких інтерметалідів запропоновано застосовувати двохстадійний процес зварювання та прошарки Ti, Nb та Cu у вигляді фольг суцільного перетину.

Постановка проблеми. Сплави на основі алюмінідів титану є перспективними жароміцними матеріалами для виготовлення ряду деталей гарячого тракту газотурбінних двигунів [1]. Практичне використання TiAl ставить питання про отримання з'єднань з іншими конструкційними матеріалами. В цій роботі розглянуто можливість отримання зварного з'єднання алюмінідуу титану зі сталлю.

Титан з основними елементами нержавіючої сталі (залізом, хромом, нікелем) має обмежену взаємну розчинність, утворює інтерметаліди та низькотемпературні евтектики, що виключає можливість безпосереднього з'єднання титану зі сталлю всіма відомими способами зварювання плавленням – зварні шви виходять крихкі. Завдання щодо зварювання титану зі сталлю може бути вирішена лише шляхом використання проміжних вставок. Титан задовільно зварюється з дуже обмеженою кількістю металів: цирконієм, гафнієм, ніобієм, танталом, ванадієм.

У літературі найбільш широко висвітлено питання з'єднання титану зі сталлю зварюванням у твердій фазі, тобто без розплавлення контактуючих металів. Можливість з'єднання титану безпосередньо з залізом і сталлю, тобто без прошарків, вивчалася для випадків ДЗВ [2], пресового зварювання [3], зварювання вибухом [4], зварювання тертям [5] та інших.

Найбільш перспективним способом зварювання титану зі сталлю є зварювання тиском з використанням проміжних прошарків з інших металів. Одинарні прошарки не вирішують завдання одержання працездатного зварного біметалічного вузла при температурах вище 400 ºС, тому що в зоні контакту відбувається ріст крихкого перехідного шару, що містить або карбіди, або інтерметаліди, або обидва типи хімічних сполук одночасно.

Двошарові прошарки ніобій-мідь застосовуються при зварюванні титану із сталлю вибухом [6], дифузійному зварюванні [7], зварюванні прокаткою [8]. Ніобій з міддю інтерметалідних з'єднань не утворюють, мають слабку взаємну розчинність і зварювання цих металів серйозних ускладнень не викликає. При оптимальних умовах з'єднання має високу міцність і задовільну пластичність. При низьких температурах (до 268,8 ºС) і при високих температурах (до 1000 ºС) випробування руйнування з'єднань відбувається по шару міді [6].

Однак прошарки ніобій-мідь також мають істотні недоліки. Шари ніобію, міді, а також сталі і титану мають дуже різні коефіцієнти лінійного розширення, що призводить до появи тріщин у шарі міді при термоциклічних режимах роботи вузлів [9]. Таким чином, необхідно знизити рівень напружень за рахунок зниження різниці в значеннях коефіцієнтів лінійного розширення металів, що з'єднуються. При дифузійному зварюванні вибір опти-

мальних режимів ускладнюється, тому що ніобій при температурах близько 1000 ºС непластичний, у той час як при цих температурах титан і мідь мають низькі показники міцності.

Змінюючи товщину проміжного шару міді, тобто м'якого шару, можна керувати ступенем контактного зміцнення цього шару, одержуючи необхідні показники механічних властивостей зварного вузла в цілому. Істотний недолік такої технології – це низька температура плавлення прошарку з міді та її сплавів.

Формування цілей статті. Метою роботи є розробка технології дифузійного зварювання у вакуумі інтерметалідного сплаву γ-TiAl зі сталлю12Х18Н10Т.

Виклад основного матеріалу дослідження. Об'єктом досліджень були інтерметалідний сплав γ-TiAl (Ti – 31-33 %Al – 2-3 %Cr – 3-4 %Nb, % мас.) і нержавіюча сталь 12Х18Н10Т. Для усунення перегріву металу заготовки зі сталі й інтерметаліду розрізали на зразки розміром 15 × 15 × 5 мм за допомогою електроерозійного верстата. Зварювання зразків проводили способом дифузійного зварювання у вакуумі.

Поверхні зразків, що підлягали зварюванню, шліфували на алмазному колі і безпосередньо перед зварюванням знежирювали ацетоном. Зварювання зразків проводили в стик у вільному стані. Для усунення утворення крихких інтерметалідів у зоні з'єднання застосовували прошарки у вигляді фольг суцільного перетину: Ti – 100 мкм, Cu – 50 мкм, Nb – 50 мкм.

Послідовність елементів для зварювання була наступна: γ-TiAl – Ti – Nb – Cu – 12Х18Н10Т.

Оптимальною температурою для зварювання інтерметалідного сплаву γ-TiAl є температура Т = 1200 ºС, але при цих умовах відбувається розплавлення міді, що негативно впливає на якість зварних з'єднань [10]. Тому було запропоновано двохстадійний процес зварювання інтерметаліду γ-TiAl із сталлю 12Х18Н10Т. Спочатку при температурі Т = 1200 ºС проводили зварювання алюмініду титану з титаном та ніобієм, а потім до отриманого з'єднання при температурі Т = 1000 ºС приварювали через прошарок міді сталь 12Х18Н10Т.

Циклограма процесу дифузійного зварювання наведена на рис. 1. Тиск зварювання на обох стадіях становив Р = 20 МПа, час витримки t = 20 хв.

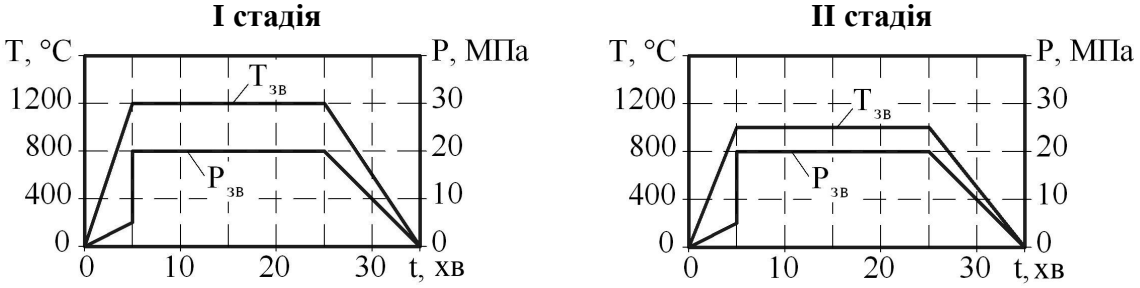


Рис. 1. Циклограма процесу дифузійного зварювання у вакуумі γ-TiAl

Металографічні дослідження з'єднань, отриманих при дифузійному зварюванні у вакуумі γ-TiAl – Ti – Nb – Cu – 12Х18Н10Т, показали, що в зоні з'єднання дефектів у вигляді пор, тріщин не виявлено. На рис. 2 представлена мікроструктура зварного з'єднання, отриманого в режимі зворотно розсіяних електронів на нетравленому шліфі. Як видно з рисунка (рис. 2) і розподілу елементів (табл. 1), у процесі зварювання у стику активно відбуваються дифузійні процеси з утворенням з боку інтерметаліду широкої зони об'ємної взаємодії. Між інтерметалідним сплавом γ-TiAl і прошарками титану та ніобію відбувається плавне вирівнювання складу.

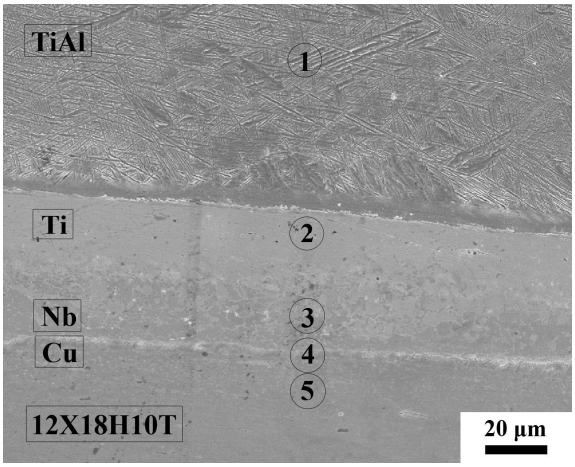


Рис. 2. Мікроструктура зварного з'єднання γ-TiAl зі сталлю 12Х18Н10Т, отриманого із застосуванням прошарків: титану, ніобію та міді, х600 електронна мікроскопія

Таблиця 1

Локальний аналіз хімічного складу елементів у зоні з'єднання TiAl зі сталлю 12Х18Н10Т через прошарки суцільного перетину: титану, ніобію і міді

№ точки	Вміст елементів, % мас.						
	Ti	Al	Nb	Fe	Cr	Ni	Cu
1	62,88	31,52	2,24	0,00	3,36	0,00	0,00
2	80,27	4,87	14,86	0,00	0,00	0,00	0,00
3	13,14	0,91	74,92	0,00	0,00	0,00	11,03
4	3,98	0,00	12,46	12,71	1,40	2,24	67,21
5	1,27	0,00	0,00	69,56	18,50	10,67	0,00

Дослідження розподілу мікротвердості в напрямку перпендикулярному до зони з'єднання γ-TiAl – 12Х18Н10Т (рис. 3) показали підвищення мікротвердості до 4050 МПа в дифузійній зоні γ-TiAl з прошарком титану за рахунок дифузії алюмінію у бік титану. Прошарок титану має підвищені показники мікротвердості до 2800 … 4050 МПа внаслідок дифузії як алюмінію, так і ніобію (табл. 1, т. 2).

З боку нержавіючої сталі в зоні з'єднання з мідним прошарком спостерігається зниження мікротвердості до 1100 МПа, що відповідає мікротвердості міді.

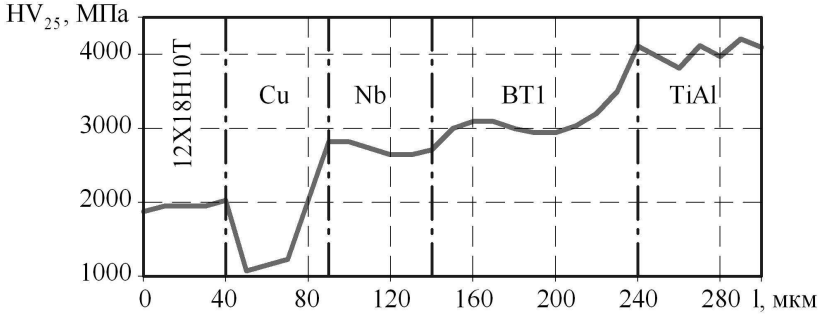


Рис. 3. Розподіл мікротвердості в зоні з'єднання γ-TiAl – 12Х18Н10Т із проміжними прошарками Ti, Nb, Cu суцільного перетину

Висновки дослідження. Проведені дослідження показують, що застосування двохстадійного процесу зварювання γ-TiAl з нержавіючою сталлю з використанням проміжних прошарків з титану, ніобію та міді дозволяє отримати бездефектні з'єднання.

Список використаних джерел

1. Механические свойства литых сплавов γ-TiAl / О. А. Банных, К. Б. Поварова, Г. С. Браславская [и др.] // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1996. – № 4. – С. 11-14.

2. Биметаллические соединения / К. Е. Чарухина, С. А. Голованенко, В. А. Мастеров, Н. Ф. Казаков. – М.: Металлургия, 1970. – 280 с.

3. Причины снижения прочности сварных соединений титана со сталью / Л. Н. Лариков, М. Н. Белякова, В. Н. Замков [и др.] // Автоматическая сварка. – 1984. – № 4. – С. 17-20.

4. Седых В. С. Особенности микронеоднородности сваренных взрывом соединений / В. С. Седых // Труды Волгоградского политехнического института. – 1975. – Вып. 2. – С. 3-39.

5. О возможности регулирования температуры при сварке трением разнородных материалов / Ю. Д. Потапов, В. В. Трутнев, А. Ф. Якушин [и др.] // Сварочное производство. – 1971. – № 2. – С. 1-3.

6. Влияние низких температур на работоспособность сваренных взрывом титано-стальных соединений / Ю. Н. Кусков, В. Д. Сапрыгин, В. С. Седых [и др.] // Сварочное производство. – 1975. – № 11. – С. 20-21.

7. Металлургия и технология сварки титана и его сплавов / С. М. Гуревич, В. Н. Замков, В. Е. Блащук, Г. К. Харченко [и др.]. – 2-е изд., дополн. и перераб. – К.: Наук. думка, 1986, – С. 240.

8. Свойства соединений титановых сплавов со сталью, полученных через тонкие металлические прослойки / В. Е. Иванов, В. М. Амоненко, В. М. Годин [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 1971. – № 2. – С. 101-104.

9. Тронь А. С. Влияние циклических нагревов на свойства соединения разнородных металлов / А. С. Тронь, Л. А. Забашта, А. Г. Лопата // Проблемы прочности. –1975. – № 12. – С. 57-60.

10. Diffusion welding of γ-TiAl based alloys through nano-layered foil of Ti/Al system / A. I. Ustinov, Yu. V. Falchenko, A. Ya. Ishchenko, G. K. Kharchenko, T. V. Melnichenko, A. N. Muraveynik // Intermetallics. – 2008. – № 16. – P. 1043-1045.

УДК 621.791.01.6

Г.П. Болотов, д-р техн. наук
М.Г. Болотов., канд. техн. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ТЛІЮЧОГО РОЗРЯДУ ДЛЯ ДИФУЗІЙНОГО ЗВАРЮВАННЯ

Проведено аналіз енергетичних та регулювальних характеристик існуючих джерел живлення тліючого розряду в умовах дифузійного зварювання. Показано недоліки конструктивних схем джерел та визначено засоби їх оптимізації.

Проведен анализ энергетических и регулировочных характеристик существующих источников питания тлеющего разряда для диффузионной сварки. Показано недостатки конструктивных схем источников и определено способы их оптимизации.

The analysis of energy characteristics and regulation of existing sources of supply for the glow discharge for the diffusion welding. Showing disadvantages of constructive schemes of sources and identify ways to optimize them.

Вступ. Сьогодні у промисловості широке розповсюдження отримало зварювання у твердій фазі – дифузійне зварювання, що здійснюється при температурах нижче температури розплавлення з'єднуваних матеріалів [1]. Це дозволяє отримувати вузли та деталі складної форми з мінімальними деформаціями. Для дифузійного зварювання застосовують різні види джерел нагріву, що розрізняються способами перетворення електричної енергії у теплову, інтенсивністю та локальністю нагріву. Одним з таких джерел є тліючий розряд, який має певні технологічні переваги серед інших способів нагріву, пов'язаних, зокрема, із простотою обладнання, високою економічною ефективністю процесу нагріву, можливістю зварювання виробів різноманітних конструктивних форм. Особливістю застосування тліючого розряду є можливість суміщення в єдиному циклі операцій іонного очищення зварюваних поверхонь, зварювання та термохімічної обробки зварних виробів, що забезпечує підвищення якості з'єднань.

Постановка завдання. Тліючий розряд, подібно до дугового, є однією з форм газового розряду. Електрична дуга завдяки значній густині струму в катодній та анодній плямах і високій температурі газу в позитивному стовпі широко застосовується для

з'єднання матеріалів методами плавлення. Відповідно, розроблені джерела живлення електричної дуги, що забезпечують стабільне проведення цих процесів.

Під час розроблення та створення джерел живлення потужнострумового тліючого розряду необхідно враховувати специфічні особливості, що відрізняють його від зварювальної електричної дуги: а) менші на один-два порядки значення робочих струмів; б) більш високі (також на один-два порядки) падіння напруги на розрядному проміжку; в) можливість переходу тліючого розряду в дуговий. Останнє вимагає розробки джерел живлення, стабілізуючих розрядний струм та здатних витримувати стрибки струму, що у два-три рази перевищують номінальні значення.

Мета роботи. Метою роботи є аналіз основних енергетичних та регулювальних характеристик джерел живлення тліючого розряду в умовах дифузійного зварювання та визначення засобів їх оптимізації.

Викладення основного матеріалу. Оскільки статична вольтамперна характеристика нормального тліючого розряду має майже горизонтальну ділянку, тобто наближається до жорсткої, то стійкий стан системи «джерело живлення – тліючий розряд» забезпечується лише при падаючій зовнішній характеристиці джерела живлення. Положення робочої точки, що відповідає сталому режиму тліючого розряду, можна переміщувати за допомогою:

1) зміни кута нахилу зовнішньої характеристики джерела регулюванням величини опору зовнішнього кола (рис. 1, криві 1, 2);

2) еквідистантного переміщення характеристики джерела вгору або вниз зміною напруги U_0 на його вихідних клемах (рис. 1, криві 1, 3).

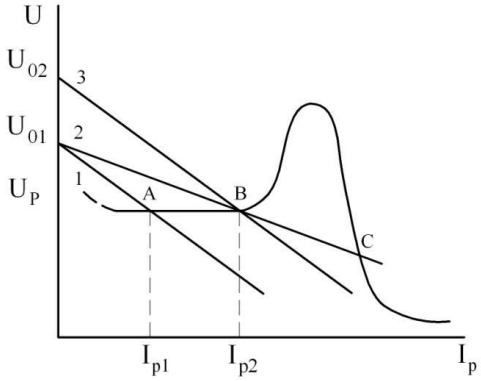
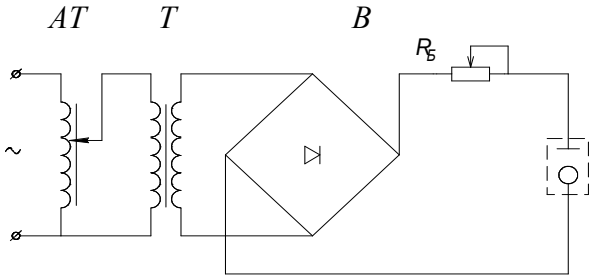


Рис. 1. Способи регулювання режиму тліючого розряду (A, B – робочі точки, що відповідають струмам розряду I_{p1} та I_{p2})

Перший із зазначених способів реалізований у джерелі (рис. 2), в якому для створення крутопадаючої характеристики використовується баластний опір $R_Б$ у колі розряду [2]. Досвід показує, що така схема джерела забезпечує стабільне горіння тліючого розряду у відсутності істотних збурень, викликаних, першочергово, порушенням технологічної дисципліни. Однак у такій схемі значна частина потужності джерела (40 ... 60 %) витрачається на самому баластному опорі, що негативно позначається на енергетичних показниках процесу зварювання. Крім того, таке джерело не чинить протидії зміни форми розряду, тобто лавиноподібному наростанню струму в момент утворення дуги та її подальшій стабілізації на виробі.

Тим не менш, таке джерело живлення тліючого розряду у наш час широко використовується як у промислових, так і в експериментальних установках порівняно невеликої потужності (одиниці кіловат). Це пояснюється його відносною простотою у виготовленні, достатньо високою надійністю, невисокою вартістю і порівняно невеликою масою (до 8 кг/кВт).



AT – автотрансформатор, T – підвищуючий трансформатор, B – випрямляч
Рис. 2. Схема джерела з регульованим баластним реостатом $R_Б$

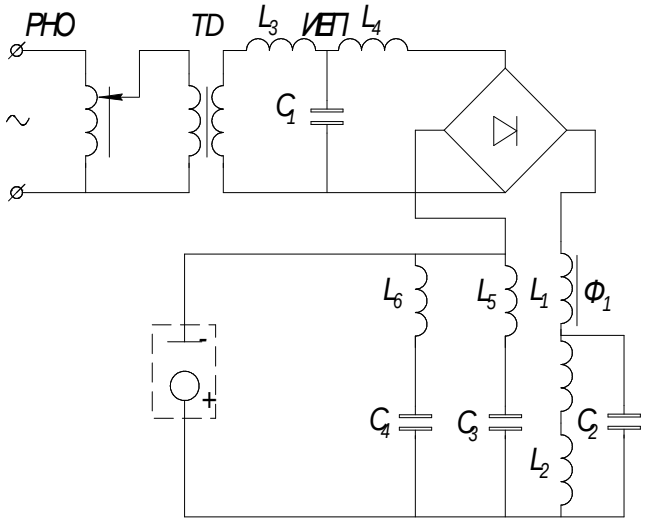
Заміна у джерелі живлення активного баласту на індуктивно-ємнісний перетворювач (ІЄП) за резонансною схемою Бушеро дозволила створити зовнішню характеристику, близьку до вертикальної, і завдяки цьому розширити діапазон стійкості тліючого розряду. Елементи ІЄП (рис. 3) обираються за умови резонансу при заданій частоті напруги живлення:

$$\omega L = 1/\omega C \quad \text{або} \quad \omega^2 LC = 1.$$

Чим менше величина активного опору індуктивностей фільтрів, або чим більша добротність котушок Q = ωL/R, тим точніше джерело забезпечує підтримання заданого режиму при змінному розрядному опорі.

Втрати енергії в такому баласті помітно знижуються і к.к.д. джерела зростає до 0,7 ... 0,8. Однак такі джерела [3] мають значну масу (від 11 до 22 кг на 1 кВт залежно від конструкції і потужності). Вони значно складніше і дорожче джерел з активним баластним опором, мають обмежений діапазон регулювання режиму і тому широкого поширення не отримали. Застосування їх доцільне при масовому виробництві однотипної продукції.

В установках підвищеної потужності (5 ... 30 кВт) застосовують більш економічні джерела живлення на основі керованих тиристорних перетворювачів. Вони мають високе співвідношення корисної потужності до маси, при цьому втрати енергії в самому джерелі не перевищують 10 % від його загальної потужності.

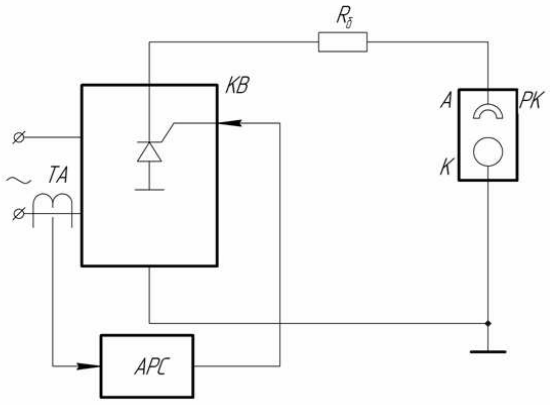


РНО – однофазний регулятор напруги (автотрансформатор);
ТО – підвищуючий трансформатор;C_1…C_4, L_1…L_6 – елементи фільтрів перетворювача
Рис. 3. Схема джерела живлення тліючого розряду на основі індуктивно-ємнісного перетворювача

Особливістю джерел живлення на основі тиристорів є те, що тиристори надійно працюють лише в колах змінного струму. Для використання їх в колах постійного струму, як це має місце під час зварювання та паяння, необхідно застосовувати складні схеми примусового замикання тиристорів, що складаються з багатьох компонентів [4]. Це призводить до ускладнення конструкції джерел та збільшення їх вартості. Тим не

менш, плавне регулювання, широкий діапазон зміни режимів і можливість їх стабілізації, високі техніко-економічні показники дають підставу вважати цей тип джерела кращим, ніж попередні [4]. Регулюючі тиристори можуть бути ввімкнені як у первинному, так і у вторинному високовольтному колі трансформатора, при цьому у разі регулювання з боку низької напруги в коло тліючого розряду для створення падаючої характеристики джерела й обмеження струму короткого замикання вмикають активний або індуктивний опір порівняно незначної величини (20 ... 40 Ом).

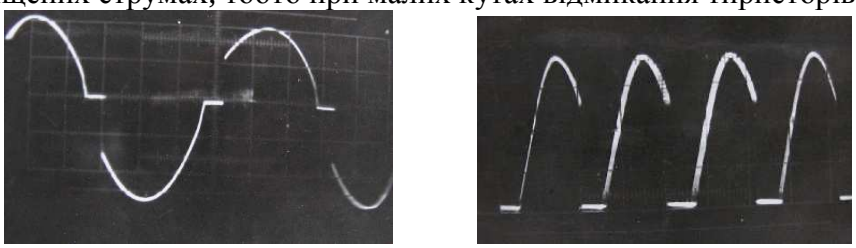
На рис. 4 наведена схема джерела живлення тліючого розряду на основі керованого тиристорного випрямляча. Для захисту самого джерела і зварюваних виробів від струмових перевантажень, що виникають під час переходу тліючого розряду в дуговий або під час значних коливань напруги мережі, у схемі використаний зворотній зв'язок за струмом розряду, що забезпечує його стабілізацію на встановленому рівні.



ТА– трансформатор (датчик) струму; КВ– керований тиристорний випрямляч; АРС – автоматичний регулятор струму; РК– розрядна камера

Рис. 4. Схема джерела живлення тліючого розряду на основі керованого вентильного (тиристорного) перетворювача

Тим не менш, цим джерелам притаманний недолік, обумовлений особливостями управління тиристорами. Якщо в попередніх схемах джерел застосовується так зване амплітудне регулювання, коли управління струмом розряду здійснюється зміною його амплітудного значення, а тривалість його протікання за час напівперіоду залишається майже незмінною і займає переважну частину напівперіоду, то в тиристорних джерелах застосовується фазове регулювання, пов'язане зі зміною кута відмикання тиристорів α (рис. 5). При цьому на малих струмах розряду, тобто при великих значеннях кута α між сусідніми імпульсами струму з'являються значні за тривалістю проміжки, протягом яких тліючий розряд відсутній. У цей час відбувається охолодження зварюваних деталей, що знижує ефективність нагріву і збільшує його тривалість. З цієї причини тиристорні джерела при струмах розряду до 3...4 А поступаються за ефективністю джерелам з активним струмообмежуючим опором і повною мірою виявляють свої позитивні якості при підвищених струмах, тобто при малих кутах відмикання тиристорів α.



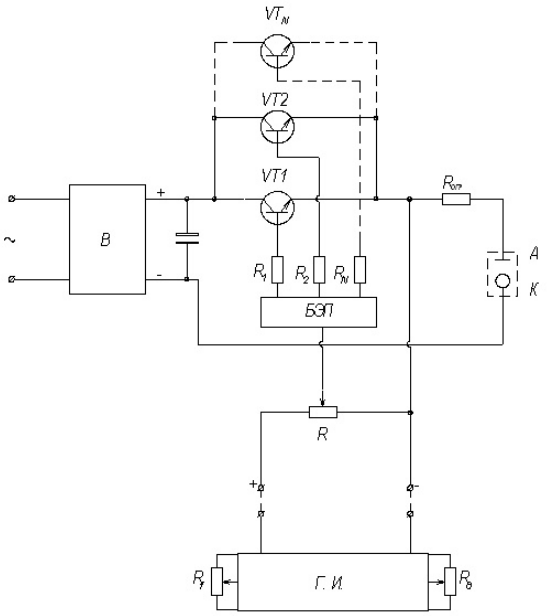
а) б)

Рис. 5. Осцилограми падіння напруги на тиристорі, ввімкненому в коло змінного (а) та випрямленого (б) струму

Крім того, недоліком тиристорних джерел живлення з фазовим керуванням є дискретність їхньої роботи. З моменту відмикання тиристор стає некерованим до того часу, поки напруга на ньому не впаде до нуля (рис. 5). При потужних дугових розрядах навіть за досить малий період їх існування може відбутися пошкодження деталей. Тому, незважаючи на такі властивості тиристорних джерел живлення, як компактність, економічність і ефективність управління параметрами розряду, вони потребують спільного застосування спеціальних пристроїв, що захищають вироби від випадкових електричних дуг.

З порівняння властивостей розглянутих джерел випливає, що оптимальним для живлення потужного нормального тліючого розряду слід визнати джерело, побудоване на принципі амплітудного регулювання параметрів, що має круто падаючу зовнішню характеристику і відносно незначні втрати на елементах схеми.

Такі властивості джерела можуть бути досягнуті під час послідовного вмикання у коло тліючого розряду силового високовольтного транзистора. На рис. 6 наведена схема джерела живлення порівняно невисокої потужності – до 2...3 кВт [4]. Це викликано тим, що як регулюючий елемент, замість баластного реостата, у схемі використовується транзистор, ввімкнений послідовно з блоком випрямлення. Під час напруги на електродах розряду 600...800 В джерело забезпечує струм розряду до 3…4 А, для чого в регулюючому вузлі застосовано паралельне з'єднання високовольтних транзисторів серії КТ = 838 (КТ-828). Застосування транзисторів забезпечує отримання зовнішніх характеристик джерела, що наближаються до вертикальних, чим полегшується стабілізація струмового режиму тліючого розряду без використання зворотних зв'язків та відповідних датчиків. Транзистор забезпечує амплітудне регулювання величини струму тліючого розряду без помітних перерв під час його горіння, чим досягається висока ефективність нагріву. Джерело має кращі мас-енергетичні характеристики в порівнянні з джерелом, наведеним на рис. 2 – приблизно 5...6 кг/кВт, оскільки в ньому використовується тільки силовий підвищуючий трансформатор без регулюючого автотрансформатора. Завдяки цьому застосування такого джерела є найбільш ефективним у малогабаритних установках для зварювання та паяння.



В – випрямляч; БЕП – блок розв'язуючих емітерних повторювачів; Г. І. – генератор імпульсів; R_f, R_d – регулятори частоти і шпаруватості імпульсів

Рис. 6. Схема силової частини транзисторного джерела живлення тліючого розряду

Джерело може працювати як у безперервному, так і в імпульсному режимі, що необхідно для запобігання перегріву під час зварювання виробів із тонкостінними елеме-

нтами. Для отримання імпульсного струму розряду в коло керування регулюючих транзисторів, тобто в їх базові кола, подається сигнал з виходу генератора прямокутних імпульсів. Регулювання потужності розряду в цьому випадку можна проводити не тільки зміною амплітуди керуючих імпульсів, але й регулюванням їх частоти в діапазоні 0,1...1000 Гц і шпаруватості в межах 1,5...4. Це значно розширює можливості джерела, оскільки дозволяє здійснювати при підвищених тисках газу достатньо локальний, і в той же час, досить плавний нагрів виробу. Кількість паралельно з'єднаних силових транзисторів обирається за умови 5…7-ми кратного запасу за струмом, оскільки вони працюють під час напруги на колекторі, що наближаються до їх граничних значень.

Перспективним є застосування у транзисторних джерелах живлення тліючого розряду у промислових універсальних установках для дифузійного зварювання та паяння виробів широкої гами типорозмірів сучасних високовольтних біполярних транзисторів серії IGBT, що забезпечують робочі струми до 100…600 А. Це дозволить полегшити умови роботи транзисторів і водночас створити джерела та установки підвищеної потужності.

Висновки. На основі розгляду особливостей тліючого розряду, як джерела енергії в процесах зварювання тиском, визначено, що оптимальним для живлення потужного тліючого розряду (при струмах більше 1 А) є джерело, побудоване на принципі амплітудного регулювання струму, яке має крутопадаючу або вертикальну зовнішню характеристику.

Список використаних джерел

1. Казаков Н. Ф. Диффузионная сварка материалов / Н. Ф. Казаков.– М.: Машиностроение, 1976. – 311 с.

2. Котельников Д. И. Применение оборудования для сварки и пайки в тлеющем разряде / Д. И. Котельников. – Чернигов: ВСНТО, 1981. – 57 с.

3. Уэймаус Д. Газоразрядные лампы / Д. Уэймаус. – М.: Энергия, 1977. – 382 с.

4. Руденко В. С. Преобразовательная техника / В. С. Руденко, В. И. Сенько, И. М. Чиженко. – К.: Вища школа, 1978. – 424 с.

УДК 621.791.754:51-74

И.В. Пентегов, д-р техн. наук
В.Н. Сидорец, д-р техн. наук
О.И. Петриенко, канд. техн. наук
А.М. Жерносеков, канд. техн. наук
Черниговский государственный технологический университет, г. Чернигов, Украина
Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, г. Киев, Украина

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА РАСПЛАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДА ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ СТАЛЕЙ

Получено и исследовано зависимости коэффициента расплавления электрода от параметров процесса дуговой сварки. Проведен сравнительный анализ процессов плавления с испарением металла электрода, подогрева электрода и без таковых. Выявлено влияние этих факторов на коэффициент расплавления электрода. Выполнено сравнение полученных результатов с экспериментальными данными.

Отримано та досліджено залежності коефіцієнта розплавлення електрода від параметрів процесу дугового зварювання. Проведено порівняльний аналіз процесів плавлення з випаровуванням металу електрода, підігріву електрода і без таких. Виявлено вплив цих факторів на коефіцієнт розплавлення електрода. Виконано порівняння отриманих результатів з експериментальними даними.

Dependence of the electrode melting from the arc welding process parameters has been obtained and investigated. A comparative analysis of the melting process with the evaporation of the metal electrode, an electrode heating and without them was been carried out. The influence of these factors on the rate of electrode melting was been revealed. The obtained results were been compared with experimental data.

Введение. Скорость плавления электрода есть основным фактором, который влияет на производительность процесса дуговой сварки, и определяет его энергетическую и экономическую эффективность. Поэтому исследование зависимости скорости плавле-

ния от различных параметров процесса является актуальным, особенно в наше время, когда вопросы ресурсо- и энергосбережения стали первоочередными.

Плавление электрода при дуговых способах сварки происходит посредством нагрева металла электрода дугой от температуры окружающей среды T0 до температуры капли Tdrop. Основной характеристикой плавления электрода является массовая скорость плавления Gmelt, измеряемая массой расплавленного металла электрода в единицу времени (кг/с) [1; 2; 3]. На практике пользуются средней скоростью плавления, относя количество расплавленного металла электрода ко времени сварки [3].

Скорость плавления зависит от многих факторов (состава электрода и покрытия, флюса, защитного газа, величины сварочного тока, его вида и полярности, длины вылета и диаметра электрода и др.). Опытным путем установлено, что при малых вылетах массовая скорость плавления Gmelt (производительность) в первом приближении прямо пропорциональна току сварки I:

$$G_{melt} = \alpha_{melt} I \,. \qquad (1)$$

Коэффициент пропорциональности αmelt носит название коэффициента расплавления электрода и имеет размерность кг/(с·А). Накоплено большое количество данных по его экспериментальному измерению. Но эти данные плохо поддаются систематизации, т. к. крайне разрознены. Величина коэффициента расплавления αmelt сама сложным образом зависит от величины сварочного тока I, его характера и полярности, а также от температуры капли Tdrop. Определение этих зависимостей при дуговой сварке и является целью этой статьи.

Энергетические характеристики приэлектродных областей. По современным представлениям с привлечением принципа детального равновесия [4; 5; 6; 7] мощность P, поступающая от сварочной дуги в каплю, равна:

$$P = U_{eq} I \,, \qquad (2)$$

где Ueq – эквивалентное напряжение при расплавлении дугой [4] имеет различный вид:

$$U_{eq} = \left(U_a + \varphi + \frac{3k_B T_A}{2q_e} \right); \quad U_{eq} = \left(U_k - \varphi - \frac{3k_B T_A}{2q_e} \right). \qquad (3)$$

Для сварки на обратной и прямой полярности соответственно. Здесь Ua – анодное падение напряжения, для стали U_a = 3,5..4 В [2, 6, 7]; U_k – катодное падение напряжения, для стали U_k = 13,5..14 В [2, 6, 7]; φ – работа выхода (для чистого железа φ = 4,31 В [8], для проволок сварочных стальных марок Св-08А – 3,63 В, Св-08ГА – 3,83 В, Св-10ХМ – 4,15 В, Св-08Г2С – 4,26 В [8]); T_A – температура плазмы дуги, 3kBTA/$2q_e$ – напряжение, эквивалентное тепловой энергии электронов в плазме дуги [4, с. 40; 9], где kB = 1,38066·10-23 Дж/К – постоянная Больцмана, q_e = 1,6022·10-19 Кл – заряд электрона.

Последний член в правых частях (3) при сварке на обратной полярности учитывает энергию, передаваемую аноду при соударении электрона с анодом, а при сварке на прямой полярности – энергию, которую необходимо затратить для разгона электрона в катодной области до скоростей электронов в плазме.

При горении дуги в парах железа величину 3kBTA/$2q_e$ можно оценить, если в это выражение подставить температуру плазмы дуги T_A, приближенно определяемую по формуле К.К. Хренова [10; 11] T_A = 2qeUi,Fe/29kB = 6266 K, где Ui,Fe = 7,83 В – потенциал ионизации паров металла железа.

В результате получим 3kBT_A/$2q_e$ = 3Ui,Fe/29 ≈ 0,81 В. При наличии в материале электрода элементов с низким потенциалом ионизации (например, цезия) в эту формулу необходимо подставлять потенциал ионизации этого элемента. Окончательно имеем для сварки на обратной и прямой полярности соответственно:

$$U_{eq}=\left(U_a+\varphi+\frac{3}{29}U_i\right);\quad U_{eq}=\left(U_k-\varphi-\frac{3}{29}U_i\right). \tag{4}$$

Здесь U_i – потенциал ионизации элемента в составе проволоки (или обмазки) с наименьшим потенциалом ионизации.

Обычно при обратной полярности 7,4 В ≤ U_{eq} ≤ 9,2 В, при сварке на прямой полярности 7,1 В ≤ U_{eq} ≤ 8,6 В. Следует отметить, что в работе [4] приведены заниженные значения Ueq, так как авторы исходили из неточного баланса мощностей.

Плавление электрода без учета испарения с поверхности капли. Рассмотрим вначале случай, когда испарение металла с поверхности капли мало и им можно пренебречь. В этом случае тепловложение в металл электрода от дуги, которое характеризуется мощностью P, идет на нагрев металла электрода, поступающего в зону плавления, от температуры электрода T0 до температуры капли Tdrop, и на тепло, затрачиваемое на фазовые переходы. Этот баланс мощностей может быть записан следующим образом:

$$P=U_{eq}I=G_{melt}\left(\int_{T_0}^{T_{drop}}C_p\left(T\right)dT+\Sigma\lambda\right), \tag{5}$$

где $C_p(T)$ – удельная теплоемкость стали, Дж/(кг·К); сумма удельных теплот фазовых превращений железа: Σλ = λA2 + λA3 + λA4 + λA5.

Для определения теплосодержания расплавленного металла необходимо знать все теплофизические параметры стали. Ввиду некоторого разброса теплофизических параметров для разных марок сталей нами были использованы параметры чистого железа.

На рис. 1 приведена опытная кривая зависимости удельной теплоемкости $C_p(T)$ чистого железа от температуры [12, с. 94]. Температурные зависимости удельной теплоемкости низкоуглеродистой стали (0,1 %С) приведены в работах [13, с.143; 14, с.194]. Значения удельной теплоты для каждого фазового превращений железа были взяты из этих же монографий.

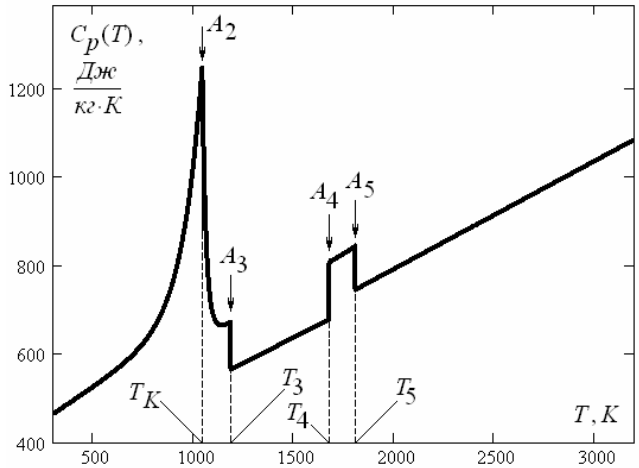


Рис. 1. Температурная зависимость удельной теплоемкости C_p для чистого железа в интервале температур от 0 до 3300 К [12]

В случае, когда потерями тепла от электрода на конвекцию и излучение можно пренебречь, получаем уравнение для определения коэффициента расплавления αmelt при отсутствии испарения с поверхности капли и коротких замыканий. Из уравнений (1) и (5) найдем

$$\alpha_{melt}=\frac{G_{melt}}{I}=\frac{U_{eq}}{\int_{T_0}^{T_{drop}}C_p\left(T\right)dT+\Sigma\lambda}. \tag{6}$$

Из формулы (6) следует, что коэффициент расплавления αmelt сильно зависит от температуры капли расплавленного металла.

Будем оперировать со средней температурой капли Tdrop [15; 16], являющейся важным технологическим параметром, влияющим на глубину проплавления сварного шва. Дело в том, что на границе капли с электродом температура капли близка к температуре плавления металла Tmelt, а на границе капли с дугой температура капли близка к температуре кипения Tb металла электрода, при этом, благодаря интенсивному перемешиванию в середине капли температура выравнивается, и эту температуру будем рассматривать как среднюю температуру Tdrop, которая в свою очередь зависит от величины сварочного тока.

Известно, что при сварке в защитных газах на обратной полярности теплосодержание капли на торце электрода выше, чем при сварке на прямой полярности. Обобщенный график эмпирических зависимостей температуры капли Tdrop от тока, построенный по данным работ [15; 17; 18; 19] для диаметров электродов 1, 1,2, 1,6, 2 мм, приведен на рис. 2. При сварке в аргоне, в смесях газов или в гелии Tdrop следует выбирать ближе к верхней границе рекомендуемого диапазона температур. Таким образом, Tdrop может выбираться с отклонением от экспериментальных кривых в ту или другую сторону. Для больших толщин изделий рекомендуется выбирать Tdrop выше средних значений, при малых толщинах – наоборот. При отклонении в сторону возрастания температуры Tdrop глубина проплавления увеличивается, при отклонении в сторону уменьшения температуры глубина проплавления уменьшается, что полезно при наплавке.

При ручной дуговой сварке Tdrop уменьшается с ростом частоты коротких замыканий и это позволяет регулировать величину Tdrop при сварке штучным электродом.

Подставляя в формулу (6) значения U_{eq} из выражений (4) для обратной полярности и значения Tdrop на верхней и нижней границах зоны обратной полярности рис. 2, получим сплошные кривые на рис. 3, ограничивающие область возможных значений αmelt при сварке на обратной полярности и отсутствии испарения с поверхности капли.

Аналогично, получим пунктирные кривые на рис. 3, ограничивающие область возможных значений αmelt при сварке на прямой полярности и отсутствии испарения с поверхности капли.

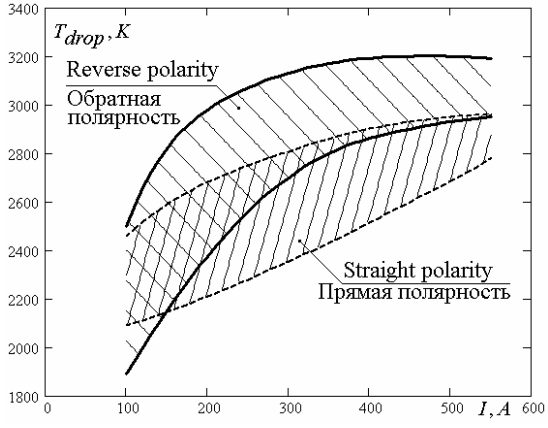


Рис. 2. Области изменения средней температуры капли расплавленного металла при сварке в инертных газах (обобщение опытных данных [15; 17; 18; 19])

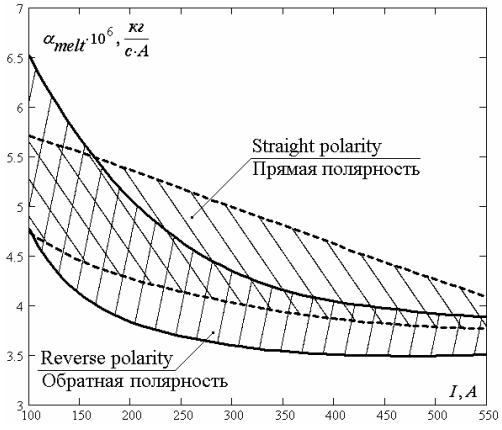


Рис. 3. Области изменения коэффициента расплавления αmelt для случая, когда испарением с поверхности капли можно пренебречь и подогрев электрода отсутствует

Заметим, что чем ниже температура капли, тем больше коэффициент расплавления αmelt. При этом увеличивается количество наплавленного металла, но значительно уменьшается глубина проплавления основного металла. Режимы с большими коэффициентами расплавления αmelt выбирают при наплавке, при сварке выбирают режимы с

повышенными температурами капли и уменьшенным коэффициентом расплавления αmelt. Для этого случая больше подходит сварка на обратной полярности с более высокими температурами капель. С ростом сварочного тока различия в температурах капель при прямой и обратной полярностях уменьшаются.

Плавление электрода с учетом испарения металла с поверхности капли. Необходимо отметить, что пренебрежение процессами испарения приводит к получению завышенных значений коэффициентов расплавления αmelt.

Поэтому при более уточненном подходе учтем влияние испарения металла с поверхности капли. Так как на практике массовая скорость расплавления Gmelt измеряется массой укорочения электрода в единицу времени, то масса испарившегося металла Gev в единицу времени уже содержится в Gmelt. Пусть его доля в расплавленном металле Gmelt составляет ξ. Тогда можно записать Gev = ξ·Gmelt, а количество металла, оставшегося в расплавленном состоянии, будет равно Gmelt·(1 – ξ).

Баланс мощностей в этом случае может быть записан следующим образом:

$$U_{eq} I = (1-\xi) G_{melt} \left[\int_{T_0}^{T_{drop}} C_p(T)\, dT + \Sigma\lambda \right] + \xi G_{melt} \left\{ \int_{T_0}^{T_A} C_p(T)\, dT + \Sigma\lambda + r \right\}. \quad (7)$$

Здесь выражение в квадратных скобках представляет теплосодержание капель расплавленного металла при температуре Tdrop, а выражение в фигурных скобках представляет некоторое усредненное теплосодержание паров железа (r – удельная теплота парообразования железа) при температуре плазмы дуги T_A (пары железа попадают в столб дуги и верхний предел интегрирования в интеграле в фигурных скобках согласно принципа детального равновесия должен быть равен T_A).

Из уравнений (1) и (7) найдем формулу для определения коэффициента расплавления αmelt при учете испарения с поверхности капли и отсутствии коротких замыканий

$$\alpha_{melt} = \frac{G_{melt}}{I} = \frac{U_{eq}}{(1-\xi)\left[\int_{T_0}^{T_{drop}} C_p(T)\, dT + \Sigma\lambda \right] + \xi \left[\int_{T_0}^{T_A} C_p(T)\, dT + \Sigma\lambda + r \right]}. \quad (8)$$

Величина ξ согласно исследованиям А.В. Петрова [20] составляет около 9..10 % и не зависит от величины сварочного тока. Вообще величина G_{ev} по своей сути должна быть обратно пропорциональна скрытой теплоте парообразования и прямо пропорциональна удельной энергии, идущей на расплавление металла [21], поэтому ξ близко к величине

$$\xi = \frac{G_{ev}}{G_{melt}} = \frac{\int_{T_0}^{T_{drop}} C_p(T)\, dT + \Sigma\lambda}{\int_{T_0}^{T_A} C_p(T)\, dT + \Sigma\lambda + r}. \quad (9)$$

Например, при Tb =1808 K, T0 = 293 K и TA = 6266 K, доля ξ, определенная по формуле (9), будет равна ξ = 10 %. Эта формула проще и существенно отличается от подобной формулы, предложенной В.И. Дятловым [21].

В случае отсутствия подогрева электрода, подставляя в формулу (8) T0 = 293 K, ξ = 10 % и значения U_{eq} из выражений (4) для обратной полярности и значения Tdrop на верхней и нижней границах зоны обратной полярности на рис. 2, получим сплошные кривые на рис. 4, ограничивающие область возможных значений αmelt при сварке на обратной полярности при учете испарения с поверхности капли. Аналогично, получим пунктирные кривые на рис. 4, ограничивающие область возможных значений αmelt при сварке на прямой полярности при учете испарения с поверхности капли при отсутствии подогрева электрода.

Сравнение кривых на рис. 4 , полученных с учетом испарения металла, с кривыми на рис. 3, полученных при отсутствии испарения металла, показывает, что коэффициент расплавления αmelt при учете испарения с поверхности капли уменьшается в 1,4..1,8 раза. Поэтому можно сделать вывод, что учет влияния испарения обязателен.

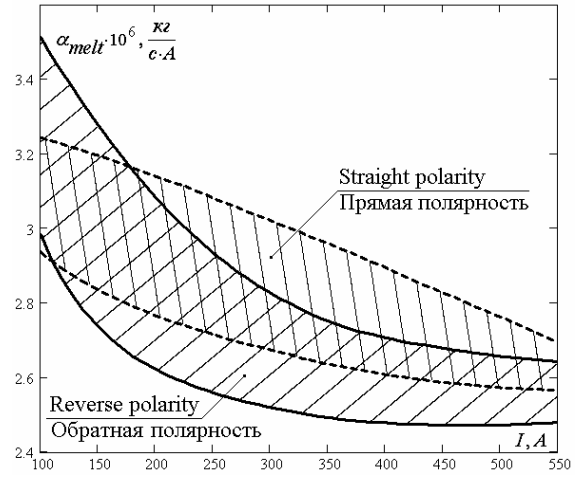


Рис. 4. Области изменения коэффициента расплавления αmelt при учете испарения с поверхности капли и отсутствии подогрева электрода

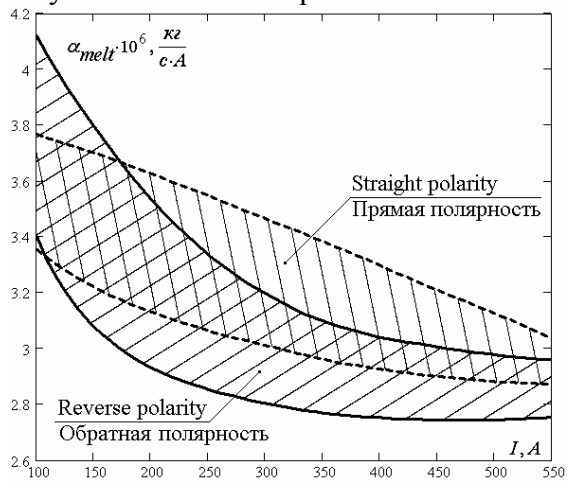


Рис. 5. Области изменения коэффициента расплавления αmelt при учете испарения с поверхности капли и подогреве электрода на 400 °С

Хотя величина ξ невелика, второе слагаемое в знаменателе выражения (8) сравнимо по величине с первым слагаемым из-за большой величины теплосодержания паров железа, что, собственно, и обусловливает существенное снижение коэффициента расплавления αmelt при учете испарения металла с поверхности капли.

Плавление электрода с учетом его подогрева. Отметим, что температура электрода, близкая к Т0 = 293 К, наблюдается при подводной сварке, а также в начале сварки штучным электродом при ручной дуговой сварке. В конце сварки штучным электродом на воздухе, также при механизированной сварке, особенно с длинным вылетом, электрод может подогреваться на 400 °С (Т0 = 693 К). При этом уравнение (9) дает ξ = 8,5 % и, пересчитывая формулу (8) при этих новых значениях Т0 и ξ, получим для αmelt семейство кривых, приведенное на рис. 5.

Сравним полученные на рис. 5 результаты с известными опытными данными различных авторов.

При сварочном токе 100 А и средней температуре капли 1900 К величина αmelt лежит в интервале (3,4..4,1)·10-6 кг/(с·А). При сварочном токе 150 А и средней температуре капли 2150 К величина αmelt лежит в интервале (3,1..3,8)·10-6 кг/(с·А). При сварочном токе 200 А и средней температуре капли 2375 К величина αmelt лежит в интервале (2,93..3,54)·10-6 кг/(с·А). Эти величины хорошо согласуются с величинами αmelt = 3,2·10-6 кг/(с·А) и αmelt = 3,75·10-6 кг/(с·А), приведенными в работах [2; 17; 20; 22]. Величины αmelt, приведенные в работе [1], сильно завышены, так как в этой работе не учитывалось влияние испарения на коэффициент расплавления электрода.

При сварке на переменном токе для получения правильного результата в формуле (8) необходимо брать среднеарифметическое значение U_{eq} [2], равное согласно (4)

$$U_{eq} = \frac{U_a + U_k}{2}. \qquad (10)$$

При сварке под водой величина αmelt уменьшается на 9..10 % , поэтому для сохранения технологических режимов сварки ток сварки необходимо увеличивать на эти же 9..10 % по сравнению со сваркой в воздухе.

Коэффициент расплавления αmelt в начале сварки штучным электродом – на эти же 9..10 % меньше чем в конце, когда остаток электрода сильно перегрет.

Выводы. Предложенный подход позволяет определить зависимости коэффициента расплавления электрода при дуговой сварке от тока, его вида и полярности, от температуры капли электродного металла, а также учесть испарение с поверхности капли и подогрев электрода.

Испарение металла с поверхности капли значительно снижает коэффициент расплавления электрода, поэтому для увеличения производительности перспективно применять технологии дуговой сварки, которые протекают с минимальным испарением, например, импульсно-дуговую сварку, где есть возможность регулировать процесс формирования и переноса капель.

Подогрев электрода повышает коэффициент расплавления электрода, что нельзя не учитывать при механизированной сварке с длинным вылетом, а также при сварке штучным электродом.

Список использованных источников

1. Теоретические основы сварки / В. В. Фролов, В. А. Винокуров, В. Н. Волченко [и др.]. – М.: Высшая школа, 1970. – 592 с.

2. Лесков Г. И. Электрическая сварочная дуга / Г. И. Лесков. – М.: Машиностроение, 1970. – 335 с.

3. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / под ред. акад. Б. Е. Патона. – М.: Машиностроение, 1974. – 768 с.

4. Nakamura T. Wire Melting Behavior by Non-Steady Heat Conduction Numerical Analysis in Gas Metal Arc Welding. Development of Ultra-Narrow Gap GMA Welding Process. Report 2. / T. Nakamura, K. Hiraoka // Quarterly Journal of the Japan Welding Society. – 2002. – Vol. 20. – No.1. – P. 53-62.

5. Рабкин Д. М. Энергетическое исследование приэлектродных областей мощной сварочной дуги / Д. М. Рабкин // Автоматическая сварка. –1951. – № 2. – С. 3-25.

6. Schellhase M. Der Schweiβlichtbogen – ein technologisches Werkzeug / M. Schellhase. – Berlin: VEB Verlag Technik, 1985. – 236 s.

7. Ленивкин В. А. Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах / В. А. Ленивкин, Н. Г. Дюргеров, Х. Н. Сагиров. – М.: Машиностроение, 1989. – 264 с.

8. Фоменко В. С. Эмиссионные свойства материалов: справочник / В. С. Фоменко. – К.: Наукова думка, 1981. – 338 с.

9. Ерохин А. А. Основы сварки плавлением. Физико-химические закономерности / А. А. Ерохин. – М.: Машиностроение, 1973. – 448 с.

10. Хренов К. К. Температура сварочной дуги / К. К. Хренов // Автогенное дело. –1949. – № 8. – С. 14-15.

11. Пентегов И. В. Обобщение формулы К. К. Хренова для определения температуры плазмы сварочной дуги / И. В. Пентегов // Автоматическая сварка. – 2004. – № 8. – С. 50-51.

12. Гудремон Э. Специальные стали: в 2-х томах. Т. 1 / Э. Гудремон. – М.: Металлургия, 1966. – 736 с.

13. Теория сварочных процессов / В. Н. Волченко, В. М. Ямпольский, В. А. Винокуров [и др.]; под ред. В. В. Фролова. – М.: Высшая школа, 1988. – 559 с.

14. Бабат Г. И. Индукционный нагрев металлов и его промышленное применение / Г. И. Бабат. – Москва-Ленинград: Энергия, 1965. – 552 с.

15. Походня И. К. Теплосодержание капель электродного металла при сварке в углекислом газе / И. К. Походня, А. М. Суптель // Автоматическая сварка. – 1970. – № 10 (211). – С. 6-8.

16. Modelling and Analysis of Metal Transfer in Gas Metal Arc Welding / Wang F., Hou W.K., Hu S.J., et al // Journal of Physics D: Applied Physics. – 2003. – V. 36. – No. 9. – P. 1143-1152.

17. Акулов А. И. Автоматическая сварка в защитных газах плавящимся электродом технологических трубопроводов: автореф. дис. … д-ра техн. наук / А. И. Акулов. – М., 1964. – 20 с.

18. Потапьевский А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом / А. Г. Потапьевский. – М.: Машиностроение, 1974. – 240 с.

19. Походня И. К. Плавление электродов и взаимодействие металла с газами при дуговой сварке: автореф. дис. … д-ра техн. наук / И. К. Походня. – К., 1968. – 42 с.

20. Петров А. В. Перенос металла в дуге при сварке плавящимся электродом в среде защитных газов / А. В. Петров //Автоматическая сварка. – 1955. – № 2. – С. 26-33.

21. Дятлов В. И. Элементы теории переноса электродного металла при электродуговой сварке / В. И. Дятлов // Новые проблемы сварочной техники: сборник. – К.: Техника, 1964. – С. 167-182.

22. Хренов К. К. Электрическая сварочная дуга / К. К. Хренов. – М.: Машгиз, 1949. – 204 с.

УДК 621.791.75:537.523:621.373.7

А.И. Бушма, канд. техн. наук
В.Н. Сидорец, д-р техн. наук
Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, г. Киев, Украина

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ЛАЗЕРНО-ДУГОВОГО РАЗРЯДА

Найдено закономерности изменения радиуса при изменении тока, что позволило определить динамическое силовое воздействие колебательного лазерно-дугового разряда. Установлено, что давление по оси разряда на фронте импульса тока колебательного лазерно-дугового разряда гораздо больше, чем давление, создаваемое лазерно-дуговым разрядом постоянного тока, особенно, если колебания близки к релаксационным. По своему силовому воздействию колебательный лазерно-дуговой разряд подобен известным процессам дуговой сварки модулированным током и импульсно-дуговой сварки.

Знайдено закономірності зміни радіуса при зміні струму, що дозволило визначити динамічну силову дію коливального лазерно-дугового розряду. Встановлено, що тиск по осі розряду на фронті імпульсу струму коливального лазерно-дугового розряду набагато більший, ніж тиск, що створюється лазерно-дуговим розрядом постійного струму, особливо, якщо коливання близькі до релаксаційних. По своєму силовій дії коливальний лазерно-дуговий розряд подібний відомим процесам дугового зварювання модульованим струмом та імпульсно-дугового зварювання.

Regularities of the radius change when the current changes, which allowed determining the dynamic force effect of the oscillatory laser-arc discharge, were been found. It is established that the pressure on the axis of the discharge on the front of current pulse of oscillating laser-arc, far more than the pressure produced by dc laser-arc discharge, especially if the oscillations are close to the relaxation ones. In terms of power influence the oscillating laser-arc is similar to the known processes of the arc welding by modulated current and pulse-arc welding.

Введение. Комбинированные лазерно-дуговые процессы и технологии, в частности сварка и обработка материалов [1-3], обеспечивают значительное увеличение производительности изготовления изделий, а также повышение их качества. Синергетический эффект при воздействии лазерного пучка и электрической дуги на обрабатываемую поверхность позволяет получить новые типы изделий, соединений и конструкций, которые невозможно осуществить с помощью лазера и электрической дуги в отдельности. Именно поэтому в последние десятилетия эти процессы привлекают пристальное внимание ученых всего мира.

Авторами были разработаны принципы построения специализированных источников питания лазерно-дугового разряда [4], т. к. применение обычного сварочного оборудование, в частности источников питания электрической дуги, не всегда экономически оправдано.

Решение этой задачи базировалось на анализе электрических цепей с сосредоточенными параметрами, в состав которых входит лазерно-дуговой разряд, как элемент цепи. Для этого авторами было проведено исследование статических вольтамперных характеристик этого разряда [5].

Было обнаружено, что в исследуемой системе могут возникать автоколебания тока лазерно-дугового разряда, и исследованы их амплитудно-частотные характеристики [6]. Сделан вывод, что эти автоколебания могут стать основой при разработке новых сварочных технологий. Амплитудно-частотные характеристики показали, что эти технологии подобны известным технологиям дуговой сварки модулированным током и импу-

льсно-дуговой сварки. Именно эти процессы имеют неоспоримые технологические преимущества перед обычным дуговым сварочным процессом.

Данная работа посвящена исследованию технологических характеристик автоколебаний тока лазерно-дугового разряда, в частности его силового воздействия.

Динамическое силовое воздействие лазерно-дугового разряда. Воспользуемся результатами работ [7], которые посвящены проблеме силового воздействия электрической дуги. Хотя в них довольно точно учтены все электромагнитные механизмы силового воздействия электрической дуги, анализ силового воздействия дан только в статике, а зависимость геометрических размеров электрической дуги, в частности радиуса ее столба, от величины тока во внимание не принималась. Постараемся расширить область применения имеющейся модели на случай лазерно-дугового разряда, при этом будем использовать те результаты работ [7], которые остаются правомерными и в случае изменяющегося радиуса разряда.

В первую очередь это касается такой важной характеристики силового воздействия, как давление на оси лазерно-дугового разряда. Поскольку лазерная составляющая является безтоковой, выражение для давления на оси лазерно-дугового разряда не отличается от выражения давления на оси дуги [7]

$$p_{\max} = \frac{\mu_0 i^2}{4\pi^2 r_A^2}, \tag{1}$$

где μ_0 – магнитная постоянная, i – ток дуги.

Формула (1) получена [7] для случая, когда радиус разряда величина постоянная (r_A = const), но она остается справедливой, когда радиус r_A является величиной изменяющейся.

Динамика радиуса лазерно-дугового разряда. В работе [8] показано, что динамику лазерно-дугового разряда можно описывать с помощью обобщенной модели динамической дуги, если статическую вольтамперную характеристику (ВАХ) и постоянную времени дуги заменить на статическую ВАХ и постоянную времени лазерно-дугового разряда соответственно.

Особенность обобщенной модели динамической дуги по сравнению с другими является возможность выражения внутренней энергии столба дуги через ее электрические параметры.

А именно, из обобщенной математической модели динамической дуги [9] следует, что

$$Q = 2\theta \int_0^{i_\theta} U\left(i_\theta\right) di_\theta, \tag{2}$$

где θ – постоянная времени лазерно-дугового разряда; i_θ – ток состояния [9].

Статическая ВАХ лазерно-дугового разряда описывается зависимостью $U(i_\theta)$. Нами использовалась статическая ВАХ степенного вида

$$U\left(i_\theta\right) = U_0 \left(\frac{i_\theta}{I_0}\right)^n, \tag{3}$$

где I_0 и U_0 – ток и напряжение в фиксированной точке на ВАХ лазерно-дугового разряда; n – безразмерный показатель степени ($n < 0$), что приводит формулу (2) к следующему виду

$$Q = \frac{2}{1+n} U_0 I_0 \theta \left(\frac{i_\theta}{I_0}\right)^{1+n}. \tag{4}$$

С другой стороны, внутренняя энергия лазерно-дугового разряда может быть выражена через термодинамические функции плазмы

$$Q = l_A \int_0^{r_A} \left(\int_{T_0}^{T_A(r)} c_{pv}(T)\, dT \right) 2\pi r dr, \qquad (5)$$

где T_0 –температура окружающей среды; T_A – температура плазмы столба дуги, являющаяся функцией текущего радиуса r; $c_{pv}(T)$ – удельная объемная теплоемкость; $c_{pv} = \rho_p c_p$; ρ_p – плотность плазмы столба дуги; c_p – удельная массовая теплоемкость плазмы.

Если воспользоваться теоремой о среднем, то уравнение (5) можно представить в виде

$$Q = \pi r_A^2 l_A \int_{T_0}^{T_{A,av}} c_{pv}(T)\, dT = \pi r_A^2 l_A q. \qquad (6)$$

Здесь $T_{A,av}$ – эквивалентное среднее значение температуры плазмы по поперечному сечению лазерно-дугового разряда; q – средняя удельная внутренняя энергия плазмы.

Приравнивая правые части выражений (6) и (4), находим

$$r_A = \sqrt{\frac{2E_0 I_0 \theta}{(1+n)\pi q}} \cdot \left(\frac{i_\theta}{I_0} \right)^{\frac{1+n}{2}}. \qquad (7)$$

Здесь $E_0 = U_0/l_A$ – напряженность электрического поля лазерно-дугового разряда. Отметим, что значение $T_{A,av}$ слабо зависит от тока дуги и определяется в основном составом газа и электродов, поэтому подкоренное выражение в формуле (7) можно с достаточной для практики точностью считать не зависящим от тока состояния i_θ.

При постоянном токе $i_\theta = I_0$ значение $r_A = r_{A0}$, и из формулы (7) следует, что

$$r_A(t) = r_{A0} \left(\frac{i_\theta(t)}{I_0} \right)^{\frac{1+n}{2}}. \qquad (8)$$

Выражение (8) задает закон изменения радиуса лазерно-дугового разряда r_A во времени и может использоваться при исследовании его динамического силового воздействия.

Анализ динамического силового воздействия лазерно-дугового разряда. С учетом формулы (8) выражение для давления (1) по оси лазерно-дугового разряда p_{max} в динамике можно переписать в виде

$$p_{\max}(t) = \frac{\mu_0}{4\pi^2} \cdot \frac{i^2(t)}{r_{A0}^2} \cdot \left(\frac{I_0}{i_\theta(t)} \right)^{1+n}. \qquad (9)$$

Этим выражением можно воспользоваться для анализа силовых характеристик автоколебательных режимом лазерно-дугового разряда, т. к. при исследовании электрических цепей с лазерно-дуговым разрядом [6] нами были получены временные зависимости как тока разряда *i(t)*, так и его тока состояния $i_\theta(t)$.

На рис. 1 и далее использованы безразмерные переменные [6]. Масштабы были следующие: для токов – I_0, для времени – θ. Параметр Θ – безразмерная постоянная времени цепи обратной связи [6].

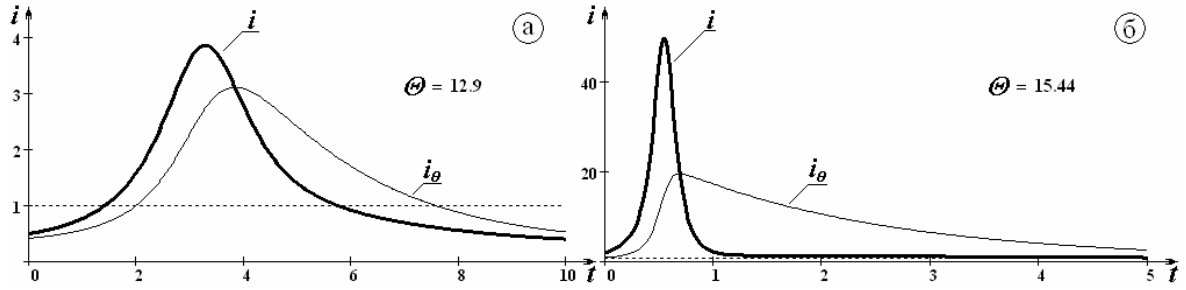


Рис. 1. Временные зависимости тока лазерно-дугового разряда i(t) и его тока состояния $i_\theta(t)$: а) – колебания, близкие к гармоническим; б) – релаксационные колебания

Как видно из рис.1, ток состояния $i_\theta(t)$, которым согласно (8) определяется радиус разряда r_A, запаздывает по отношению к току разряда $i(t)$. Поэтому следует ожидать повышения давления при резком нарастании тока.

На рис. 2 изображена часть периода колебаний тока лазерно-дугового разряда $i(t)$, его радиуса $r_A(t)$ и давления на оси разряда $p_{max}(t)$. Масштабы на этом рисунке следующие: для радиуса – r_{A0}, для давления – $\mu_0 I_0^2/4\pi^2 r_{A0}^2$. Отметим, что если значение I_0 выбрать в качестве постоянного тока разряда, то с помощью рис. 2 удобно проводить сравнение колебательных режимов с режимом постоянного тока.

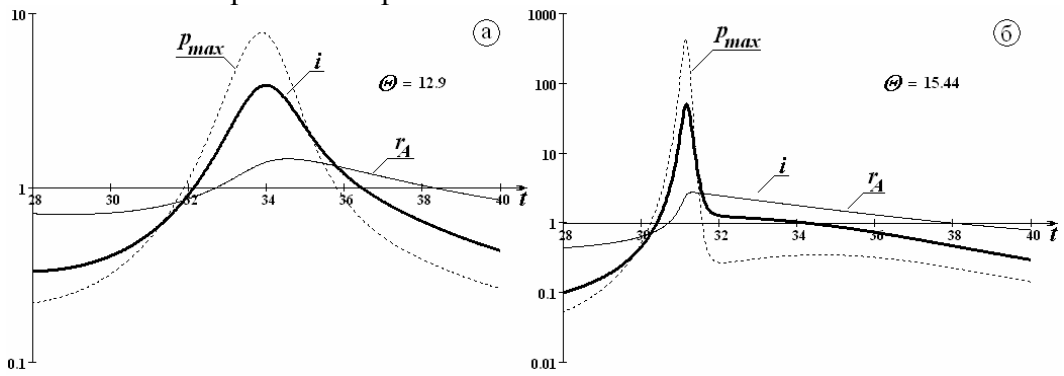


Рис. 2. Временные зависимости тока лазерно-дугового разряда i(t), его радиуса $r_A(t)$ и давления на оси разряда $p_{max}(t)$: а) – колебания, близкие к гармоническим; б) – релаксационные колебания (ось ординат – логарифмическая)

Анализ кривых на рис. 2 подтверждает предположения, сделанные выше. Чем больше скорость нарастания тока разряда, тем больше амплитуда пика давления. Так амплитуда пика давления при релаксационных колебаниях (рис. 2, б) в 425 раз больше, чем давление разряда при постоянном токе. Амплитуда пика давления при колебаниях, близких к гармоническим (рис. 2, а) в 7,7 раз больше, чем давление разряда при постоянном токе. Объясняется это тем, что при релаксационных колебаниях за время нарастания фронта импульса тока радиус разряда изменяется незначительно.

Очевидно, силовое воздействие одного импульса колебаний тока лазерно-дугового разряда значительно превышает силовое воздействие этого разряда на постоянном токе. Однако такие инерционные объекты, как сварочная ванна, воспринимают не мгновенное, а усредненное воздействие.

На рис. 3 приведена зависимость среднего давления на оси лазерно-дугового разряда от постоянной времени цепи обратной связи Θ. Из него видно, что среднее давление при колебательном разряде может превышать это же давление разряда постоянного тока более чем в три раза. А это скажется на увеличении глубины проплавления, что характерно для процесса импульсно-дуговой сварки.

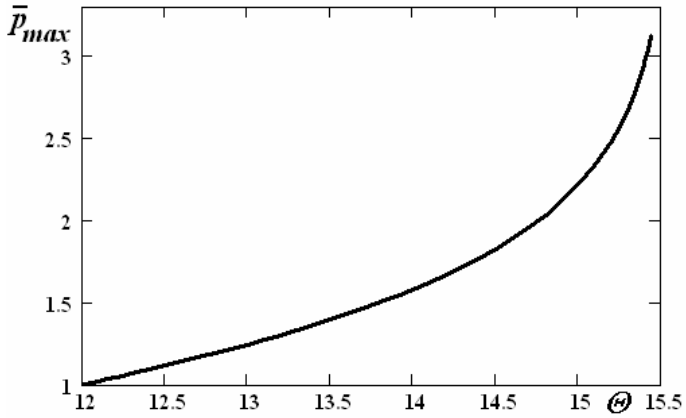


Рис. 3. Зависимость среднего давления на оси лазерно-дугового разряда от постоянной времени цепи обратной связи

Поддержка научных исследований. Научные исследования, результаты которых изложены выше, проведены при финансовой поддержке «Державного фонду фундаментальних досліджень України» в рамках совместного украинско-российского проекта ДФФД-РФФИ-2011 (грант Ф40.7/047).

Выводы. Знание закономерности изменения радиуса позволяет определить динамическое силовое воздействие при колебательных режимах горения лазерно-дугового разряда.

Давление по оси разряда на фронте импульса тока колебательного лазерно-дугового разряда гораздо больше, чем давление, создаваемое лазерно-дуговым разрядом постоянного тока, особенно, если колебания близки к релаксационным.

По своему силовому воздействию колебательный лазерно-дуговой разряд подобен известным процессам дуговой сварки модулированным током и импульсно-дуговой сварки.

Список использованных источников

1. Лазерно-дуговая сварка металлов / В. В. Башенко, С. Г. Горный, В. А. Лопота [и др.]. – Л.: Изд-во ЛДНТП, 1988. – 22 с.

2. Laser-arc discharge: Theory and applications / V. S. Gvozdetsky, I. V. Krivtsun, M. I. Chizhenko, et al. // Welding and Surfacing Rev. – Harwood Academic Publ, 1995. – Vol. 3. –148 p.

3. Сом А. И. Лазер + плазма: поиск новых возможностей в наплавке / А. И. Сом, И. В. Кривцун // Автоматическая сварка. – 2000. – № 12. – С.36-41.

4. Bushma A. I. Feedbacks Impact on the Work Stability of Laser-Arc Discharge Power Source / A. I. Bushma, V. N. Sydorets // Технічна електродинаміка. – 2011. – Ч. 1. – С. 219-222. – (Тем. випуск. Силова електроніка та енергоефективність).

5. Бушма А. И. Квазистатические вольтамперные характеристики комбинированного лазерно-дугового разряда / А. И. Бушма, В. Н. Сидорец // Технічна електродинаміка. – 2010. – Ч. 1. – С. 201-204. – (Тематичний випуск. Силова електроніка та енергоефективність).

6. Бушма А. И. Амплитудно-частотные характеристики автоколебаний в цепи с лазерно-дуговым разрядом / А. И. Бушма, В. Н. Сидорец // Електротехніка і електромеханіка. – 2012. – № 3. – С. 15-18.

7. Лебедев В. К. Силовое воздействие сварочной дуги / В. К. Лебедев, И. В. Пентегов //Автоматическая сварка. –1981. – № 1. – С. 7-15.

8. Bushma A. I. Common approach to modeling the arc blown by gas and combined laser-arc discharge / A. I. Bushma // Технічна електродинаміка. – 2011. – Ч. 1. – С. 234-237. – (Тематичний випуск. Силова електроніка та енергоефективність).

9. Пентегов И. В. Энергетические параметры в математической модели динамической сварочной дуги / И. В. Пентегов, В. Н. Сидорец // Автоматическая сварка. – 1988. – № 11. – С. 36-40.

РОЗДІЛ V. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.94

В.В. Литвинов, д-р техн. наук, професор
І.В. Стеценко, канд. техн. наук, доцент
Інститут проблем математичних машин і систем, м. Київ, Україна
Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна

МОДЕЛЬ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РОЗПОДІЛЕНИМИ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИМИ РЕСУРСАМИ

Запропоновано використання Петрі-об'єктної технології моделювання для побудови імітаційної моделі системи управління розподіленими обчислювальними ресурсами. Побудовано модель розподілу обчислювальних ресурсів однорівневої грід-системи та здійснено дослідження ефективності вибраної стратегії управління.

Постановка проблеми. На сьогодні розроблені ефективні програмні та інструментальні засоби створення грід-систем. Найбільш відомими відкритими програмними продуктами, що забезпечують стандартний набір бібліотек для інтеграції користувачів, є Globus Toolkit та Sun Grid Engine. Комерційна версія останнього – Sun Grid Engine, Enterprise Edition, – призначена для управління ресурсами підприємств і спроможна обслуговувати кілька незалежних проектів та груп користувачів.

Основним питанням, що залишається недостатньо дослідженим, є алгоритми розподілу обчислювальних та інформаційних ресурсів, які знаходяться у спільному використанні користувачів грід-системи. Користувачі прагнуть отримувати бажані ресурси з найменшим часом очікування, а проектувальники систем управління забезпечують насамперед несуперечність прав доступу до ресурсів грід-системи, відсутність конфліктних ситуацій, відсутність відмов обслуговування.

Моделі статичного розподілу ресурсів не задовольняють потреби обчислювальних систем, тому є необхідність розробки моделі динамічного розподілу ресурсів.

Аналіз досліджень і публікацій. Огляд публікацій [1], [2], [3], [4] що розглядають розподіл ресурсів грід-систем, підтверджує наявність різноманітних підходів щодо розв'язання проблеми, а також про необхідність розробки ефективних способів моделювання різних стратегій управління ресурсами розподілених систем. Існуючі системи моделювання грід-систем, такі як MicroGrid, OptorSim, GridSim, SimGrid, мають ряд недоліків, пов'язаних з вузькою спеціалізацією, обмеженістю модельованої архітектури грід-систем, недостатньою гнучкістю у визначенні способу управління [5].

Мета дослідження. У цій публікації наведені результати моделювання системи управління розподіленими обчислювальними ресурсами з метою дослідження її ефективності та вибору параметрів управління. Використання Петрі-об'єктного підходу [6] дозволило розробити та дослідити модель динамічного розподілу обчислювальних ресурсів грід-системи.

Модель системи управління з блокуванням захоплення ресурсу. Кластерні системи можуть використовуватись для масиву послідовних програм, або розподілених програм, що використовують спільні дані, або паралельних програм. У роботі розглянуто [7] цей огляд архітектури кластерних систем та наведено аналіз програмних пакетів управління потоками завдань таких систем. Система управління кластера розподіляє обчислювальні ресурси кластера між завданнями, що надходять від користувачів. Система має черги завдань користувачів та виділяє необхідний обчислювальний ресурс для виконання завдання таким чином, щоб максимально задовольнити потреби користувачів.

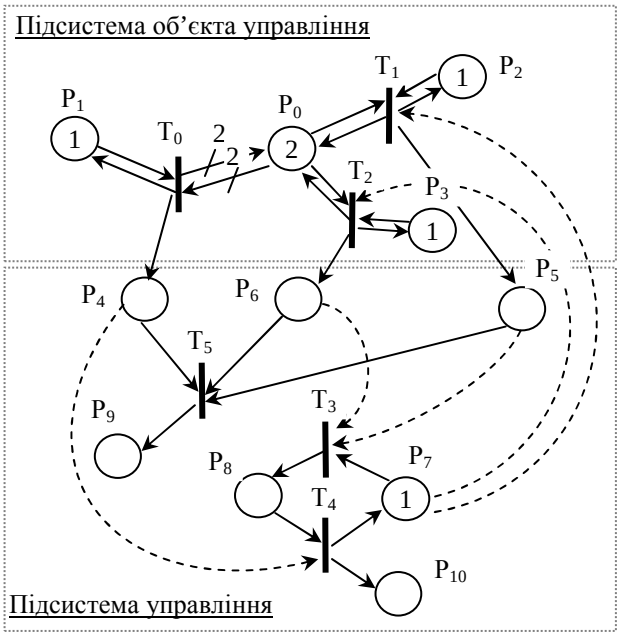


Рис. 1. Модель системи управління розподілом обчислювальних ресурсів, що використовує блокування захоплення ресурсу

Розглянемо найпростіший приклад розподілення обчислювальних ресурсів між трьома користувачами (рис.1). Завдання користувача *A* потребують використання всіх обчислювальних ресурсів, а завдання інших користувачів можуть виконуватись одночасно. Модель системи представимо мережею Петрі з часовими затримками, з конфліктними та багатоканальними переходами, з інформаційними зв'язками (рис.1). Позиція P_0 представляє кількість доступного спільного ресурсу, позиції P_1, P_2, P_3 представляють буфер завдань *A*, *B*, *C* відповідно. Припускається, що у буфері завдань завжди є завдання для обчислення. Часові затримки в переходах T_0, T_1, T_2 відповідають часу виконання завдань користувачів *A*, *B*, *C*. Нерівномірність споживання ресурсів призводить до того, що при відсутності процесів управління завдання з меншою потребою ресурсу використовують ресурс у повній мірі, а завдання з більшою потребою знаходяться у нескінченному очікуванні вивільнення необхідного обсягу ресурсу. Завдання конфліктують за захоплення ресурсу настільки, що, наприклад, при часових затримках у переходах T_0, T_1, T_2 в середньому 1, 0,157 і 0,333 відповідно, завдання користувачів *B* і *C*, один раз захопивши ресурс і по черзі його вивільняючи, не дають завданням користувача *A* ніякої можливості зайняти ресурс. Присвоєння пріоритету переходу T_0 призводить до зайняття ресурсу виключно завданнями користувача *A*, отже не вирішує проблему розподілу ресурсів між завданнями. Присвоєння ймовірності запуску переходу T_0 також не вирішує проблему, оскільки не виникає конфлікт переходу T_0 з іншими переходами.

Введемо динамічне управління розподілом ресурсів, що здійснюється блокуванням можливості захоплення ресурсів на основі інформації про кількість виконаних завдань. Порівняння кількості виконаних завдань здійснюється переходом T_5 так, що в позиціях P_4, P_5, P_6 міститься інформація про різницю кількості виконаних завдань користувачів *A*, *B*, *C* у порівнянні з іншими завданнями. При більшій кількості виконаних завдань користувачів *B* і *C* приймається рішення про блокування виконання цих завдань (перехід T_3), а при більшій кількості виконаних завдань користувача *A* – рішення про зняття цього блокування (перехід T_4).

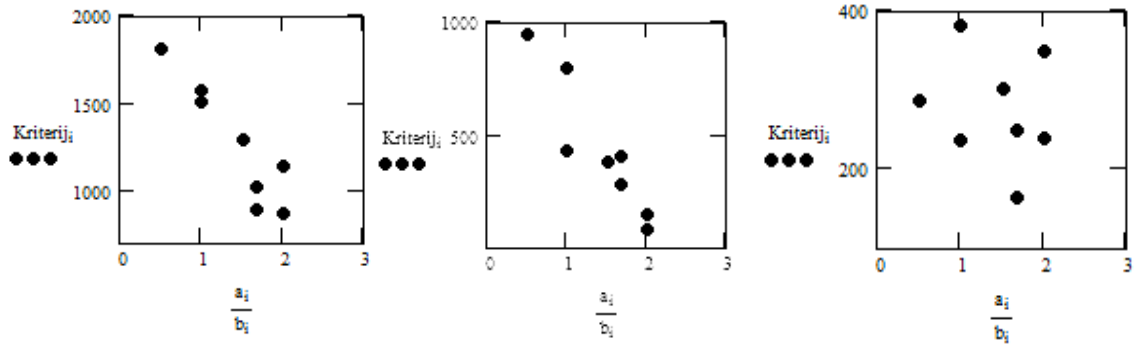
Дослідження імітаційної моделі системи управління дозволяє оцінити ефективність функціонування системи при різних значеннях параметрів управління. Введемо параметри управління, що відповідають умовам, за яких приймається рішення про блокування:

$$a = w_{5,3} = w_{5,5},\ b = w_{6,3} = w_{6,5},\ c = w_{4,4} = w_{4,5} = 1,$$

де $w_{i,j}$ – вага дуги, що з'єднує позицію P_i і перехід T_j.

Результати експериментів наведені на рис. 2. За результатами виходить, що $a = 1,\ b = 2$ є найкращою комбінацією параметрів з точки зору найбільшої загальної

кількості виконаних завдань, $a = 2,\ b = 1$ є найліпшою комбінацією параметрів з точки зору досягнення найменшої різниці у кількості виконаних завдань різних класів, а комбінацією $a = 2,\ b = 2$ є найоптимальнішою з точки зору найбільшої кількості виконаних завдань класу *C*.



а) *б)* *в)*

Рис. 2. Результати експериментального дослідження параметрів системи управління розподілом ресурсів при різних критеріях: а) загальна кількість виконаних завдань усіх класів; б) загальна різниця у кількості виконаних завдань усіх класів; в) кількість виконаних завдань класу С

Модель системи управління з виділенням ресурсу планувальником завдань

Розглянемо однорівневу грід-систему, що складається з планувальника системи та розподілених обчислювальних ресурсів. Обчислювальні ресурси представлені комп'ютерами користувачів, а планувальник управляє розподілом ресурсів між користувачами системи так, щоб забезпечувати синхронізований та несуперечливий доступ користувачів грід-системи до спільних обчислювальних ресурсів. Планувальник взаємодіє не з апаратними ресурсами, а з грід-сервісами програмної інфраструктури, що встановлені у розподілених обчислювальних вузлах. Грід-сервіси з певним інтервалом часу, що називають тактом управління, надають планувальнику інформацію про поточний стан обчислювального ресурсу. Введення такту управління є необхідною умовою організації управління грід-систем.

Окрім несуперечливого та безвідмовного доступу до ресурсів, планувальнику ставиться також завдання забезпечення найбільш високої вдоволеності потреб користувачів, що вимірюється такими величинами як середній час очікування завдань, інтенсивність відмов обслуговування завдань користувача, інтенсивність споживання обчислювального ресурсу користувачами та іншими.

Рішення про виділення ресурсу приймається планувальником системи управління на початку кожного такту управління відповідно до заданого алгоритму розподілу обчислювальних ресурсів або відповідно до вибору тієї чи іншої політики розподілу. Програмний пакет Sun Grid Engine, Enterprise Edition (SGEEE), наприклад, надає можливість вибору однієї з чотирьох політик розподілу ресурсів між незалежно працюючими користувачами: політика розділених ресурсів, функціональна політика, політика „роботи до строку", політика явного виділення ресурсів [9]. Поняття „справедливого" управління розподілом ресурсів пов'язують з таким розподілом ресурсів грід-системи, при якому віртуальний обчислювальний ресурс розподіляється між активними користувачами пропорційно їх внеску у загальний віртуальний обчислювальний ресурс [1]. Активні користувачі отримують доступ до віртуального ОР пропорційно своїй квоті:

$$x_i = \frac{p_i}{\sum\limits_{i \in U} p_i},\ \sum_i x_i = 1, \qquad (1)$$

де p_i – квота *i*-ого користувача, що розраховується як частка ресурсу, внесеного користувачем у загальний віртуальний обчислювальний ресурс, x_i – частка доступного

віртуального ресурсу з урахуванням тільки активних користувачів, U – множина активних користувачів.

Модель системи управління грід-ресурсами побудована з застосуванням технології Петрі-об'єктного моделювання [6] і складається з Петрі-об'єктів "Планувальник", "Користувач", "Завдання". Динаміка функціонування Петрі-об'єктів описується стохастичною мережею Петрі з часовими затримками, з багатоканальними та конфліктними переходами, з інформаційними зв'язками (рис. 3, 4, 5).

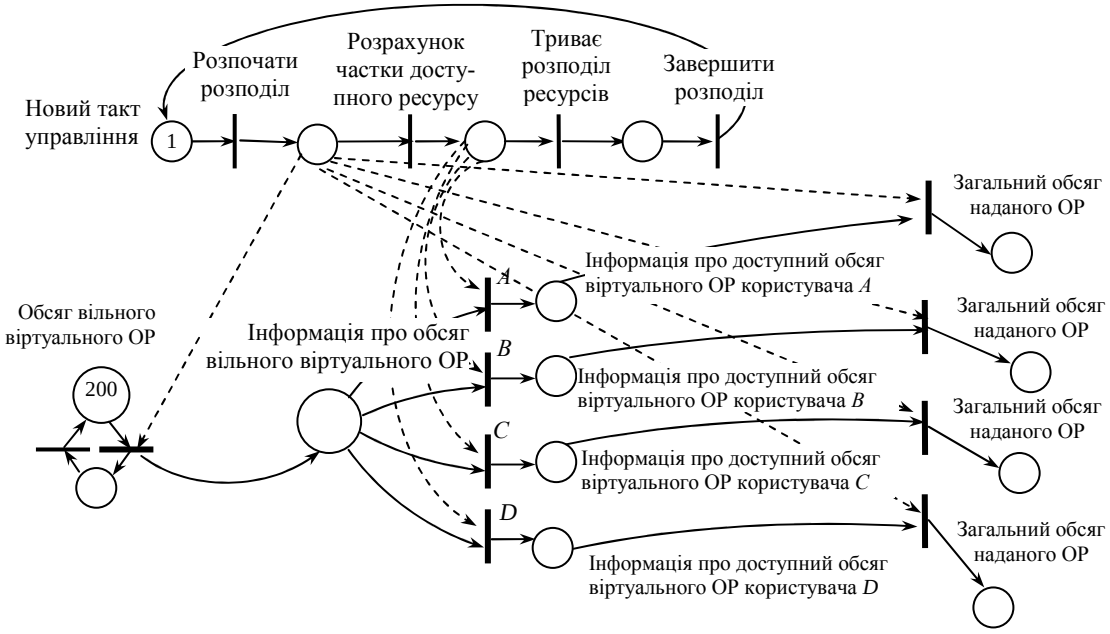


Рис. 3. Мережа Петрі-об'єкта «Планувальник»

Перехід „Розпочати розподіл" здійснюється з часовою затримкою, що дорівнює тривалості такту управління. В результаті запуску переходу „Розрахунок частки доступного ресурсу" Петрі-об'єкта "Планувальник" встановлюються відповідні значення ймовірностей запуску переходів „*A*", „*B*", „*C*", „*D*". Вільний віртуальний обчислювальний ресурс, обсяг якого вимірюється в умовних процесорах чи в одиницях MIPS (Million Instruction Per Second), розподіляється випадковим чином між користувачами відповідно до заданих імовірностей.

Буфер завдань користувача може містити одне або кілька завдань. Виконання кожного завдання, що зберігається в буфері завдань, моделюється відповідним Петрі-об'єктом „Завдання". Якщо наданого планувальником обсягу віртуального обчислювального ресурсу достатньо для виконання завдання, то завдання виконується. В іншому випадку завдання отримує відмову через відсутність достатньої кількості ресурсу в цьому такті управління.

Користувач може знаходитись у пасивному та активному стані, якщо користувач активний, то із заданою інтенсивністю він генерує завдання та потребу завдання в обчислювальному ресурсі. Кожне сформоване завдання відправляється в буфер завдань користувача або отримує відмову, якщо вільного місця в буфері завдань немає. Петрі-об'єкт "Користувач" містить інформацію про поточний стан користувача, кількість місць у буфері завдань, кількість відмов та обсяг невдоволеної потреби користувача.

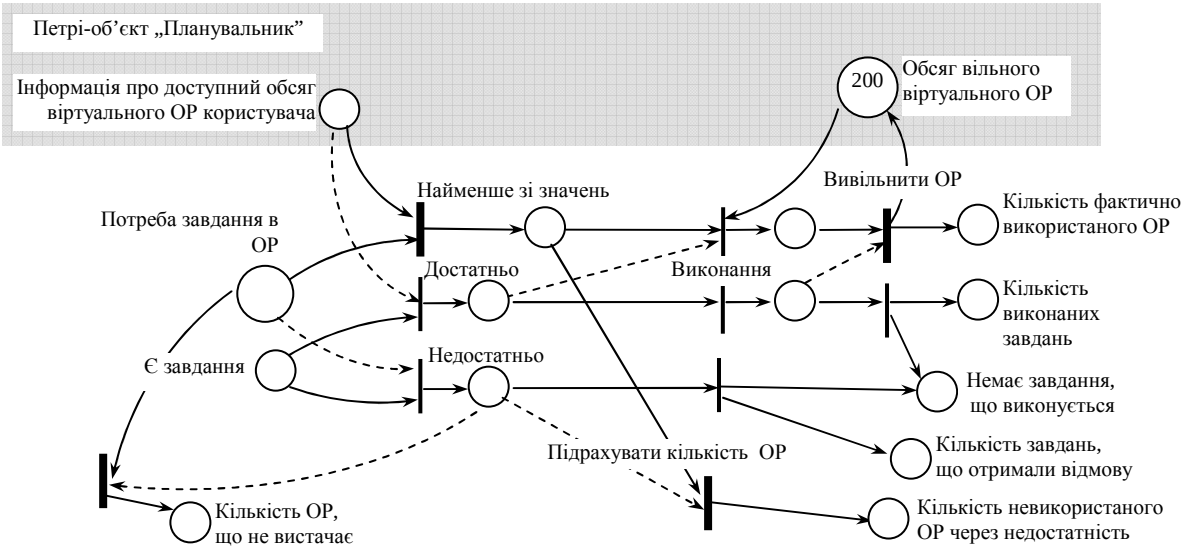


Рис. 4. Мережа Петрі-об'єкта «Завдання»

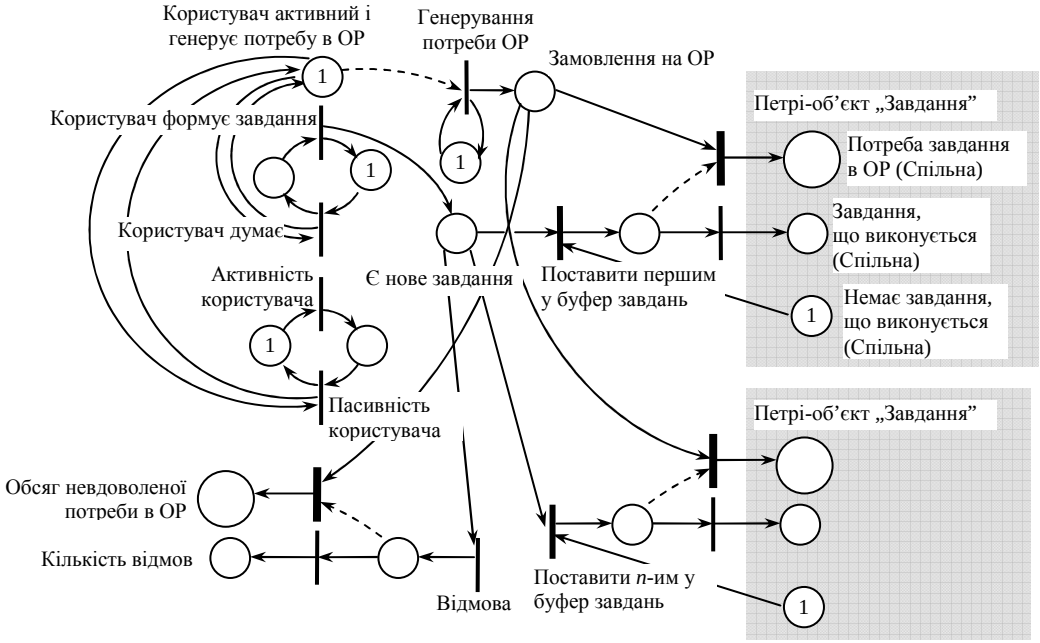


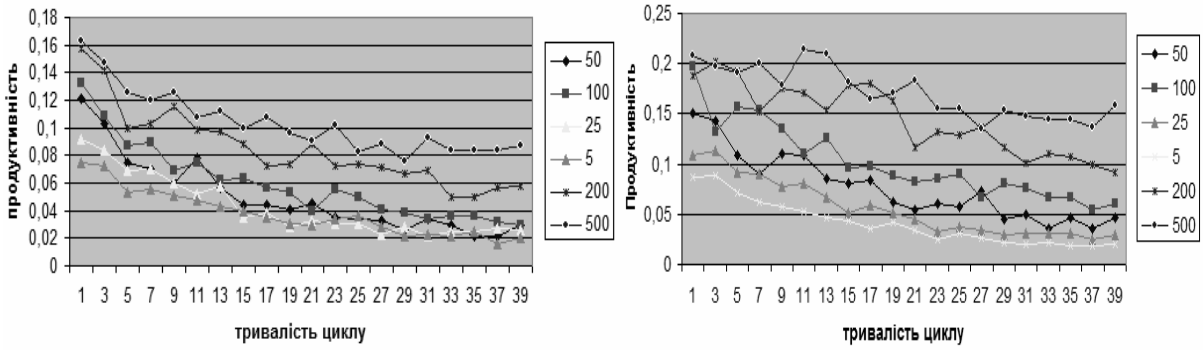
Рис. 5. Мережа Петрі-об'єкта «Користувач»

Результати експериментального дослідження Петрі-об'єктної моделі системи управління грід-ресурсами представлені на рис. 6-9. Серії експериментів проводились з виділенням ресурсу з урахуванням інформації про активних користувачів (формула (1)) та без урахування інформації про активних користувачів ($x_i = p_i = const$), тобто динамічне та статичне управління розподілом ресурсів. Завдання користувачів *B*,*C*,*D* в усіх експериментах надходять з інтенсивністю 1 завдання/4 одиниці часу і потребують у середньому 20 MIPS обчислювального ресурсу, а завдання користувача *A* надходять з інтенсивністю 1 завдання/8 одиниць часу і потребують у середньому 100 MIPS. Для завдань користувачів *B*,*C*,*D* передбачений буфер завдань місткістю одне завдання, а для завдань користувачів *A* – місткістю два завдання.

З результатів виходить, що використання динамічного управління є доцільним тільки при достатньо великій кількості ресурсу. Так, для досліджуваної системи управління

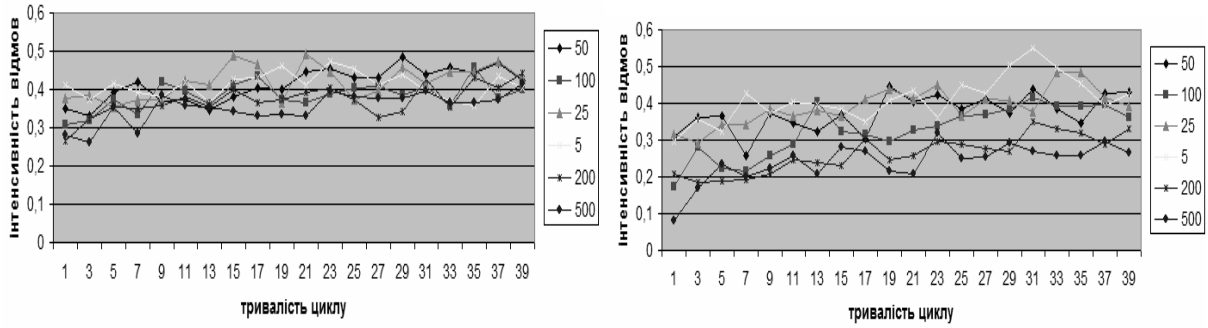
поліпшення характеристик функціонування забезпечується при кількості ресурсу користувача *A* більше 50 MIPS та більше.

Значний вплив на характеристики функціонування системи спричиняє тривалість циклу управління. Використання динамічного управління, у порівнянні зі статичним, дозволяє зменшити інтенсивність відмов. Збільшення обсягу ресурсу користувача *A* при різних значеннях тривалості циклу управління сильно впливає на зростання продуктивності системи при незначних обсягах ресурсів інших користувачів. Тривалість циклу управління сильно впливає на зменшення інтенсивності відмов при зростанні обсягу користувача *A* та великих обсягах ресурсів користувачів *B*,*C*,*D*.



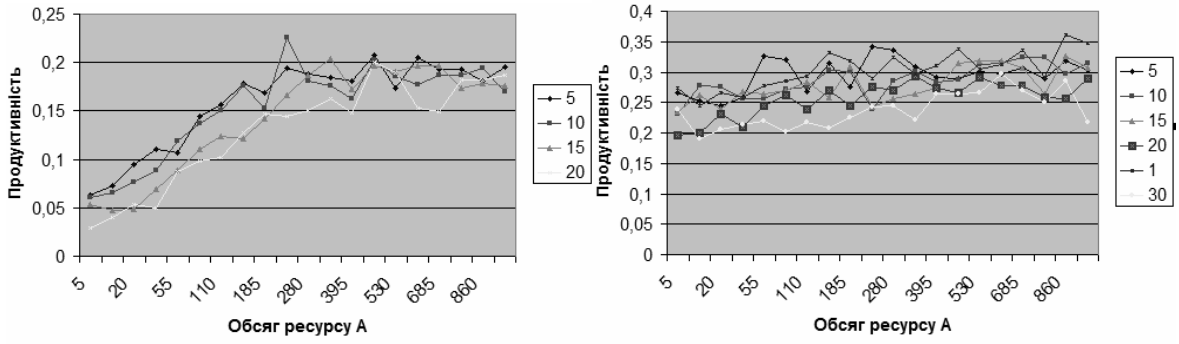
а) *б)*

Рис. 6. Продуктивність при змінюванні тривалості циклу управління для різних значень обсягу ресурсу користувача A(обсяг ресурсу інших користувачів 5MIPS):а)статичне управління; б)динамічне управління



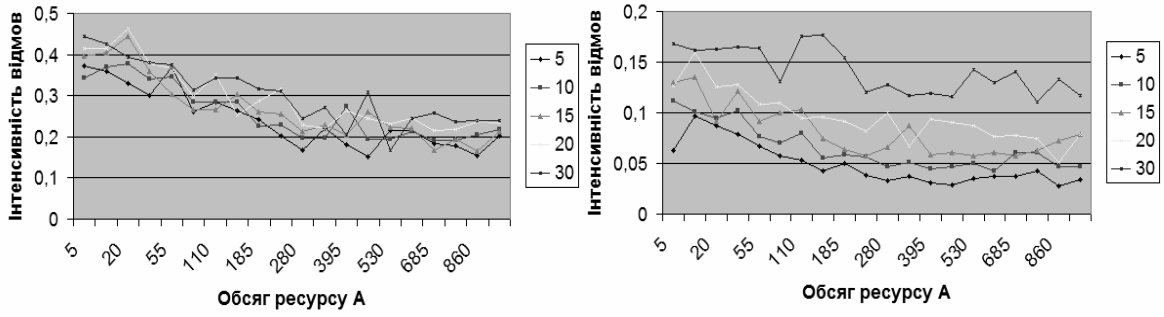
а) *б)*

Рис. 7. Інтенсивність відмов при змінюванні тривалості циклу управління для різних значень обсягу ресурсу користувача A (обсяг ресурсу інших користувачів 5MIPS): а) статичне управління; б) динамічне управління



а) *б)*

Рис. 8. Продуктивність при змінюванні обсягу ресурсу користувача A для різних значень циклу (динамічного) управління: а) обсяг ресурсу інших користувачів 5MIPS; б) обсяг ресурсу інших користувачів 100 MIPS



а) *б)*

Рис. 9. Інтенсивність відмов при змінюванні обсягу ресурсу користувача А для різних значень циклу (динамічного) управління: а) обсяг ресурсу інших користувачів 5MIPS; б) обсяг ресурсу інших користувачів 100 MIPS

Таким чином, вибір стратегії управління і параметрів управління спричиняє значний вплив на характеристики функціонування системи. Відтворення системи управління розподіленими обчислювальними ресурсами з використанням стохастичних мереж Петрі з часовими затримками, з багатоканальними та конфліктними переходами дозволяє враховувати найдрібніші деталі процесу функціонування системи управління та об'єкту управління, такі як: динамічне захоплення обчислювального ресурсу, виділення доступного ресурсу користувача в кожному такті управління відповідно до його квоти, індивідуальні властивості користувачів грід-системи.

Висновки. У результаті наукового дослідження розроблені підходи щодо побудови імітаційної моделі системи управління розподіленими обчислювальними ресурсами, що дозволяє враховувати стратегію та параметри управління, індивідуальні якості користувачів, динамічне захоплення віртуального обчислювального ресурсу користувачами системи залежно від обраної стратегії управління. Дослідження імітаційної моделі управління розподіленими обчислювальними ресурсами дозволяє здійснити вибір стратегії управління та параметрів управління. Використання Петрі-об'єктної технології моделювання систем надає можливість конструювання складної грід-системи з довільною кількістю користувачів та завдань, що зберігаються в буфері завдань.

Список використаних джерел

1. Сайт Института проблем математики им. М. В. Келдыша Российской Академии наук Коваленко В. Н., Корягин Д. А. Организация ресурсов грид // Preprint, Inst. Appl. Math., the Russian Academy of Science. – Москва, 2004 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.keldysh.ru/papers/2004/prep63/prep2004_63.html#_Toc85204258.

2. Шелестов А. Ю. Имитационная модель взаимодействия GRID-узлов с очередью доступа к общей памяти / А. Ю. Шелестов // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – Херсон: ХНТУ, 2008. – №1 (21). – С. 32-40.

3. Эвристики распределения задач для брокера ресурсов Grid / А. И. Аветисян, С. С. Гайсарян, Д. А. Грушин [и др.] // Труды Института системного программирования РАН. Том 5. – М., 2004. – С. 269-280.

4. Петренко А. І. Комп'ютерне моделювання грід-систем / А. І. Петренко // Электроника и связь 5' Тематический выпуск «Электроника и нанотехнологии». – № 5. – К.: Политехника, 2010. – С. 40-48.

5. Sulistio A., Cibej U., Venugopal S., Robic B., Buyya R. A toolkit for modeling and simulating Data Grids: an extension to GridSim / Concurrency and Computation: Practice and Experience - Concurrency. – 0123 John Wiley & Sons, Ltd, 2008. – Vol.20, No 13. – P.1591-1609.

6. Стеценко И. В. Формальное описание систем средствами Петри-объектных моделей / И. В. Стеценко // Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка: зб. наук. пр. – № 53. – К.: ВЕК+, 2011. – С.74-81.

7. Аветисян А. И. Системы управления кластерами / А. И. Аветисян, Д. А. Грушин, А. Г. Рыжов // Труды Института системного программирования РАН. Том 3. – М., 2002. – С. 39-62.

8. Литвинов В. В. Распределенная система имитационного моделирования на основе архитектуры CORBA / В. В. Литвинов, В. В. Казимир, И. Б. Гавсиевич // Математичні машини і системи. – № 2, 3. – К., 2000. – С. 111-114.

9. Анни П. Этот Grid – неспроста… / П. Анни // Открытые системы. – №1. – М., 2003 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://citforum.ru/nets/articles/egridn.shtml.

УДК 004.932.2(045)

П.О. Приставка, д-р техн. наук
М.О. Рябий, аспірант
Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ СТИСНЕННЯ З ВТРАТАМИ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ НИЗЬКОЧАСТОТНИХ ФІЛЬТРІВ

Проведено експериментальне дослідження використання лінійних фільтрів (низькочастотних та псевдозворотних до них контрастних) для підвищення відсотка стиснення цифрованих зображень з втратами. Статистично доведено переваги запропонованого підходу.

Проведено экспериментальное исследование использования линейных фильтров (низкочастотных и псевдообратных к ним контрастных) для повышения процента сжатия цифровых изображений с потерями. Статистически доказано преимущества предложенного подхода.

An experimental study using of linear filters (low-frequency and pseudo inverse contrast tothem) is made to increase the percentage of image compression tsyfrovanyh losses. Statistically is proved benefits of the proposed approach.

Вступ. Значні капіталовкладення в комп'ютерну техніку, здатну ефективно працювати з такими графічними середовищами як Microsoft Windows або X / Motif, створили цілий клас комп'ютерів, здатних відтворювати на екрані складні графічні образи з якістю, що наближається до телевізійного або поліграфічного. Програми, що працюють з графічними образами, відносяться до таких різних категорій, як комп'ютерні ігри, освіта, настільні видавничі системи, а також багатьох інших. Спільна особливість у цих програм одна: графічні файли, з якими вони працюють, займають велику кількість дискового простору.

У кінці 70-х – початку 80-х років технології стиснення графічних образів розвивалися в напрямку застосування звичайних алгоритмів стиснення без втрат до графічних даних [1]. Широко поширені у світі персональних комп'ютерів формати зберігання графічних образів, такі як PCX, BMP, використовуючи ті чи інші методи стиснення без втрат, дозволяють зменшувати обсяг файлу 20 відсотків [2]. Однак зі зростанням обсягу збереженої графічної інформації такий підхід перестав себе виправдовувати.

Постановка проблеми. Тому проблематику цієї роботи визначено потребою у стисненні цифрованих зображень (ЦЗ) відомими методами з додатковою модифікацією, що за можливості має сприяти більшому ступеню компресії, з втратами та без них.

Аналіз досліджень та постановка задачі. Стиснення ЦЗ поділяються на дві групи: стиснення з втратами та стиснення без втрат [3]. Методи стиснення без втрат дають більш низький коефіцієнт стиску, проте, зберігають точне значення пікселів вихідного зображення. Методи стиснення з втратами дають високі коефіцієнти компресії, але не дозволяють відтворити вихідне зображення з точністю до всіх значень кольорових складових пікселя. Загальновідомо, що під час погляду на фотореалістичне ЦЗ, людське око не сприймає всі відтінки кольорів, тому деякі деталі можуть бути проігноровані без суттєвого спотворення зображення. Найбільш відомими та широко розповсюдженими методами стиснення ЦЗ із втратами та без них є алгоритм JPEG та архіватор WinRAR відповідно [4;5].

Вищезазначені методи стиснення дають досить високий коефіцієнт компресії даних, з незначними втратами або за відсутності останніх. У роботі [6] було запропоновано

проведення дослідження в напрямку пошуку інваріантних перетворень ЦЗ, а саме на попередньому етапі стиснення додати низькочастотний фільтр (НЧ) [5], що при використанні разом із запропонованими методами стиснення дозволить підвищити відсоток стиснення. Для відновлення зображення потрібно застосувати зворотну до НЧ фільтра функцію (рис. 1), якою є функція контрастування (КФ) [7].

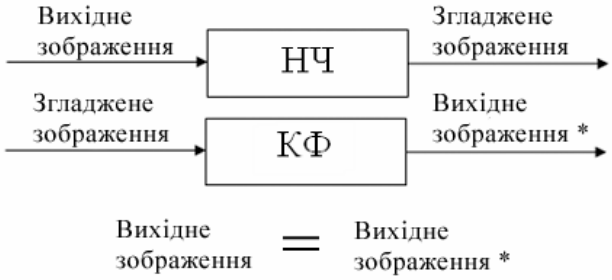


Рис. 1. Функція накладання фільтрів на зображення

Припустимо задано деякий растр, кожному пікселю якого поставлено у відповідність двійка індексів $\{(i,j)\}_{i,j\in\mathbb{Z}}$, що визначають його місцеположення. Не зменшуючи загальності, позначимо $\{p_{i,j}\}_{i,j\in\mathbb{Z}}$ – послідовність кольорової складової (наприклад, з простору RGB) вихідного растру. Під визначенням лінійного фільтра будемо розуміти лінійний оператор $W\left(p^{i,j}\right)$, що призводить до зміни (фільтрації) як форми, так і образу кольорових складових растру

$$\tilde{p}_{i,j}=W\left(p^{i,j}\right)=\sum_{ii=i-r_i}^{i+r_i}\sum_{jj=j-r_j}^{j+r_j}\gamma_{ii-i,jj-j}\,p_{ii,jj},\ i=\overline{-\frac{k_i}{2},\frac{k_i}{2}},\ j=\overline{-\frac{k_j}{2},\frac{k_j}{2}},$$

або (не зменшуючи загальності) $i,j\in\mathbb{Z}$, де (i,j) – індекс пікселя растру; k_i, k_j – розміри кадру зображення; $\tilde{p}_{ii,jj}$ – кольорова складова растру після дії оператора $W\left(p^{i,j}\right)$; $\gamma_{ii-i,jj-j}$ – елемент маски фільтра; $(2r_i+1)\times(2r_j+1)$ – розмір маски фільтра.

Не зменшуючи загальності, в подальших дослідженнях будемо використовувати такі маски лінійних фільтрів:

– низькочастотних

$$\text{Н2.0}=\frac{1}{64}\begin{pmatrix}1&6&1\\6&36&6\\1&6&1\end{pmatrix},\qquad \text{Н3.0}=\frac{1}{36}\begin{pmatrix}1&4&1\\4&16&4\\1&4&1\end{pmatrix}$$

– контрастних (псевдозворотних до відповідних низькочастотних)

$$\text{К2.0}=\frac{1}{1156}\begin{pmatrix}1&-8&48&-8&1\\-8&64&-384&64&-8\\48&-384&2304&-384&48\\-8&64&-384&64&-8\\1&-8&48&-8&1\end{pmatrix},\qquad \text{К3.0}=\frac{1}{196}\begin{pmatrix}1&-6&24&-6&1\\-6&36&-144&36&-6\\24&-144&576&-144&24\\-6&36&-144&36&-6\\1&-6&24&-6&1\end{pmatrix}.$$

Виходячи з вищесказаного, метою цієї роботи є проведення експериментального дослідження для обґрунтування статистично значущого підвищення рівня стиснення ЦЗ з втратами, що практично не сприймаються людським оком при умові використання інваріантних перетворень.

Виклад основного матеріалу. Для проведення досліджень було сформовано вибірку ЦЗ обсягом 100 у форматі BMP без спотворення та артефактів, що ідентифікуються візуально. Спеціальних умов до розмірів, деталізації та сюжетного наповнення ЦЗ, що підлягали обробці, не надавалось. Суть експерименту полягала в стисненні методом JPEG та архіватором WinRAR, на попередньому етапі якого були застосовані низькочастотні фільтри з масками Н2.0 та Н3.0 до кожного ЦЗ. При зворотному процесі на етапі відновлення зображення застосовувався зворотній до низькочастотного фільтра, а саме контрастний (з масками К2.0 та К3.0 відповідно).

Якість відтворення зображень оцінювалась за двома показниками: відношення сигналу до шуму (*PSNR*) та відносна похибка, що визначаються за формулами:

$$PSNR = 10 \cdot \lg\left(255^2 / \sigma_\varepsilon^2\right),$$

$$\Delta_\varepsilon = \frac{1}{n \cdot m} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} \frac{\varepsilon_{i,j}}{p_{i,j}} \cdot 100\%,$$

де n, m – лінійні розміри цифрового зображення; $p_{i,j}$ – значення інтенсивності в (i, j)-й точці растру; $\varepsilon_{i,j}$ – абсолютне відхилення відтворення в зображенні після стиснення в (i, j)-й точці растру; σ_ε^2 – дисперсія похибки відтворення.

Вибір саме таких показників обумовлений тим, що за будь-який час зміни в зображенні не сприймаються людським оком, якщо рівень *PSNR* більший 35 та відносна похибка менше 5 відсотків. Результати експерименту зведено в таблиці (табл.1-2) та наведено на графіках (рис. 2-11).

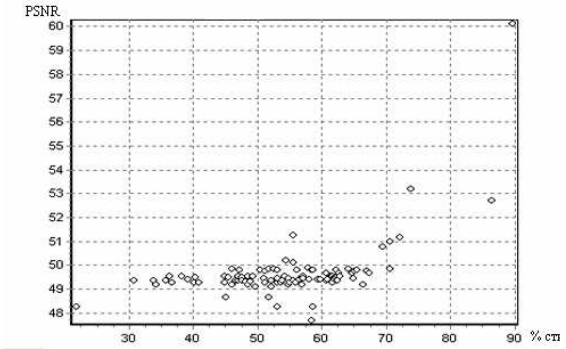


Рис. 2. Кореляційне поле даних колонок 3 та 5 таблиці 1

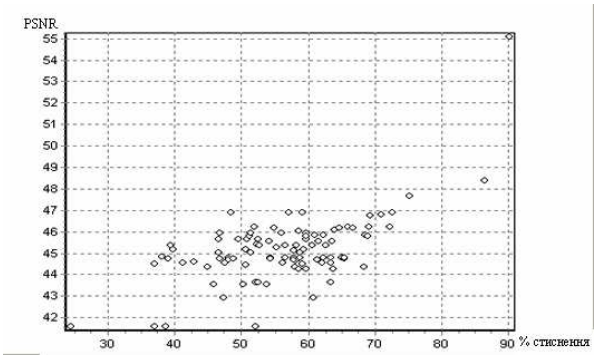


Рис. 3. Кореляційне поле даних колонок 6 та 8 таблиці 1

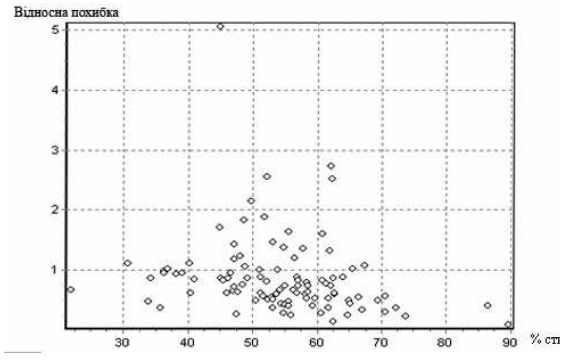


Рис. 4. Кореляційне поле даних колонок 3 та 4 таблиці 1

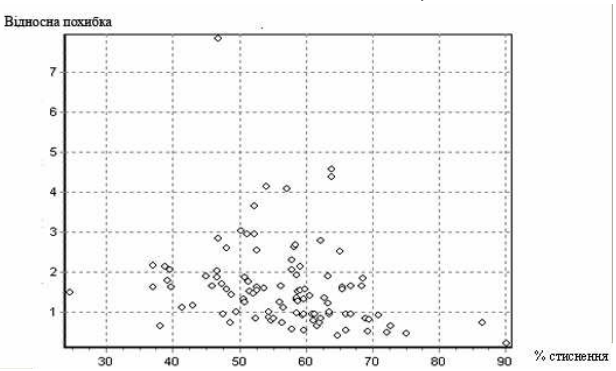


Рис. 5. Кореляційне поле даних колонок 6 та 7 таблиці 1

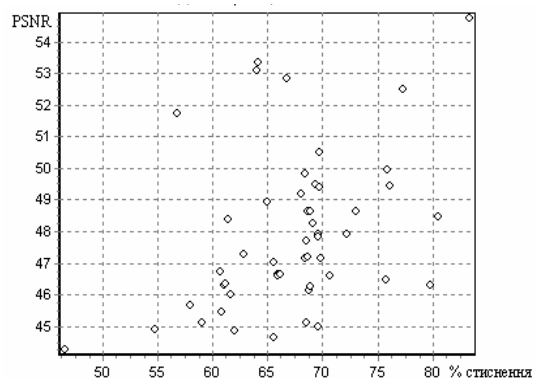


Рис. 6. Кореляційне поле даних колонок 2 та 4 таблиці 2

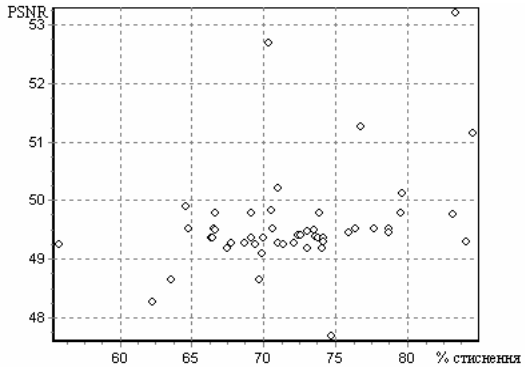


Рис. 7. Кореляційне поле даних колонок 5 та 7 таблиці 2

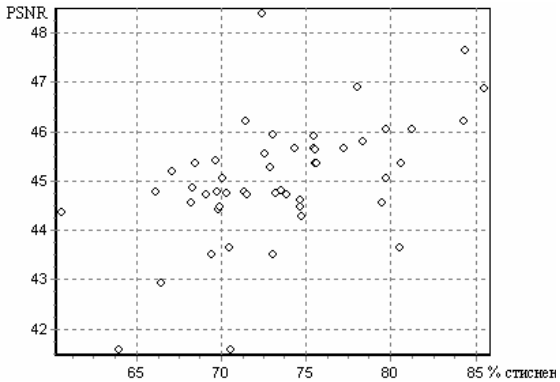


Рис. 8. Кореляційне поле даних колонок 8 та 10 таблиці 2

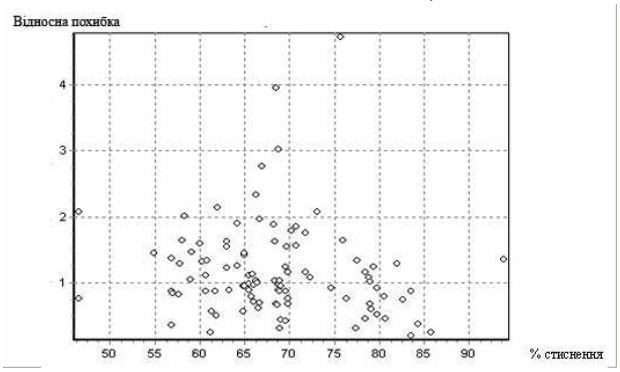


Рис. 9. Кореляційне поле даних колонок 2 та 3 таблиці 2

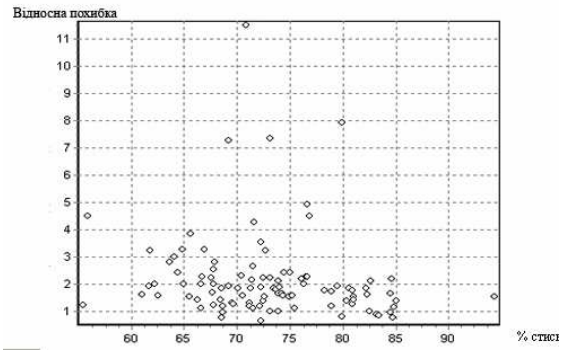


Рис. 10. Кореляційне поле даних колонок 5 та 6 таблиці 2

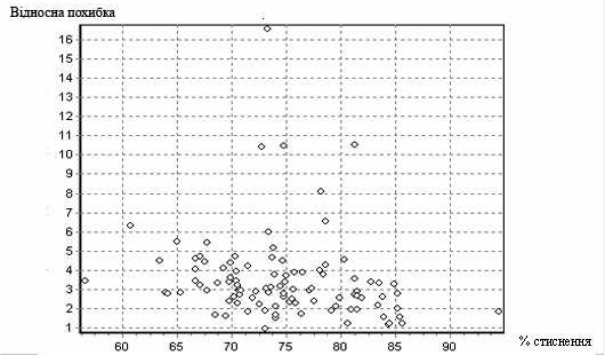


Рис. 11. Кореляційне поле даних колонок 8 та 9 таблиці 2

Таблиця 1

Результати стиснення архіватором WinRAR

№	Відсоток стиснення RAR	Відсоток стиснення RAR H2.0	Відносна похибка RAR H2.0	PSNR RAR H2.0	Відсоток стиснення RAR H3.0	Відносна похибка RAR H3.0	PSNR RAR H3.0
1	2	3	4	5	6	7	8
1	59,04	67,39	1,07	49,67	68,48	1,84	45,84
2	45,50	51,83	0,61	49,49	56,64	1,13	44,78
3	59,67	67,03	0,32	49,76	69,21	0,52	46,22
…	…	…	…	…	…	…	…
99	87,14	89,67	0,08	60,11	91,14	0,23	55,08
100	34,42	40,34	0,61	49,50	42,93	1,16	44,60

У першій колонці першої таблиці (табл. 1) подано нумерацію ЦЗ, що аналізувались (за браком місця всі дані не наводяться). У другій колонці наведено відсоток стиснення

архіватором WinRAR. У третій, четвертій, п'ятій та шостій, сьомій, восьмій колонках наведено відсоток стиснення, відносну похибку та *PSNR* з застосуванням низькочастотної фільтрації з масками Н2.0 та Н3.0 та архіватора WinRAR відповідно.

Таблиця 2

Результати стиснення методом JPEG

№	Відсоток стиснення JPEG	Відносна похибка	PSNR JPEG	Відсоток стиснення JPEG Н2.0	Відносна похибка Н2.0	PSNR JPEG Н2.0	Відсоток стиснення JPEG Н3.0	Відносна похибка Н3.0	PSNR JPEG Н3.0
1	78,51	0,79	50,47	82,63	2,12	43,77	82,76	3,36	40,03
2	59,01	1,05	45,09	66,66	2,26	38,24	69,76	3,37	34,81
3	79,78	0,52	46,28	83,22	0,89	42,01	84,41	1,19	39,48
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
98	61,97	2,13	48,38	65,62	3,83	42,74	67,71	5,41	39,23
99	63,02	1,22	44,85	71,35	2,17	39,90	73,43	2,85	37,49
100	66,53	0,61	46,33	72,14	1,19	40,66	74,08	1,69	37,57

У першій колонці другої таблиці (табл. 2) подано нумерацію ЦЗ, що аналізувались (за браком місця всі дані не наводяться). У другій, третій та четвертій колонці наведено відсоток стиснення, відносну похибку та *PSNR* методом стиснення JPEG. У п'ятій, шостій, сьомій та восьмій, дев'ятій, десятій колонках наведено відсоток стиснення, відносну похибку та *PSNR* з застосуванням низькочастотної фільтрації з масками Н2.0 та Н3.0 та методу JPEG відповідно.

Для статистичної оцінки результатів приведено t-тест для підтвердження трьох основних гіпотез:

- відносна похибка з використанням фільтрів не перевищуватиме значення 1-2 та 5 відсотків для стиснення архіватором WinRAR та методом JPEG відповідно;
- відсоток стиснення з використанням фільтрів перевищуватиме середнє значення відсотка стиснення без використання фільтрів, а саме $X_{сер}$ = 68,45 для методу JPEG та $X_{сер}$ = 46,70 для архіватора WinRAR;
- показник *PSNR* залишатиметься на рівні 45-49 для архіватора WinRAR та 41-38 для методу JPEG.

Статистична характеристика для перевірки гіпотез виводиться так:

$$t_{\varepsilon} = \frac{\bar{\tau}}{\sigma\{\bar{\tau}\}},$$

де $\bar{\tau}$ – середнє значення по кожній складовій (відносна похибка, відсоток стиснення, показник *PSNR*); $\sigma\{\bar{\tau}\}$ – середньоквадратичне відхилення (відносна похибка, відсоток стиснення, показник *PSNR*). Критичне значення статистики для перевірки гіпотез за замовчуванням вважаємо $t_{\alpha/2} = 1,98$, при ймовірності похибки першого роду $\alpha = 0,05$.

У таблиці (табл. 3) наведено результати статистичного дослідження відсотка стиснення. У першій та третій колонці сформульовано гіпотези відповідно до методу стиснення та середнього значення ($X_{сер}$). У другій та четвертій колонці наведено значення t-тесту.

Таблиця 3

Результати t-тесту відсотку стиснення

Алгоритм JPEG			
Н2.0		НЧ3.0	
1	2	3	4
H_0: $X_{сер}$=68,45	t = 6,48	H_0: $X_{сер}$=68,45	t = 9,57
H_1: $X_{сер}$<68,45	Прийняти H_2	H_1: $X_{сер}$<68,45	Прийняти H_2
H_2: $X_{сер}$>68,45		H_2: $X_{сер}$>68,45	

Закінчення табл. 3

1	2	3	4
Архіватор WinRAR			
H2.0		НЧ3.0	
H_0: $X_{сер}$=46,70	t = 6,99 Прийняти H_2	H_0: $X_{сер}$=46,70	t = 9,66 Прийняти H_2
H_1: $X_{сер}$<46,70		H_1: $X_{сер}$<46,70	
H_2: $X_{сер}$>46,70		H_2: $X_{сер}$>46,70	

У наступній таблиці (табл. 4) наведено результати статистичного дослідження відносної похибки. У першій та третій колонці сформульовано гіпотези відповідно до методу стиснення та середнього значення (Хсер). У другій та четвертій наведено значення t-тесту.

Таблиця 4

Результати t-тесту відносної похибки

Алгоритм JPEG			
H2.0		НЧ3.0	
H_0: $X_{сер}$=5	t = -17,84 Прийняти H_1	H_0: $X_{сер}$=5	t = -6,83 Прийняти H_1
H_1: $X_{сер}$<5		H_1: $X_{сер}$<5	
H_2: $X_{сер}$>5		H_2: $X_{сер}$>5	
Архіватор WinRAR			
H2.0		НЧ3.0	
H_0: $X_{сер}$=1	t = -2,05 Прийняти H_1 H_0 вірна при $\alpha = 0,04$	H_0: $X_{сер}$=2	t = -3,47 Прийняти H_1
H_1: $X_{сер}$<1		H_1: $X_{сер}$<2	
H_2: $X_{сер}$>1		H_2: $X_{сер}$>2	

В останній таблиці (табл. 5) наведено результати статистичного дослідження значення *PSNR*. У першій та третій колонці сформульовано гіпотези відповідно до методу стиснення та середнього значення ($X_{сер}$). У другій та четвертій наведено значення t-тесту.

Таблиця 5

Результати t-тесту показника PSNR

Алгоритм JPEG			
H2.0		НЧ3.0	
H_0: $X_{сер}$=41	t = 2,34 Прийняти H_2 H_0 вірна при $\alpha = 0,02$	H_0: $X_{сер}$=38	t = 2,51 Прийняти H_2 H_0 вірна при $\alpha = 0,01$
H_1: $X_{сер}$<41		H_1: $X_{сер}$<38	
H_2: $X_{сер}$>41		H_2: $X_{сер}$>38	
Архіватор WinRAR			
H2.0		НЧ3.0	
H_0: $X_{сер}$=49	t = 5,17 Прийняти H_2	H_0: $X_{сер}$=45	t = 2,01 Прийняти H_2 H_0 вірна при $\alpha = 0,04$
H_1: $X_{сер}$<49		H_1: $X_{сер}$<45	
H_2: $X_{сер}$>49		H_2: $X_{сер}$>45	

Виходячи з статистичного аналізу результатів (рис. 1-10, табл. 1-5), можна зробити такі висновки:

- статистично доведено, що використання інваріантних перетворень ЦЗ («згладжування»-«контрастування») у комплексі з відомими методами стиснення покращують рівень компресії;
- при запропонованому підході показник *PSNR* ЦЗ у середньому на рівні 38-41 для стиснення методом JPEG та 45-49 для стиснення архіватором WinRAR;
- відносна похибка під час відтворення після стиснення ЦЗ у середньому на рівні 1-5 відсотків;
- відсоток компресії ЦЗ за запропонованим способом підвищується від 2 до 20 % залежно від методу стиснення та типу зображення;
- залежно від типу зображення змінюється відсоток стиснення, відносна похибка та *PSNR*, що обумовлено властивостями конкретних ЦЗ, на які варто звернути окрему увагу (або під час розробки спеціалізованих методів стиснення, або під час розробки технологій на основі відомих).

Висновки. Проведені експериментальні дослідження дозволяють стверджувати, що використання низькочастотного фільтра на початковому та контрастного фільтра на кінцевому етапі системи стиснення підвищує відсоток компресії фотореалістичних цифрових зображень і при цьому відбуваються втрати, які могли б бути помітні для людського ока.

Перспективним є зосередити подальші дослідження в напрямку уточнення контрастних фільтрів, що під час використання разом з розглянутими методами стиснення дозволить покращити показник PSNR та зменшити відносну похибку під час використання низькочастотних фільтрів, що мають більш високий ступінь згладжування, ніж наведені в роботі.

Список використаних джерел

1. Мюррей Д. Д. Энциклопедия форматов графических файлов / Д. Д. Мюррей, У. Ван. Райнер. – К., 1997. – 159 с.

2. Ватолин Д. С. Алгоритмы сжатия изображений / Д. С. Ватолин. – М.: Издательский отдел факультета вычислительной математики и кибернетики МГУ им. М. В. Ломоносова, 1999. – 59 с.

3. Миано Дж. Форматы и алгоритмы сжатия изображений в действии / Дж. Миано. – М.: Триумф, 2003. – 336 с.

4. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2006. – 259 с.

5. Приставка П. О. Обчислювальні аспекти застосування поліноміальних сплайнів при побудові фільтрів / П. О. Приставка // Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій: зб. наук. праць. – Дніпропетровськ: Вид-во Дніпропетр. ун-ту, 2006. – С. 3-14.

6. Приставка П. О. Експериментальний аналіз методів стиснення цифрових зображень / П. О. Приставка, М. О. Рябий // Проблеми інформатизації та управління: зб. наук. праць. – К.: НАУ, 2010. – С. 78-84.

7. Приставка П. О. Побудова контрастних фільтрів за використанням поліноміальних сплайнів / П. О. Приставка // Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій: зб. наук. праць. – Дніпропетровськ: Вид-во Дніпропетр. ун-ту, 2007. – С. 15-22.

УДК 621.891:621.316

С.Ф. Філоненко, д-р техн. наук, професор
О.П. Космач, мол. наук. співроб.
Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗМІНИ ЧАСОВИХ ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛІВ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ ПІД ЧАС РУЙНУВАННЯ КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ

Встановлено закономірності зміни часових параметрів формованих сигналів акустичної емісії залежно від швидкості навантаження, неоднорідності фізико-механічних властивостей композиційного матеріалу, а також геометричних розмірів його елементів. Проведено опис отриманих залежностей з їх статистичними оцінками.

***Ключові слова**: акустична емісія, композиційний матеріал, поперечна сила, тривалість, закономірність, залежність, руйнування, елемент.*

Установлено закономерности изменения временных параметров формируемых сигналов акустической эмиссии в зависимости от скорости нагружения, неоднородности физико-механических свойств композиционного материала, а также геометрических размеров его элементов. Проведено описание полученных закономерностей с их статистическими оценками.

***Ключевые слова**: акустическая эмиссия, композиционный материал, поперечная сила, длительность, закономерность, зависимость, разрушение, элемент.*

The regularities of changes in time parameters of acoustic emission signals which depend from the speed of loading, variations in the physical and mechanical properties of composite materials, as well as the geometric sizes of its elements were determined. A description of the obtained regularities with their statistical estimates was conducted.

***Keywords**: acoustic emission, composite material, shear load, dependence, law of change, destruction, element.*

Постановка проблеми. Композиційні матеріали (КМ) мають широке використання в різних видах техніки завдяки своїм високим фізико-механічним властивостям – зносостійкість, жароміцність, теплостійкість тощо. Одним з напрямів забезпечення надійності виробів

з КМ, якому приділяється значна увага, є застосування та розробка методів контролю та діагностики їх стану. Це обумовлено специфікою будови км і специфікою їх руйнування.

Під час дослідження руйнування КМ використовують традиційні методи, а також методи, які мають високу чутливість до процесів, що розвиваються у структурі матеріалів при їх навантаженні. Одним з таких методів дослідження, контролю та діагностики стану виробів з КМ, який набуває все більшого застосування, є метод акустичної емісії (АЕ). У той же час, значні складнощі в інтерпретації АЕ інформації, що реєструється, приводять до складнощів практичного застосування методів АЕ контролю та діагностики. У цьому аспекті, важливе значення набувають теоретичні дослідження процесів акустичного випромінювання, які безпосередньо пов'язані з дослідженнями процесів руйнування КМ. Такі дослідження повинні бути спрямовані на визначення факторів, що впливають на кінетику процесу руйнування КМ, а також формовані сигнали АЕ. Це, у свою чергу, надасть можливість визначати інформативність параметрів сигналів АЕ, визначати закономірності їх зміни, тобто отримувати інформацію, що є основою у розробці методів та критеріїв оцінки стану виробів із КМ.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. За останні десятиріччя, однією з найпоширеніших концепцій, що використовується при дослідженнях процесів руйнування КМ є концепція FBM (fibre bundle model). Згідно з цією концепцією руйнування КМ наявне у вигляді руйнування його елементів або пучка волокон [1-4]. При цьому руйнування КМ з використанням концепції FBM досліджується у двох напрямках. Перший напрямок, пов'язаний з дослідженням пошкоджуваності КМ. Відповідно до цього напрямку, руйнування КМ при його навантаженні розглядається як процес неперервного накопичення пошкоджень. При цьому аналізується параметр пошкоджуваності, який характеризує відхилення характеристик пружності від їх початкових значень, тобто розглядається міра пошкоджуваності матеріалу в цілому. Другий напрямок, пов'язаний з дослідженням закономірностей руйнування елементів КМ, при умові безперервності його протікання, з урахуванням перерозподілу напружень на елементи, що залишаються [1-4]. При цьому вважається, що основне навантаження витримують елементи КМ, а руйнування КМ відбувається за рахунок руйнування його елементів.

Під час проведення таких досліджень використовують і метод АЕ. Однак теоретичні дослідження процесів руйнування КМ з використанням методу АЕ, які проведені у ряді робіт [5; 6], не дозволили отримати математичний опис сигналу АЕ. Це було пов'язано з існуванням невизначеності отриманих функцій у момент часу повного руйнування КМ.

У роботах [7; 8] отримано аналітичний вираз для сигналу АЕ, який формується під час руйнування елементів КМ поперечною силою. Під час побудови моделі сигналу АЕ враховані закономірності зміни еквівалентного осьового напруження, яке описує макроскопічну поведінку КМ при розвитку процесу руйнування КМ його елементів, за умови [10] рівномірного розподілу щільності ймовірності елементів за міцністю. При цьому враховано і кінетика розвитку процесу руйнування елементів КМ. Згідно з отриманими результатами, математичний вираз, який описує формований сигнал АЕ $U(t)$ у часі під час руйнування елементів КМ поперечною силою, представлено у вигляді

$$U(t) = U_0 \upsilon_0 [\alpha t(1-\alpha t)(1-g\sqrt{\alpha t}) - \alpha t_0(1-\alpha t_0)(1-g\sqrt{\alpha t_0})] \times$$
$$\times e^{r[\alpha t(1-\alpha t)(1-g\sqrt{\alpha t}) - \alpha t_0(1-\alpha t_0)(1-g\sqrt{\alpha t_0})]} \times \quad (1)$$
$$\times e^{-\upsilon_0 \int_{t_0}^{t} e^{r[\alpha t(1-\alpha t)(1-g\sqrt{\alpha t}) - \alpha t_0(1-\alpha t_0)(1-g\sqrt{\alpha t_0})]} dt},$$

де $U_0 = N_0 \beta \delta_S$ – максимально можливе зміщення при миттєвому руйнуванні КМ, який складається з N_0 елементів; υ_0, r – параметри, які залежать від фізико-механічних характеристик КМ; α – швидкість навантаження КМ поперечною силою; t, t_0 – відповідно, поточний час та час початку руйнування елементів КМ; g – параметр, який залежить від геометричних розмірів елементів КМ; β – коефіцієнт пропорційності між амплітудою одиночного збурення, яке виникає під час руйнування одиночного елемента, та напруженням руйнування; δ_s – параметр, чисельне значення якого визначається формою одиночного імпульсу збурення.

Згідно з виразом (1), закономірності зміни параметрів формованого сигналу АЕ залежать від чинників, які пов'язані з умовами навантаження КМ, геометричними розмірами його елементів та їх фізико-механічними характеристиками. Безумовно, що визначення впливу цих чинників на формовані сигнали АЕ і закономірності зміни їх параметрів є важливим, з точки зору розробки методів контролю та діагностики стану виробів із КМ.

Мета статті. У роботі проведено моделювання формованих сигналів АЕ з визначенням їх часових параметрів залежно від дії різних чинників, в умовах руйнування КМ поперечною силою. Проаналізовано часові параметри формованих сигналів АЕ з отриманням закономірностей їх зміни під час зміни факторів, що впливають. Також зроблено математичний опис отриманих закономірностей зміни часових параметрів сигналів АЕ та визначено їх статистичні характеристики.

Результати досліджень. Під час проведення досліджень сигналів АЕ в роботах [7; 8; 9] було показано, що під час навантаження КМ поперечною силою неперервності процесу руйнування його елементів відповідає неперервність формованого сигналу АЕ. При цьому сигнал АЕ являє собою відеоімпульс, який характеризується стрімким наростанням переднього фронту та релаксаційним падінням амплітуди його заднього фронту. Результати моделювання такого процесу руйнування КМ у вигляді графіка формованого сигналу АЕ $\tilde{U}(t) = U(t)/U_0$ у відносних одиницях показано на рис. 1. Під час проведення розрахунків усі параметри, що входять до виразу (1), приведені до безрозмірних величин, а час представлено у нормованих одиницях. Під час моделювання швидкість навантаження КМ $\tilde{\alpha}$ у відносних одиницях була прийнята рівною $\tilde{\alpha}$=100. Час початку руйнування елементів КМ складав $\tilde{t}_0$= 0,001 у відносних одиницях. Граничне напруження руйнування у відносних одиницях, яке відповідає часу $\tilde{t}_0$ початку руйнування елементів КМ, розраховувалося згідно з методикою, яку розглянуто у роботах [8; 9]. Розрахунки проводилися за виразом, що описує зміну еквівалентних напружень у КМ при його навантаженні поперечною силою з постійною швидкістю. Для прийнятого часу $\tilde{t}_0$ початку руйнування елементів КМ граничне напруження руйнування становило $\tilde{\sigma}_0 \approx$ 0,087. Під час моделювання також було прийнято, що значення параметрів υ_0, r і g у відносних одиницях мали величини: $\tilde{\upsilon}_0$= 1000000, $\tilde{r}$ = 10000, $\tilde{g}$ = 0,1.

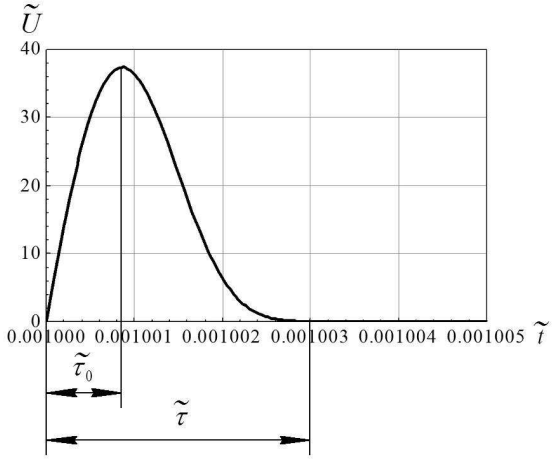


Рис. 1. Часові параметри сигналу акустичної емісії, які формуються під часи руйнування елементів композиційного матеріалу поперечною силою. Значення параметрів моделювання: $\tilde{\alpha}=100$; $\tilde{\sigma}_0 \approx 0{,}087$; $\tilde{g}=0{,}1$; $\tilde{t}_0=0{,}001$; $\tilde{v}_0=1000000$; $\tilde{r}=10000$

З отриманих результатів (рис. 1) видно, що формований сигнал АЕ є відеоімпульсом. Такий відеоімпульс можна характеризувати часовими параметрами (рис. 1), а саме: тривалістю переднього фронту τ_0, а також тривалістю τ. Безумовно, що зміна параметрів, які входять до виразу (1), буде впливати на закономірності зміни процесу руйнування КМ, а також на часові параметри τ_0 і τ формованих сигналів АЕ.

Згідно з виразом (1), до таких параметрів відносять швидкість прикладення навантаження α, неоднорідність фізико-механічних характеристик КМ за міцністю або дисперсність його властивостей, яка характеризується параметром r, а також геометричні розміри елементів КМ, які характеризуються параметром g. Проведемо дослідження впливу цих характеристик на закономірності зміни часових параметрів формованих сигналів АЕ.

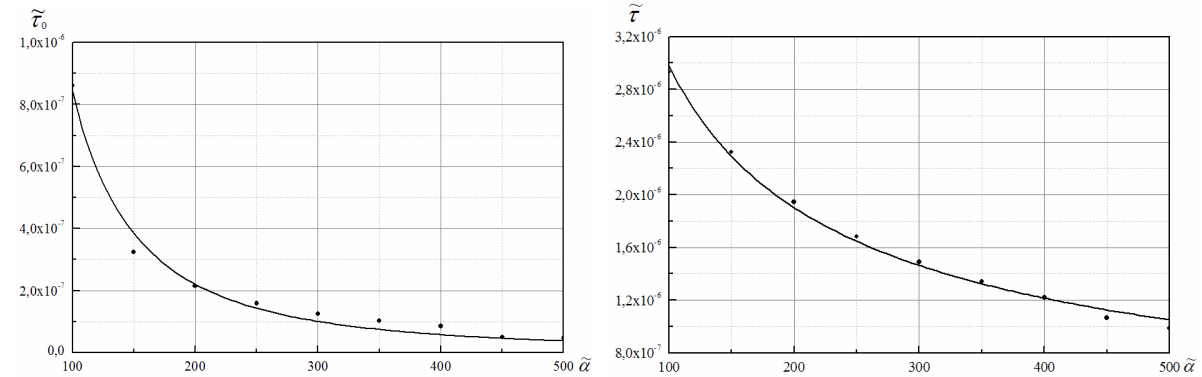
Методика досліджень складалася з двох етапів. На першому етапі, для початкових прийнятих умов моделювання, згідно з виразом (1), проводяться розрахунки формованого сигналу АЕ. За результатами розрахунків, згідно з отриманих табличних даних, проводиться визначення часових параметрів формованого сигналу АЕ залежно від значення параметру, що впливає. Оскільки задній фронт формованих сигналів АЕ має релаксаційних характер падіння з поступовим асимптотичним наближенням до нуля, то визначення тривалості формованих сигналів АЕ будемо проводити, згідно з [10], за виразом $\tilde{\tau}_m = m\,\tilde{\tau}_{m0}$, де m – деяке ціле число; $\tilde{\tau}_{m0}$ – тривалість переднього фронту формованого сигналу. Тривалість $\tilde{\tau}_{m0}$ переднього фронту сигналів АЕ визначається за табличними даними, згідно з результатами моделювання сигналів АЕ, а значення m визначається, виходячи з умови $\tilde{\tilde{U}}(\tilde{t}=\tilde{\tau}_m) << \tilde{U}_{\max}(\tilde{t}=\tilde{\tau}_{m0})$, де $\tilde{U}_{\max}$ – максимальна амплітуда формованого сигналу АЕ. Під час проведення розрахунків для визначення тривалості сигналів АЕ співвідношення амплітуд приймемо рівним $\dfrac{\tilde{\tilde{U}}(\tilde{t}=\tilde{\tau}_m)}{\tilde{U}_{\max}(\tilde{t}=\tilde{\tau}_{m0})} \le 0{,}001$.

На другому етапі, за результатами визначених часових параметрів формованих сигналів АЕ будуються залежності їх зміни при дії різних факторів з відповідним математичним описом і наступним статистичним аналізом.

Під час дослідження впливу швидкості навантаження на часові параметри формованих сигналів АЕ будемо вважати, що розглядається один і той же КМ, тобто матеріал, у

якому однакові геометричні розміри його елементів, а також однакові фізико-механічні характеристики. Під час дослідження впливу фізико-механічних характеристик КМ на часові параметри формованих сигналів АЕ будемо вважати, що розглядається КМ, у якому однакові геометричні розміри його елементів і він навантажується з однаковою постійною швидкістю. Під час дослідження впливу геометричних розмірів елементів КМ на часові параметри формованих сигналів АЕ будемо вважати, що розглядається КМ, у якому однакові фізико-механічні характеристики і він навантажується з однаковою постійною швидкістю.

Швидкість прикладення навантаження впливає на швидкість зміни еквівалентних напружень і обумовлює зміну швидкості розвитку процесу руйнування КМ, що розглянуто у роботах [8; 9]. Це випливає із розрахунків залежностей зміни кількості елементів, що залишаються, при руйнуванні КМ поперечною силою, згідно з моделлю руйнування КМ, яка розглянута у роботі [8]. У [9] представлені результати моделювання сигналів АЕ в часі у відносних величинах для швидкостей навантаження $\tilde{\alpha}$, значення яких змінювалися у діапазоні величини від 100 до 500 із кроком прирощування $\Delta\tilde{\alpha}$=50. При цьому значення параметрів $\tilde{\sigma}_0$, $\tilde{\upsilon}_0$, $\tilde{r}$ і $\tilde{g}$=0,1 були прийняті рівними: $\tilde{\sigma}_0 \approx 0{,}087$; $\tilde{\upsilon}_0 = 1000000$; $\tilde{r} = 10000$; $\tilde{g} = 0{,}1$. За результатами виконаних розрахунків проведено визначення часових параметрів формованих сигналів АЕ для кожного прийнятого значення швидкості навантаження з побудовою закономірностей їх зміни. Залежності зміни часових параметрів формованих сигналів АЕ від швидкості навантаження у відносних величинах показано на рис. 2.



а) б)

Рис. 2. Графіки зміни тривалості переднього фронту $\tilde{\tau}_0$ (а) та тривалості $\tilde{\tau}$ (б) сигналів акустичної емісії залежно від швидкості $\tilde{\alpha}$ навантаження композиційного матеріалу поперечною силою. Швидкості навантаження $\tilde{\alpha}$ знаходяться в межах $\tilde{\alpha}$ =100…500 з прирощенням

$$\Delta\tilde{\alpha} = 50,\ \tilde{g} = 0{,}1,\ \tilde{\sigma}_0 \approx 0{,}087,\ \tilde{\upsilon}_0 = 1000000,\ \tilde{r} = 10000$$

З рис. 2 видно, що під час зростання швидкості навантаження КМ поперечною силою спостерігається зменшення тривалості переднього та тривалості сигналів АЕ. Таке зменшення тривалості переднього та тривалості сигналів АЕ відбувається за нелінійним законом. Обробка отриманих результатів показала, що під час зростання $\tilde{\alpha}$ у 5 разів, тобто зі 100 до 500, тривалість переднього фронту формованих сигналів АЕ зменшується у 18,37 рази, а їх тривалість зменшується у 2,97 рази. Зменшення часових параметрів формованих сигналів АЕ свідчить про збільшення швидкості розвитку процесу руйнування елементів КМ.

Аналіз закономірностей зміни тривалості переднього та тривалості формованих сигналів АЕ під час зростання швидкості навантаження (рис. 2) показав, що вони добре описуються степеневою функцією виду

$$P_\tau = \vartheta \tilde{\alpha}^{\theta}, \quad (2)$$

де P_τ – аналізований часовий параметр формованих сигналів АЕ (тривалість переднього фронту або тривалість формованих сигналів АЕ); ϑ, θ – коефіцієнти апроксимуючого виразу.

Обробка отриманих результатів показала, що коефіцієнти ϑ, θ апроксимуючого виразу (2) мають такі значення: для тривалості переднього фронту $\tilde{\tau}_0$ формованих сигналів АЕ (рис. 2, *а*) – ϑ = 0,00617, θ = -1,93251; для тривалості $\tilde{\tau}$ формованих сигналів АЕ (рис. 2, *б*) – $\vartheta = 5{,}86919 \cdot 10^{-5}$, θ = -0,64714. Статистичний аналіз даних показав, що достовірність опису отриманих залежностей зміни часових параметрів формованих сигналів АЕ під час зростання швидкості навантаження апроксимуючим виразом (2) за мірою ймовірності становить: для тривалості переднього фронту формованих сигналів АЕ – p = 0,993; для тривалості формованих сигналів АЕ – p = 0,997.

Проведемо дослідження впливу неоднорідності фізико-механічних властивостей КМ на часові параметри формованих сигналів АЕ під час його руйнування поперечною силою. Неоднорідність КМ за своїми фізико-механічними властивостями, як показали результати досліджень [8; 9], впливає на швидкість розвитку процесу його руйнування. Параметром, який пов'язаний з неоднорідністю фізико-механічних властивостей КМ, є параметр r. Збільшення значення параметра r у виразі (1) означає зменшення неоднорідності КМ за своїми фізико-механічними властивостями.

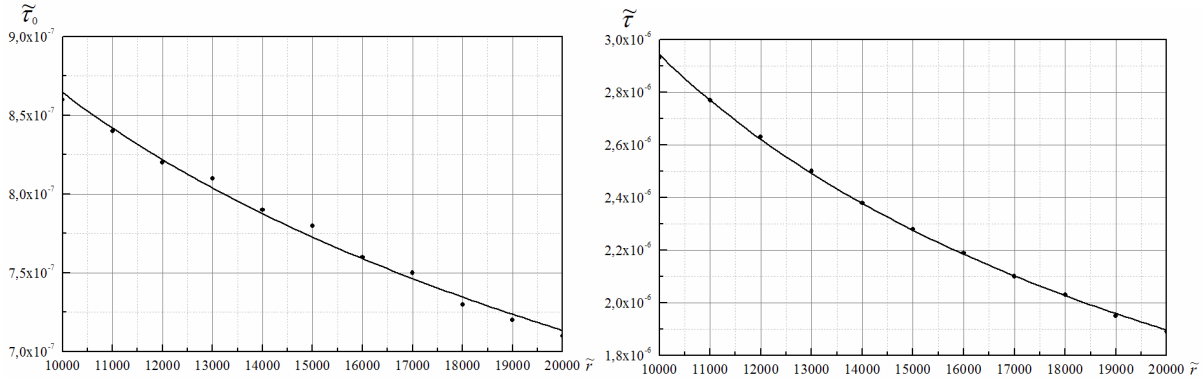
Визначимо закономірності зміни часових параметрів формованих сигналів АЕ під час зміни неоднорідності КМ за своїми фізико-механічними властивостями. У результаті проведення моделювання сигналів АЕ у відносних величинах значення параметра $\tilde{r}$ у відносних одиницях будемо змінювати у діапазоні від 10000 до 20000 із кроком прирощування $\Delta\tilde{r}$ =1000. При цьому будемо вважати, що навантаження КМ поперечною силою відбувається з постійною швидкістю. Її значення буде дорівнювати $\tilde{\alpha}$ = const = 100. При розрахунках параметри $\tilde{\sigma}_0$, $\tilde{\upsilon}_0$ та $\tilde{g}$ приймемо такими же, як і раніше, тобто: $\tilde{\sigma}_0 \approx 0{,}087$; $\tilde{\upsilon}_0$ = 1000000; $\tilde{g}$ = 0,1. За результатами проведених розрахунків проведемо визначення часових параметрів формованих сигналів АЕ для кожного значення $\tilde{r}$ з побудовою закономірностей їх зміни. Залежності зміни часових параметрів формованих сигналів АЕ від неоднорідності КМ за своїми фізико-механічними властивостями у відносних величинах показано на рис. 3.

Отримані результати показують (рис. 3), що під час зменшення неоднорідності КМ (збільшенні значень параметру $\tilde{r}$) також спостерігається нелінійне зменшення часових параметрів формованих сигналів АЕ. При цьому у результаті зростання $\tilde{\alpha}$ у 5 разів, тобто зі 100 до 500, тривалість переднього фронту формованих сигналів АЕ зменшується у 1,21 рази, а тривалість формованого сигналу АЕ в 1,55 рази. Таке зменшення часових параметрів формованих сигналів АЕ пов'язане із зменшенням часу протікання процесу руйнування елементів КМ при заданій швидкості його навантаження.

Аналіз закономірностей зміни тривалості переднього та тривалості формованих сигналів АЕ під час зростання параметра $\tilde{r}$ (рис. 3) показав, що вони добре описуються степеневою функцією виду

$$T_\tau = \beta \tilde{r}^{\gamma}, \quad (3)$$

де T_τ – аналізований часовий параметр формованих сигналів АЕ (тривалість переднього фронту або тривалість формованих сигналів АЕ); β, γ – коефіцієнти апроксимуючого виразу.



а) б)

Рис. 3. Графіки зміни тривалості переднього фронту $\tilde{\tau}_0$ (а) і тривалості $\tilde{\tau}$ (б) формованих сигналів акустичної емісії залежно від неоднорідності властивостей композиційного матеріалу за міцністю (параметру $\tilde{r}$) $\tilde{\alpha}$ = 100, $\tilde{g}$ = 0,1, $\tilde{\sigma}_0 \approx 0{,}087$, $\tilde{\upsilon}_0$ = 1000000. Значення параметра $\tilde{r}$ знаходяться в межах $\tilde{r}$ =10000…20000 з приростом $\Delta\tilde{r}$ =1000

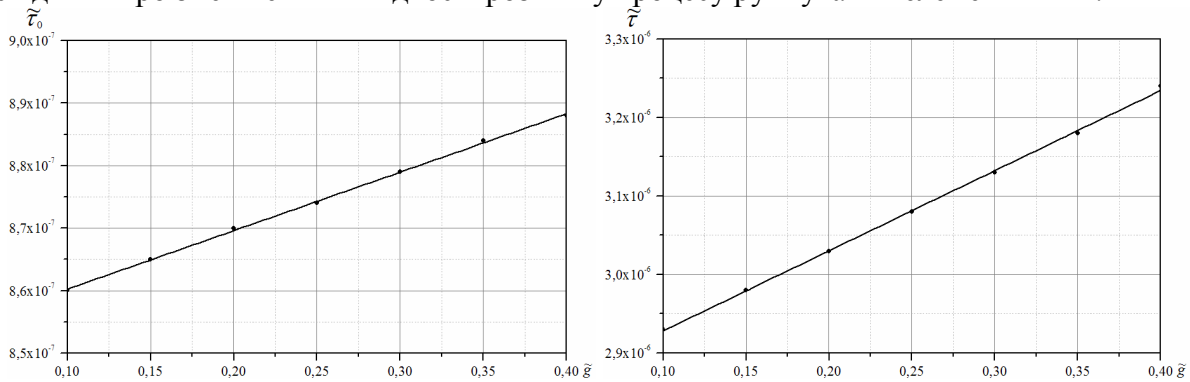
Обробка отриманих результатів показала, що коефіцієнти β, γ апроксимуючого виразу (3) мають такі значення: для тривалості переднього фронту $\tilde{\tau}_0$ формованих сигналів АЕ (рис. 3, *а*) – β = $1{,}10662 \cdot 10^{-5}$, γ = -0,27681; для тривалості $\tilde{\tau}$ формованих сигналів АЕ (рис. 3, *б*) – β = 0,00101, γ = -0,63362. Статистичний аналіз даних показав, що достовірність опису отриманих залежностей зміни часових параметрів формованих сигналів АЕ у результаті зменшення неоднорідності фізико-механічних властивостей КМ апроксимуючим виразом (3) за мірою ймовірності становить: для тривалості переднього фронту формованих сигналів АЕ – p = 0,996; для тривалості формованих сигналів АЕ – p = 0,999.

Збільшення геометричних розмірів елементів КМ також впливають на характер його руйнування. Як відзначено у роботах [8; 9], такий вплив аналогічний впливу зменшення швидкості навантаження КМ. Під час моделювання сигналів АЕ будемо вважати, що час початку руйнування є незмінною величиною. За таких умов, у результаті зміни геометричних розмірів елементів КМ, тобто зростанні параметра $\tilde{g}$, згідно з розрахунками еквівалентних напружень [8; 9], буде відбуватися зменшення граничного напруження руйнування, тобто напруження початку руйнування елементів КМ. Під час проведення розрахунків приймемо, що швидкість навантаження КМ є постійною величиною і дорівнює $\tilde{\alpha}$ = const = 100. Значення параметрів $\tilde{\upsilon}_0$ і $\tilde{r}$ приймемо рівними: $\tilde{\upsilon}_0$ = 1000000; $\tilde{r}$ = 10000. Значення параметра $\tilde{g}$ будемо змінювати у діапазоні величини від 0,1 до 0,4 із кроком прирощування $\Delta\tilde{g}$ = 0,05. При такому зростанні параметра $\tilde{g}$, як показали розрахунки еквівалентних напружень, граничне напруження руйнування $\tilde{\sigma}_0$ буде зменшуватися у діапазоні величин від 0,087 до 0,078.

За результатами проведених розрахунків проведемо визначення часових параметрів формованих сигналів АЕ для кожного значення параметра $\tilde{g}$ з побудовою закономірностей їх зміни. Залежності зміни часових параметрів формованих сигналів АЕ від геометричних розмірів елементів КМ (значень параметра $\tilde{g}$) у відносних величинах показано на рис. 4.

З рис. 4 видно, що під час збільшення геометричних розмірів елементів КМ (збільшенні значень параметра $\tilde{g}$) спостерігається лінійне зростання тривалості переднього фронту та тривалості формованих сигналів АЕ. При цьому із зростанням параметра $\tilde{g}$

у чотири рази, тобто із 0,1 до 0,4, тривалість переднього фронту формованих сигналів АЕ зростає в 1,03 рази, а їх тривалість зростає у 1,105 рази. Зростання тривалості переднього фронту і тривалості формованих сигналів АЕ під час зростання параметру $\tilde{g}$ свідчить про зменшення швидкості розвитку процесу руйнування елементів КМ.



а) б)

Рис. 4. Графіки зміни тривалості переднього фронту $\tilde{\tau}_0$ (а) і тривалості $\tilde{\tau}$ (б) сигналів акустичної емісії залежно від геометричних розмірів елементів композиційного матеріалу (параметра $\tilde{g}$) $\tilde{\alpha}$ =100, $\tilde{v}_0$ =1000000, $\tilde{r}$ =10000. Значення параметра $\tilde{g}$ знаходяться в межах $\tilde{g}$ =0,1…0,4 з приростом $\Delta\tilde{g} = 0{,}05$. Значення $\tilde{\sigma}_0$ знаходяться в межах $\Delta\tilde{\sigma}_0$ =0,078…0,087. Час початку руйнування елементів $\tilde{t}_0$ =0,001

Аналіз закономірностей зміни тривалості переднього та тривалості формованих сигналів АЕ під час зростання геометричних розмірів елементів КМ (рис. 4) показав, що вони добре описуються лінійною функцією виду

$$D_\tau = a + b\,\tilde{g}\,, \qquad (4)$$

де D_τ – аналізований часовий параметр формованих сигналів АЕ (тривалість переднього фронту або тривалість формованих сигналів АЕ); a, b – коефіцієнти апроксимуючого виразу.

Обробка отриманих результатів показала, що коефіцієнти a, b апроксимуючого виразу (4) мають наступні значення: для тривалості переднього фронту $\tilde{\tau}_0$ формованих сигналів АЕ (рис. 4, *а*) – $a = 8{,}50893\cdot10^{-7}$, $b = 9{,}35714\cdot10^{-8}$; для тривалості $\tilde{\tau}$ формованих сигналів АЕ (рис. 4, *б*) – $a = 2{,}826\cdot10^{-6}$, $b = 1{,}02143\cdot10^{-6}$. Статистичний аналіз даних показав, що достовірність опису отриманих залежностей зміни часових параметрів формованих сигналів АЕ під час зростання геометричних розмірів елементів КМ апроксимуючим виразом (4) за мірою ймовірності становить: для тривалості переднього фронту формованих сигналів АЕ – p = 0,999; для тривалості формованих сигналів АЕ – p = 0,999.

Отримані результати показали, що найбільший вплив на зміну часових параметрів формованих сигналів АЕ (тривалості і тривалості переднього фронту) під час руйнування КМ поперечною силою має швидкість навантаження. При цьому найменший вплив спостерігається від зміни геометричних розмірів елементів КМ.

Висновки і пропозиції. Результати проведених досліджень показали, що зміна швидкості навантаження, неоднорідності за фізико-механічними характеристиками, а також геометричних розмірів елементів впливає на розвиток процесу руйнування КМ та часові параметри формованих сигналів АЕ.

Встановлено, що під час зростання швидкості навантаження на КМ поперечною силою відбувається зменшення тривалості переднього фронту та тривалості формованих сигналів АЕ. Таке зменшення часових параметрів формованих сигналів АЕ відбувається за нелінійним законом. Зменшення неоднорідності КМ також приводить до нелінійного зменшення часових параметрів формованих сигналів АЕ. В обох випадках зменшення тривалості переднього фронту та тривалості формованих сигналів АЕ добре описуються степеневими функціями. В той же час, збільшення геометричних розмірів елементів КМ приводить до зростання тривалості переднього фронту та тривалості формованих сигналів АЕ. Таке зростання тривалості переднього фронту та тривалості формованих сигналів АЕ, як показує обробка результатів моделювання, відбувається за лінійним законом. Проведені дослідження також показали, що найбільший вплив на зміну часових параметрів формованих сигналів АЕ (тривалості переднього фронту та тривалості) під час руйнування КМ поперечною силою має швидкість навантаження, а найменший вплив – зміна геометричних розмірів елементів КМ.

У той же час важливим є визначення закономірностей зміни накопичення енергії формованих сигналів АЕ в часі під час зміни факторів, які впливають на розвиток процесу руйнування елементів КМ.

Список використаних джерел

1. Hemmer P. C. The Distribution of Simultaneous Fiber Failures in Fiber Bundles / P. C. Hemmer, A. Hansen // J. Appl. Mech. – 1992. – vol. 59. – № 4. – P. 909-914.

2. Kun F. Extensions of Fibre Bundle Models/F. Kun, F. Raischel, R. C. Hidalgo, H. J. Herrmann // Modelling Critical and Catastrophic Phenomena in Geoscience. Lecture Notes in Physics. – 2007. – vol. 705. – P. 57-92.

3. Pradhan S. Energy bursts in fiber bundle models of composite materials / S. Pradhan, C. Hemmer // Phys. Rev. E. – 2008. – vol. 77. –№ 1. – 4 p.

4. Kovács K. Pagonabarraga Critical ruptures in a bundle of slowly relaxing fibers / K. Kovács, S. Nagy, R. C. Hidalgo, F. Kun , H. J. Herrmann // Phys. Rev. E. – 2008. – vol. 77. –№ 3. – 8 p.

5. Shcherbakov R. On modeling of geophysical problems /R. Shcherbakov // A dissertation for degree of doctor of philosophy (Cornell university). – 2002. – 209 p.

6. Turcotte D.L. Micro and macroscopic models of rock fracture / D. L. Turcotte, W. I. Newman, R. Shcherbakov // Geophes. J. Intern. – 2003. – vol. 152. – № 3. – P. 718-728.

7. Філоненко С. Ф. Акустична емісія при навантаженні композиційних матеріалів / С. Ф. Філоненко, В. М. Каліта, О. П. Космач // Вісник НАУ. – 2010. – № 1.– С.133-141.

8. Модель сигнала акустической эмиссии при разрушении композиционного материала под действием поперечной силы / С. Ф. Филоненко, В. М. Калита, А. П. Космач, Т. Н. Косицкая // Технологические системы. – 2010. – № 2. – С. 23-32.

9. Філоненко С. Ф. Моделювання сигналів акустичної емісії при руйнуванні композиційних матеріалів під дією поперечної сили / С. Ф. Филоненко, О. П. Космач, Т. М. Косицька // Вісник НАУ. – 2010. – № 2. – С. 85-93.

10. Филоненко С. Ф. Влияние неравномерности процесса разрушения композиционного материала на сигналы акустической эмиссии / С. Ф. Филоненко // Технологические системы. – 2011. – № 1 (54). – С. 24-31.

УДК 004.4

А.М. Акименко, канд. фіз.-мат. наук, доцент
Т.П. Бивойно, асистент
Чернігівський державний технологічний університет, м.Чернігів, Україна

ВИКОРИСТАННЯ МЕТРИК ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ КІЛЬКІСНОГО АНАЛІЗУ РИЗИКІВ ПРОГРАМНОГО ПРОЕКТУ

Розглянуто процес кількісного аналізу ризиків розробки програмного проекту. Визначено набір метрик, які можуть бути використані для проведення кількісного аналізу. Отримано формули для підрахунку кількісних показників ризиків, пов'язаних з функціональністю та складністю програмного проекту.

Постановка проблеми. Сучасна програмна індустрія за останній час накопичила значну колекцію моделей і метрик, що оцінюють окремі виробничі та експлуатаційні властивості програмного забезпечення (ПЗ). Проте неврахування області застосування розроблюваного ПЗ, ігнорування етапів життєвого циклу програмного забезпечення і, нарешті, необґрунтоване їх використання в різнопланових процедурах прийняття виробничих рішень, не дає можливості розробникам ПЗ отримувати якісну інформацію стосовно стану розробки програмного продукту, виявляти та зменшувати ризики, які виникають ще на початкових стадіях життєвого циклу.

Ці обставини потребують ретельного підходу до процесу вибору та застосування методів оцінки якості ПЗ, встановлення порядку їх використання, накопичення та інтеграції різнорідної метричної інформації для прийняття своєчасних виробничих рішень. Однією з найважливіших проблем є пошук універсальних інструментів, які б дали можливість отримати кількісну оцінку ризиків, що виникають під час створення програмного забезпечення, ще на ранніх стадіях життєвого циклу.

Кількісний аналіз ризиків проекту. *Кількісний аналіз ризиків* – процес числового аналізу впливу визначених ризиків на мету проекту.

Кількісний аналіз ризиків є однією з шести складових процесу управління ризиками, який визначено в PMBOK (Project Management Body Of Knowledge) [1]. Деякою мірою це ключовий етап, оскільки після нього розробник ПЗ має можливість приймати чіткі управлінські рішення, пов'язані з плануванням реакції на ризики та, відповідно, зменшувати їх вплив на кінцеві результати розробки.

Кількісний аналіз виконують з ризиками, для яких у процесі якісного аналізу було встановлено пріоритети їх виникнення та суттєвість впливу. Призначення кількісного аналізу ризиків – визначення результату такого впливу та присвоєння кількісного значення ризикам.

За кількісного аналізу ризиків найчастіше використовують методи теорії ймовірностей, моделювання Монте-Карло й аналіз дерева рішень. Ці методи застосовують для:

- обчислення ймовірності досягнення результатів проекту;
- ідентифікації ризиків, які потребують найбільшої уваги, через обчислення їхнього відносного внеску у загальний ризик проекту;
- обчислення реалістичних витрат, графіка та результату при заданих значеннях ризиків;
- визначення найкращих управлінських рішень у разі невизначеності.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою цієї статті є вивчення питання про визначення кількісних показників для ризиків програмного проекту, пов'язаних з функціональністю та складністю програмного забезпечення.

Метрики програмного забезпечення. Сьогодні застосовується широкий спектр метрик програмного забезпечення. Природно, що існуючі метрики мають ті чи інші аспекти використання. Деякі з них дуже рідко використовуються на практиці, для інших

неможливо автоматизувати процес вимірювання, деякі мають дуже вузьку спеціалізацію. Однак існують метрики, які застосовуються досить часто, особливо в області об'єктно-орієнтованого програмування.

Цей клас метрик з'явився в процесі розвитку об'єктно-орієнтованих мов програмування. У цій групі найбільш часто використовуваними є набори метрик Чідамбера-Кемерера, Лоренца-Кідда та Ф. Абреу.

Набір Чідамбера-Кемерера найбільш часто цитується в програмній індустрії та наукових дослідженнях.

Метрики Лоренца і Кідда – результат практичного, промислового підходу до оцінки об'єктно-орієнтованих(ОО) проектів.

Набір метрик MOOD (Metrics for Object Oriented Design), запропонований Ф. Абреу в 1994 році, – інший приклад академічного підходу до оцінки якості ОО-проектування.

Оскільки метою статті є вивчення питання про кількісний аналіз ризиків розробки реальних програмних проектів, які можуть бути ідентифіковані на ранніх стадіях життєвого циклу, тому найбільш цікавим, з цієї точки зору, буде набір метрик який: по-перше, базується на результатах практичних досліджень у сфері розробки ОО-проектів, по-друге, орієнтований на логічну складову програмного продукту, а саме, структуру класів, яка і відображає статичне представлення концептуальної підмоделі системи в термінах об'єктно-орієнтованої моделі. Таким набором є набір метрик Лоренца-Кідда, який ми розглянемо більш детально.

Лоренц і Кідд виділяють три групи метрик:

1. Метрики, орієнтовані на класи.
2. Операційно-орієнтовані метрики.
3. Метрики для ОО-проектів.

Розглянемо першу групу.

Метрики, що включені до першої групи, розподілені на чотири категорії: метрики розміру, метрики спадкування, внутрішні та зовнішні метрики.

Метрики розміру засновані на підрахунку властивостей і операцій для окремих класів, а також їхніх середніх значень для всієї ОО-системи. Метрики спадкування акцентують увагу на способі повторного використання операцій в ієрархії класів. Внутрішні метрики класів розглядають питання зв'язності і кодування. Зовнішні метрики досліджують зчеплення і повторне використання.

Метрика 1. Розмір класу CS (Class Size). Загальний розмір класу визначається за допомогою таких вимірів:

– загальна кількість операцій (разом з приватними й успадкованими операціями), які інкапсулюються всередині класу;

– кількість властивостей (разом з приватними й успадкованими властивостями), які інкапсулюються класом.

Рекомендоване значення $CS \leq 20$.

Метрика 2. Кількість операцій, перевизначених підкласом, NOO (Number of Operations Overridden by a Subclass). Перевизначенням називають випадок, коли підклас заміщує операцію, успадковану від суперкласу, своєю власною версією.

Рекомендоване значення $NOO \leq 3$.

Метрика 3. Кількість операцій, доданих підкласом, NOA (Number of Operations Added by a Subclass). Рекомендоване значення $NOA \leq 4$ (для класа-листа).

Метрика 4. Індекс спеціалізації SI (Specialization Index). Забезпечує оцінку ступеня спеціалізації кожного підкласу. Розраховується за формулою:

$$SI = (NOO \times \text{рівень}) / M_{заг}, \quad (1)$$

де *рівень* – номер рівня в ієрархії класів, на якому знаходиться підклас, $M_{заг}$ – загальна кількість методів класу.

Рекомендоване значення SI ≤0,15.

Друга група «Операційно-орієнтовані метрики» орієнтована на оцінку операцій у класах.

Метрика 5. Середній розмір операції OS_{AVG} (Average Operation Size). Рекомендоване значення $OS_{AVG} \leq 9$.

Метрика 6. Складність операції OC (Operation Complexity). Рекомендоване значення OC ≤ 65.

Метрика 7. Середня кількість параметрів на операцію NP_{AVG} (Average Number of Parameters per operation). Рекомендоване значення $NP_{AVG} = 0,7$.

Третя група метрик призначена для визначення прогнозної оцінки розміру програмного продукту.

Метрика 8. Кількість описів сценаріїв NSS (Number of Scenario Scripts). Для визначення цієї метрики необхідно задіяти інші діаграми, які використовуються для опису моделі програмної системи (діаграма варіантів використання). Рекомендоване значення NSS – не менше одного сценарію на публічний протокол підсистеми, що відображає основні функціональні вимоги до підсистеми.

Метрика 9. Кількість ключових класів NKC (Number of Key Classes). Ключовий клас прямо пов'язаний з проблемною областю, для якої призначена система. Тому значення NKC достовірно відображає майбутній обсяг розробки. В типовій ОО-системі на частку ключових класів припадає від 20 до 40 відсотків від загальної кількості класів.

Рекомендоване значення: 0,2 ≤ NKC ≤ 0,4 від загальної кількості класів системи.

Метрика 10. Кількість підсистем NSUB (Number of SUBsystem). Рекомендоване значення NSUB > 3.

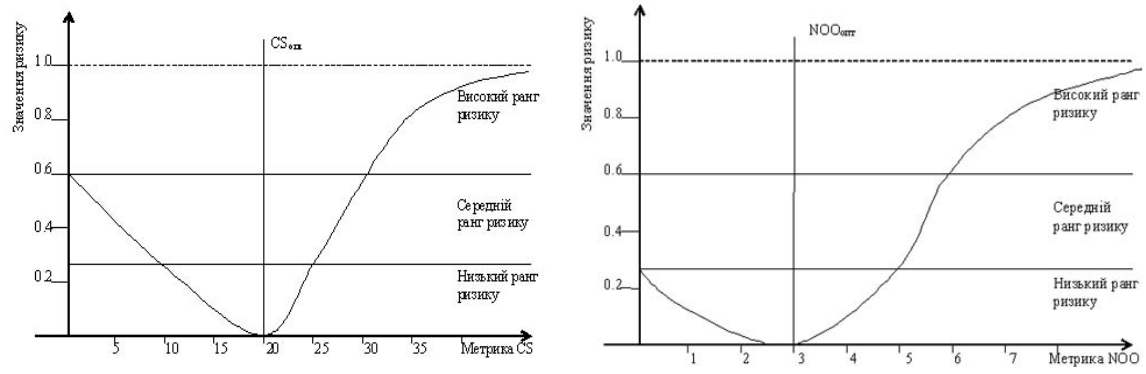
Визначення кількісних показників ризику. Оскільки всі метрики з наведеного набору пов'язані зі структурою класів ОО-системи, є очевидною можливість використовувати, як вхідну інформацію для визначення значення показників метрик діаграми класів, розробленої за допомогою мови моделювання UML. Як відомо, діаграми UML можуть бути використані в процесах ідентифікації та якісного аналізу ризиків розробки ПЗ на ранніх стадіях життєвого циклу [2, 3]. Діаграма класів, у свою чергу, відображає попередню архітектуру програмного проекту та дозволяє ідентифікувати ризики, пов'язані з функціональністю та складністю [3] програмного продукту.

Розглянемо питання про ризики, пов'язані з метриками набору Лоренцо-Кідда, та визначення їх кількісних характеристик.

Метрика CS. Велике значення метрики CS вказує на те, що клас має дуже багато обов'язків. Це зменшує можливість повторного використання класу та ускладнюють його реалізацію та тестування. Для отримання більш якісної кількісної характеристики метрики має сенс обрахування середньозваженого значення для всього проекту $CS_{сзв}$. У цьому випадку, чим менше середнє значення метрики, тим більша ймовірність повторного використання класу. Кількісне значення ризику $\mathbf{P_{CS}}$ для відповідних значень метрики визначають згідно з графіком, наведеним на рисунку1, *а*. Значення $\mathbf{P_{CS}}$ дозволяє визначити ранг ризику, пов'язаному зі складністю ПЗ.

Метрика NOO. Велике значення NOO говорить про те, що існують проблеми проектування. Зрозуміло, що підклас повинен розширяти операції суперкласу. Розширення проявляється у вигляді нових імен операцій. Якщо ж NOO велика, то розробник порушує абстракцію суперкласу. Це послаблює ієрархію класів, ускладнює тестування та модифікацію програмного забезпечення. Іншими словами, збільшує складність програмного продукту. Кількісне значення ризику $\mathbf{P_{NOO}}$ для відповідних значень метрики ви-

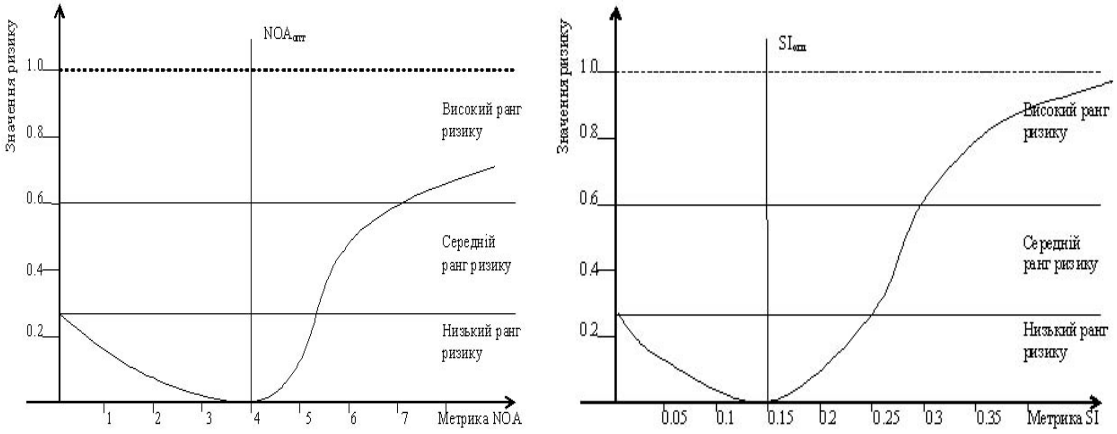
значають згідно з графіком, наведеним на рисунку 1, *б*. Значення $\mathbf{P_{NOO}}$ дозволяє визначити ранг ризику, пов'язаному зі складністю ПЗ.



а) б)

Рис. 1. Визначення параметрів ризиків P_{CS} та P_{NOO}

Метрика NOA. Підкласи спеціалізуються додаванням приватних операцій і властивостей (атрибутів). Зі зростанням NOA підклас віддаляється від абстракції суперкласу. Під час збільшення глибини ієрархії класів повинно зменшуватися і значення NOA на нижчих рівнях ієрархії. Кількісне значення ризику $\mathbf{P_{NOA}}$ для відповідних значень метрики визначають згідно з графіком, наведеним на рисунку 2, *а*. Значення $\mathbf{P_{NOA}}$ дозволяє визначити ранг ризику, пов'язаному зі складністю ПЗ.



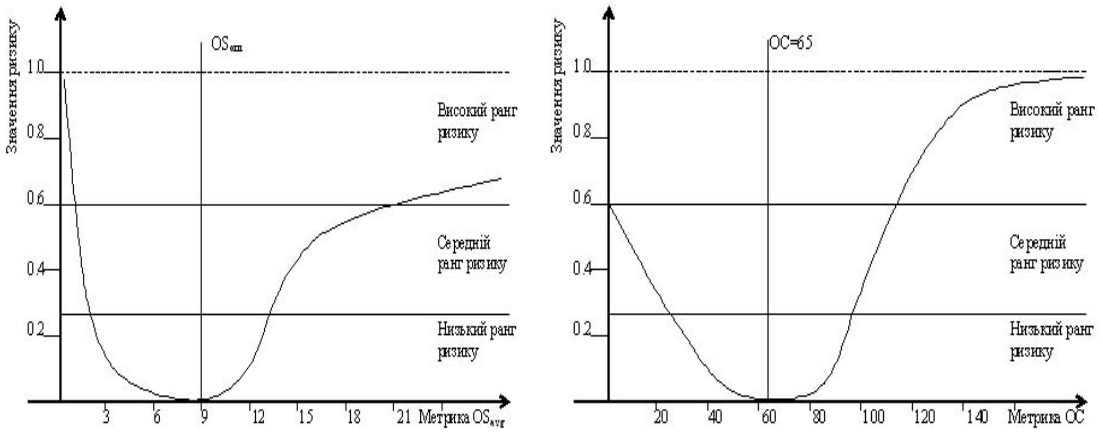
а) б)

Рис. 2. Визначення параметрів ризиків P_{NOA} та P_{SI}

Метрика SI. Чим вище значення SI, тим більша ймовірність того, що в ієрархії класів є класи, що порушують абстракцію суперкласу. Кількісне значення ризику $\mathbf{P_{SI}}$ для відповідних значень метрики визначають згідно з графіком, наведеним на рисунку 2*б*. Значення $\mathbf{P_{SI}}$ дозволяє визначити ранг ризику, пов'язаному зі складністю ПЗ.

Метрика $\mathbf{OS_{AVG}}$. Збільшення значення метрики означає, що обов'язки розміщені в класі не досить вдало. Кількісне значення ризику $\mathbf{P_{OS}}$ для відповідних значень метрики визначають згідно з графіком, наведеним на рисунку 3, *а*. Значення $\mathbf{P_{OS}}$ дозволяє визначити ранг ризику, пов'язаному з функціональністю ПЗ.

Метрика OC. Бажано, щоб значення метрики не перевищувало рекомендованого. Кількісне значення ризику $\mathbf{P_{OC}}$ для відповідних значень метрики визначають згідно з графіком, наведеним на рисунку 3, *б*. Значення $\mathbf{P_{OC}}$ дозволяє визначити ранг ризику, пов'язаному з функціональністю ПЗ.



а) б)

Рис. 3. Визначення параметрів ризиків P_{OS} та P_{OC}

Метрика NP_{AVG}. Чим більше параметрів має операція, тим складніша взаємодія між об'єктами. З цієї причини значення NP_{AVG} не повинне перевищувати рекомендоване значення. Кількісне значення ризику $\mathbf{P_{NP}}$ для відповідних значень метрики визначають згідно з графіком, наведеним на рисунку 4. Значення $\mathbf{P_{NP}}$ дозволяє визначити ранг ризику, пов'язаному з функціональністю ПЗ та має вплив на складність програмного продукту.

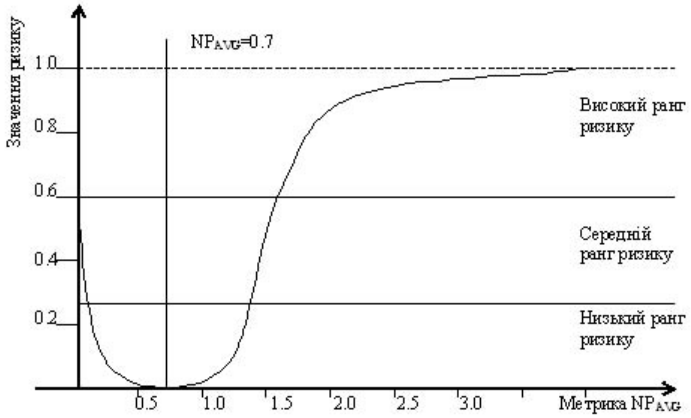
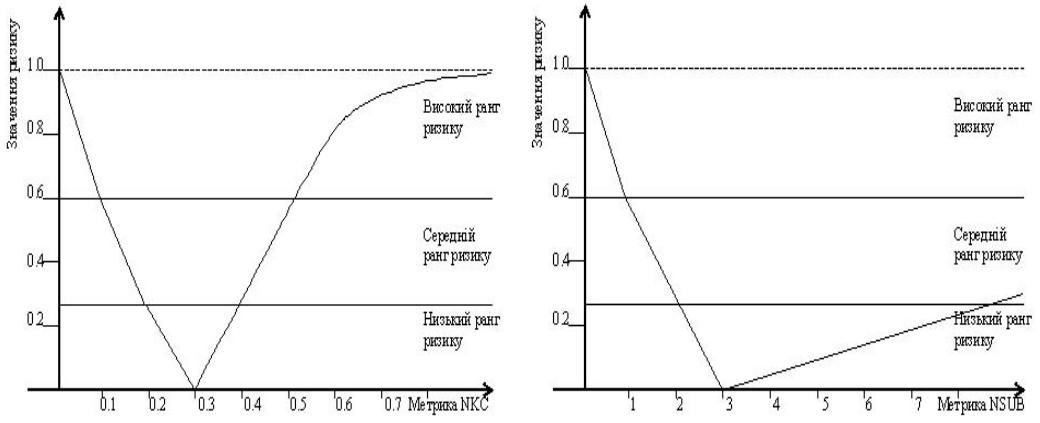


Рис. 4. Визначення параметра ризику P_{NP}

Метрика NKC. Значення NKC достовірно відображає майбутній обсяг розробки. Кількісне значення ризику $\mathbf{P_{NKC}}$ для відповідних значень метрики визначають згідно з графіком, наведеним на рисунку 5, *а*. Значення $\mathbf{P_{NKC}}$ дозволяє визначити ранг ризику, пов'язаному зі складністю ПЗ.



а) б)

Рис. 5. Визначення параметра ризику P_{NKC} та P_{NSUB}

Метрика NSUB. Кількість підсистем забезпечує розуміння наступних питань: розміщення ресурсів, планування, загальні затрати на інтеграцію. Кількісне значення ризику $\mathbf{P_{NSUB}}$ для відповідних значень метрики визначають згідно з графіком, наведеним на рисунку 5, *б*. Значення $\mathbf{P_{NSUB}}$ дозволяє визначити ранг ризику, пов'язаному зі складністю ПЗ.

Згідно зі статистичним способом підрахунку ймовірності та на основі вищевикладеного, ми маємо можливість визначити формули для отримання кількісних характеристик ризиків, пов'язаних зі складністю програмного продукту, що розробляється, та його функціональністю. Отже, маємо формулу для визначення $\mathbf{P_{СКЛ}}$:

$$P_{СКЛ} = \frac{P_{CS} + P_{NOO} + P_{NOA} + P_{SI} + P_{NKC} + P_{NSUB} + K_{NP}^{C} P_{NP}}{7}, \quad (2)$$

де K_{NP}^{C} – коефіцієнт впливу метрики P_{NP} на складність програмного продукту.

Формула для визначення $\mathbf{P_{ФУНК}}$ має вигляд:

$$P_{ФУНК} = \frac{P_{OC} + P_{OS} + K_{NP}^{Ф} P_{NP}}{3}, \quad (3)$$

де $K_{NP}^{Ф}$ – коефіцієнт впливу метрики P_{NP} на функціональність програмного продукту. Коефіцієнти K_{NP}^{C} та $K_{NP}^{Ф}$ пов'язані формулою

$$K_{NP}^{C} = 1 - K_{NP}^{Ф}. \quad (4)$$

Висновки дослідження:

- застосування метрик для оцінки об'єктно-орієнтованого програмного забезпечення дає можливість оцінити кількісні показники ризиків програмного проекту;
- метрики набору Лоренца-Кідда дають можливість визначити кількісні значення параметрів ризиків, пов'язаних зі складністю та функціональністю програмного забезпечення;
- застосування набору метрик Лоренца-Кідда спрощує ідентифікацію ризиків та дозволяє приймати управлінські рішення, ґрунтуючись на чітко визначених кількісних даних.

Список використаних джерел

1. Project Management Body of Knowledge (PMBOK), PMI Standard Committee.
2. Акименко А. М. Використання UML під час проектування складних програмних систем / А. М. Акименко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія "Технічні науки": наук. зб. – 2011. – № 49. – С. 164-170.
3. Акименко А. М. Ідентифікація ризиків програмного проекту / А. М. Акименко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія "Технічні науки": наук. зб. – 2011. – № 53. – С. 171-175.

УДК 004.02

А.Н. Волокита, канд. техн. наук
Ву Дык Тхинь, аспирант
А.Ю. Якушев, студент
Национальный технический университет Украины «КПИ», г. Киев, Украина

ОБНАРУЖЕНИЕ ВТОРЖЕНИЙ В РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

В данной статье предложено использование генетического программирования (ГП) для решения задачи обнаружения вторжений в распределенные компьютерные системы. Сделано анализ существующих методов оптимизации выполнения ГП, проведено экспериментальное исследование эффективности ГП при поиске символьного выражения третьего порядка.

Постановка проблемы. Распределенная компьютерная система (РКС) – группа объединенных в сеть компьютеров, представляющаяся их пользователям единой объединен-

ной системой, целью которой является решение различных задач (например, реализация облачного хранилища или Platform-As-A-Service хостинга). Обеспечение безопасности РКС должно быть организовано на отдельном сервере, который управляет агентами безопасности на узлах РКС. Каждый из узлов с определенной частотой посылает серверу сведения о состоянии системы в виде количественных характеристик безопасности. Задача сервера – определить по полученным характеристикам вероятность того, что узел сети скомпрометирован, и известить об этом администратора РКС.

Задача определения вторжения по косвенным характеристикам относится к разряду эвристических, так как не существует очевидной зависимости между значениями характеристик и вероятностью вторжения. Некоторые характеристики могут быть не важны, некоторые влиять только при определенных условиях (например, при определенных значениях других характеристик), и у каждой из них различные весовые коэффициенты.

Решение задач определения вторжения с помощью регрессионной модели представляет собой поиск такого выражения и его коэффициентов, чтобы входные параметры, подставленные в найденное выражение, выдавали соответствующие выходные значения. Символьная регрессия подразумевает топологический поиск решения параллельно с параметрическим, то есть изменение структуры решения.

Генетическое программирование (ГП) является одним из методов решения задач символьной регрессии с возможностью создавать структуру решения во время выполнения, и представлением решений в виде деревьев, что совпадает со структурной записью символьных выражений.

Анализ исследований и публикаций. В настоящее время зарегистрировано (и подкреплено соответствующими патентами) 36 случаев, когда решение, произведенное с помощью генетического программирования, превзошло, повторило либо улучшило существующее человеческое изобретение [1]. Решения относятся к следующим областям: автоматическое создание аналоговых электрических схем, метаболических цепей, синтез антенн.

Группе исследователей из Мадридского университета удалось успешно применить генетическое программирование в анализе хеш-функций на случайность [2]. Для того чтобы удостовериться в надежности хеш-функции на предмет наличия определенного вида зависимостей между выходным значением и входными данными, для функций была запущена сессия ГП с большим максимальным поколением. Функции, для которых не было найдено ни одного похожего индивида в пределах допустимого сходства, считались безопасными.

Цель статьи. Целью статьи является разработка алгоритма на основе символьной регрессии для вероятностной оценки возможности атаки на распределенную компьютерную систему в режиме реального времени, применяя метод генетического программирования.

На рис. 1 показана РКС, состоящая из M узлов с агентами безопасности, каждый из которых посылает серверу значения N различных характеристик.

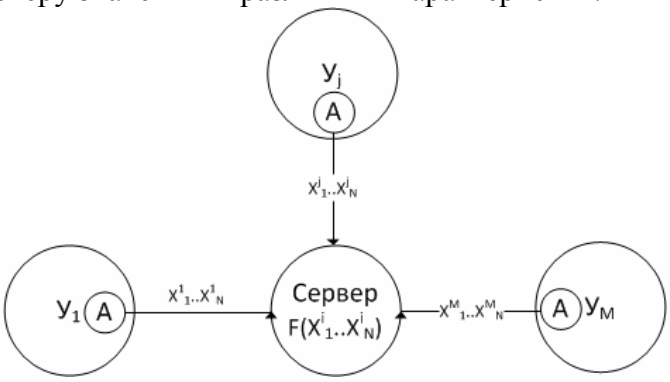


Рис. 1. Схема обеспечения обнаружения атак на РВС. А – агент безопасности, У1..УМ – узлы РКС, Xi1..XiN – значения характеристик i-го узла

Сервер безопасности получает от каждого узла набор характеристик узла $X^i_1..X^i_N$, далее для этих характеристик применяется функция F, которая возвращает вероятность того, что данный узел является скомпрометированным (взломанным злоумышленником). Нахождение такой функции – трудоемкий процесс, который невозможно выполнить аналитическими методами, поэтому в данной работе предлагается использование символьной регрессии в качестве средства нахождения функции. При этом для выполнения символьной регрессии будет использоваться алгоритм генетического программирования.

Изложение основного материала. Генетическое программирование и эволюционное вычисление зарекомендовали себя как хороший способ для постройки топологии системы и ее настройки. Генетическое программирование показывает прекрасные результаты в нетривиальных сложных задачах, так как использует нетривиальные методы и подходы, до которых бы с трудом додумался человек, специализирующийся в этой области. Таким образом, у генетического программирования и эволюционных вычислений зафиксировано немало случаев удачного применения, а также огромный нераскрытый потенциал для использования в других, еще не освоенных, областях.

При решении задач с помощью генетического программирования следует особое внимание уделять сходимости алгоритма. Сходимость алгоритма – способность алгоритма приводить к результату за конечное число шагов. Скорость сходимости алгоритма – один из важных показателей качества математических моделей, предназначенных для решения задач на ЭВМ. Обычно скорость оценивается количеством итераций, необходимых для получения искомого решения. Для итерационных алгоритмов скорость сходимости является критерием эффективности, по которому зачастую и выбирается алгоритм для решения конкретной задачи.

Так же, как и остальные недетерминированные эвристические и метаэвристические алгоритмы многокритериального поиска, генетическое программирование не гарантирует сходимости и получения точного результата для конкретного запуска алгоритма. Существует ненулевая вероятность того, что алгоритм остановится в точке локального максимума на время достаточно большое, чтобы считать запуск алгоритма неудачным. В таком случае популяции или дается шанс выбраться из локального максимума (что для такой популяции означает ожидание удачной случайной мутации), или алгоритм запускается заново. Скорость сходимости генетического программирования также нельзя определить аналитически, она сильно зависит от специфики конкретной задачи и выбранных стратегий работы самого алгоритма.

Для генетического программирования и генетических алгоритмов в целом существует проблема так называемой преждевременной сходимости. Преждевременная сходимость – это ситуация, когда фитнес-доминантные индивиды (представители локального максимума) вытесняют из популяции особей, которые несут полезные гены, но обладают меньшим показателем фитнеса [3].

Следуя из вышесказанного, при использовании генетического программирования необходимо решить две противоположные задачи: максимизировать скорость сходимости и предотвратить преждевременную сходимость алгоритма. Для решения этих задач существуют теоретически обоснованные и экспериментально испытанные методики и принципы конфигурации систем генетического программирования.

Выбор таких характеристик как размер популяции, процент особей, участвующих в репродукции, частота мутаций не оказывает особого влияния на скорость сходимости генетического программирования и сходимость в целом [4]. Тем не менее, размер популяции должен быть достаточным для того, чтобы:

- обеспечивать разнообразие в начальной популяции, так как подавляющие большинство свойств будущие поколения получат именно из начальной популяции;

- сохранять индивидуумов, значение фитнеса которых ниже, чем у представителей локального максимума в популяции, но которые обладают нужными генами.

Дэвидом Фоджелом была выведена формула минимального размера популяции необходимого для работоспособности генетического алгоритма [3]:

$$1+\log_2 \frac{1}{1-P^{\frac{1}{L}}},$$

где P – требуемая вероятность того, что случайный набор хромосом будет содержать все необходимые гены для каждого локуса; L – длина хромосомы. Поскольку в задачах генетического программирования поиск хромосомы осуществляется не линейно, а в пространстве (представленном в виде бинарного дерева), то вместо длины хромосомы в формуле нужно использовать 2^L.

В теории генетических алгоритмов существуют множество методов отбора особей для репродукции. Каждый из методов может быть более или менее эффективным для конкретной задачи, поэтому правильный выбор стратегии отбора повлечет за собой уменьшения времени сходимости. Существуют следующие основные стратегии отбора индивидов [5]:

- отбор, пропорциональный фитнесу (или рулетка) – сначала высчитывается значение фитнеса для каждой особи, нормализуется, затем популяция сортируется по возрастанию нормализованного значения фитнеса, после этого каждому индивиду присваивается аккумулированное значение приспособленности (его собственное значение фитнеса плюс суммарное значение фитнеса всех индивидов до него). Затем выбирается случайное число R от 0 до 1, и выбирается первый индивид, который обладает большим аккумулированным значением приспособленности, чем R;
- стохастический сэмплинг – модификация рулетки, в которой с помощью одного случайного числа через равные промежутки из популяции выбираются все необходимые индивиды. Этот метод лишен предвзятости и имеет минимальный разброс, что связано с уменьшением роли случая в конечном отборе;
- турнирный метод – по очереди из популяции случайным образом выбираются особи, между которыми проводится «турнир». Победитель каждого турнира выбирается для скрещивания. Преимущество этого метода в том, что изменение размера турнира позволяет настроить строгость селекции. Чем больше размер турнира, тем меньше шансов у слабого индивида быть отобранным.

Существуют также другие стратегии отбора индивидуумов для скрещивания. Например, часто используемым является элитарный метод, при котором самый сильный индивид в популяции гарантировано без изменений переходит в следующее поколение.

Существует еще один метод улучшения сходимости ГП. Это автоматически определяемые функции (*англ.* automatically defined functions, ADF) – эксклюзивный для генетического программирования (из всех эволюционных алгоритмов) метод, позволяющий контролировать сложность индивидов в популяции, а следовательно упростить поиск и ускорить сходимость. Автоматически определенные функции позволяют индивиду повторно использовать повторяющиеся шаблоны и формы хромосом вместо того, чтобы эволюционно получать их заново в каждом необходимом локусе.

ADF (одна или несколько) развиваются вместе с индивидом, могут в процессе эволюции появляться, исчезать, менять свою арность (количество аргументов), передаваться через скрещивания целиком или частично другим индивидам, изменять свою структуру с помощью генов, полученных от других индивидов. Иными словами, ADF – полноправная часть особи.

Следует отметить, что использование ADF для задач, где повторения генов маловероятны, может только снизить скорость сходимости. Для простых задач следует избегать использования ADF, так как одиночно встречающиеся двух- или трехкратные повторения генов не оправдывают увеличения индивидуумов почти в два раза.

Эксперименты. Целью эксперимента является попытка с помощью генетического программирования найти неизвестную функцию, которая прямым образом задает функцию фитнеса для генетического эксперимента.

Функция представляет собой бинарное дерево, в вершинах веток которого могут находиться терминальные операции из заданного списка (в нашем случае, это операции сложения, вычитания, умножения и защищенного деления), а в конечных узлах дерева – терминальные символы (в нашем случае, переменная x и случайные действительные числа). Если принять, что количество терминальных символов в поставленной задаче – s, количество терминальных операций – p, а максимальная глубина бинарного дерева функции – n, то сложность алгоритма полного перебора такой функции:

$$O(n) = (sp)^{2^{n-1}}.$$

Исходя из этого, и приняв значения переменных p = 4, s = 5, n = 8 (половина стандартной максимальной глубины дерева решения по [4]), количество элементов полного перебора равно 10^{165}.

В качестве языка для решения задачи был выбран язык Clojure, как язык из подсемейства Lisp-языков. Причиной такого выбора стала необходимость использования в программе символьной алгебры и требования к динамичности для быстрого написания прототипа программы. Алгоритм, который использует данная программа, состоит из следующих этапов:

1. Сгенерировать начальную популяцию (в данном случае – набор случайных бинарных деревьев).
2. Проверить, нет ли в популяции особи, полностью отвечающей искомой функции. Если такая особь существует или превышено граничное время, завершить работу, предъявив найденную особь.
3. Каждая особь в популяции сравнивается с функцией фитнеса путём их интегрирования на определенном участке и сравнения дельты площади.
4. Особи в популяции сортируются в порядке убывания схожести с фитнес-функцией.
5. Происходят процессы мутации, кросс-овера и репликации. Чем больше особь похожа на функцию фитнеса, тем выше у нее шанс стать участником кросс-овера или реплицироваться в следующей популяции.
6. Повторяется шаг 2.

Программа является демонстрацией принципиальной возможности рассматриваемого подхода для решения задачи обнаружения вторжений, но не является полноценным решением нахождения арбитрарной функции в заданном условием контексте. В программе присутствуют такие недостатки, как недостаточно сложный механизм нормализации полученной функции и низкая скорость выполнения базовых математических операций из-за динамичности языка.

Для проверки была случайно выбрана функция $y(x) = 3x^4 - 3x + 1$ или в виде бинарного дерева:

$$\mathrm{y} = \mathrm{add}(\mathrm{sub}(\mathrm{mul}(\mathrm{mul}(\mathrm{mul}(\mathrm{x},\mathrm{x}),\mathrm{mul}(\mathrm{x},\mathrm{x})),3),\mathrm{mul}(3,\mathrm{x})),1).$$

Стоит отметить, что выбранная для эксперимента функция полностью случайна, и ее форма и значения коэффициентов никаким образом не свидетельствуют об ограниченности генетического программирования или предрасположенности к решению именно таких функций.

Терминальными операциями являлись операции сложения, вычитания, умножения и защищенного деления; терминальными символами – переменная x (с вероятностью выпадения 50 %) и случайные действительные числа. Размер популяции был равен 20 особям. За одну смену поколения в популяции происходило 10 репликаций, 2 мутации и 10 кросс-оверов (каждый из них дающий по 2 потомка). Количество поколений, являющееся граничным (если идеальный индивид так и не был найден) равно 1000.

После прохождения 100 тестов среднее значение приведенного фитнеса было равно 0,782 (где 1 – идеальный экземпляр), или абсолютное значение фитнеса 0,278 на промежутке -10..+10. Минимальное значение фитнеса после 100 тестов равно 0,734, что лежит в пределах 10 % допустимого отклонения для признания сходимости алгоритма.

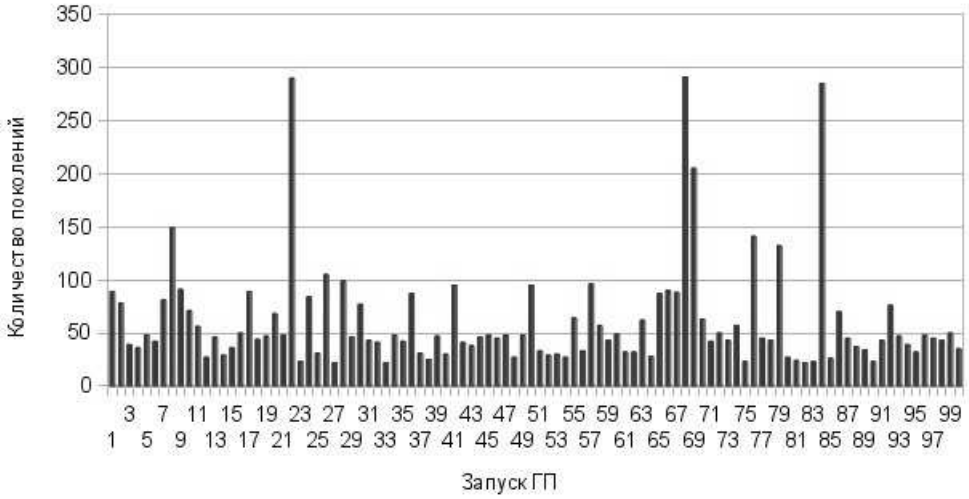


Рис. 2. Количество использованных поколений для каждого запуска

Как видно из рис. 2, в 65 случаях алгоритм ГП нашел искомое символьное выражение за менее чем 50 поколений (1000 особей). В 27 случаях алгоритму потребовалось до 100 поколений, и в 8 случаях алгоритм затратил менее 300 поколений (6000 особей) для определения выражения. Каждый из 8 запусков был проанализирован отдельно, и выявлено, что причиной столь затянувшегося поиска идеального решения было отсутствие полноценного механизма нормализации функций, о котором было сказано выше. Тем не менее, каждый из 100 запусков привел к конечному результату, что говорит об эффективности используемых методов обеспечения сходимости.

Выводы. Экспериментальное исследование алгоритма генетического программирования показало, что данный алгоритм можно использовать в решении задачи обнаружения вторжения в распределенных компьютерных системах. Было продемонстрировано, что генетическое программирование значительно эффективнее прямого перебора для этого класса задач. Сравнение с другими регрессионными методами не было выполнено из-за их ограниченности только параметрическим поиском, без возможности менять топологию результата. Также необходимо учесть, что алгоритм генетического программирования можно выполнять параллельно – значение фитнеса для каждого индивида может вычисляться на отдельном процессоре.

Список использованных источников

1. J. R. Koza, L. W. Jones, M. A. Keane. Toward automated design of industrial strength analog circuits by means of genetic programming / Boston, MA: Kluwer Academic Publishers, 2004. – 22 p.

2. C. Estebanez, J. C. Hernandez-Castro, A. Ribagorda. Finding State-of-the-Art Non-cryptographic Hashes with Genetic Programming / Universidad Carlos III de Madrid, 2000. – 10 p.

3. D. B. Fogel. Evolutionary Computation: Towards a New Philosophy of Machine Intelligence / New York: IEEE Press, 2000. – 384 p.

4. J. R. Koza. Genetic Programming IV: Routine Human-Competitive Machine Intelligence / New York: Springer, 2005. – 606 p.

5. J. R. Koza. Genetic Programming II: Automatic Discovery of Reusable Programs / Boston: MIT Press, 1994. – 768 p.

УДК 681.518.3:528.92

В.І. Зацерковний, канд. техн. наук
Чернігівський державний інститут економіки і управління, м. Чернігів, Україна

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ РЕГІОНАЛЬНОЇ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

Виконано аналіз нагальних потреб управління територіями на рівні регіону (області), які вимагають методів та управлінських процедур, здатних функціонувати в умовах певної невизначеності. Сформульовано особливості моделей прийняття рішень у складних системах, якими є регіональні геоінформаційні системи. Здійснено оцінку рівня невизначеності об'єкта дослідження, на підставі якої зроблений висновок, що моделі прийняття рішень повинні будуватись на підставі використання методів декомпозиції і координації.

Постановка проблеми. Основним чинником, який забезпечує прийняття ефективних управлінських рішень у сучасних ринкових умовах, як на рівні керівника підприємства, так і на рівні управління регіону (області) і держави, є своєчасна та достовірна інформація. Оскільки практично вся інформація (80-85 %) про ресурси певного регіону має просторову прив'язку [1], то цілком очевидно, що базовою інформаційною технологією повинна виступати регіональна геоінформаційна система (ГІС).

Впровадження геоінформаційних технологій (ГІТ) у процес управління регіоном дозволяє не тільки значно спростити ведення інформаційних баз і знизити ймовірність виникнення помилок, але й впровадити нові методи підтримки прийняття управлінських рішень на основі аналізу даних дозволяє підняти його на якісно новий рівень і, врешті-решт, підняти їх ефективність.

Проблеми прийняття рішень в організаційному управлінні переважно унікальні й нестандартні, але вони у своїй ситуаційній основі мають такі загальні риси: неповторність ситуації вибору; складний для оцінювання характер досліджуваних альтернатив; недостатня визначеність наслідків дій (невизначеність післядій); наявність сукупності різнорідних чинників, які необхідно враховувати під час прийняття рішень; наявність особи або групи осіб, які несуть відповідальність за прийняття управлінських рішень [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розвитку і становленню ГІС суспільство завдячує багатьом зарубіжним, радянським, пострадянським і вітчизняним ученим, серед яких: Дж. Данджермонд, Елті Дж., Калкінз Х., де Мерс, Томплінсон З.Ф., Берлянт О.М., Бугаєвський Л.М., Бурачек В.Г. [3], Бурштинська Х.В., Виноградов Б.В., Дорожинський О.Л., Железняк О.О., Іщук О.О., Кошкарьов А.В., Капралов Є.Г., Корольов Ю.К., Тікунов В.С., Морозов В.В., Серединін Є.С., Могильний С.Г., Карпинський Ю.О., Лященко А.А., Світличний О.О., Суховірський Б.І., Швебс Г.І., Шипулін В.Д., Цвєтков В.Я. [4] та багато інших.

В їх працях підкреслена особлива роль ГІС у вирішенні нагальних проблем управління територіями. Завдяки дослідженням цих учених значно прискорилися процеси формування окремих геоінформаційних проектів, інфраструктури просторових даних, розробки теоретичних і практичних аспектів створення ГІС.

Розглядаючи регіональну ГІС, як мегапроект управління територіальним розвитком, доцільно відзначити, що спроби щодо розробок з теорії управління мегапроектами, де інструментарієм та інформаційною базою управління були б геоінформаційні системи, в науковій літературі дуже мало [4].

Постановка завдання. Розвиток та становлення ГІС і ГІТ в Україні, що почалися в останні роки, значно відстає від їх розвитку на Заході. Досвід створення ГІС в Україні обмежується окремими спеціалізованими системами, зорієнтованими на вирішення вузьких завдань для території рангу міста, адміністративного району. Багаторічний досвід створення та використання інформаційних систем управління в Україні показав, що комп'ютерні технології зазвичай поширюються на низових і середніх рівнях управління виробництвом та у невиробничій сфері. Тут характерною ознакою є формалізовані процедури підготовки управлінських рішень, тобто автоматизовані рутинні операції обліку та поточного планування [3].

Управління економічними і соціальними процесами вищого рівня вимагає методів та управлінських процедур, здатних функціонувати в умовах певної невизначеності. Тут об'єктами управління є слабоструктуровані чи неструктуровані проблеми, в яких не завжди означені взаємозв'язки та залежності між певними параметрами. А вироблення рішення великою мірою ґрунтується на творчому підході і залежить від інформативності, кваліфікації, таланту та інтуїції суб'єктів управління [5].

Усвідомлення ситуації, яка склалася, свідчить про актуальність питання розробки моделі прийняття рішень за допомогою регіональної ГІС (РГІС) Чернігівської області.

Виклад основного матеріалу дослідження. ГІС дозволяють створити єдиний оптимально-організований інформаційний простір регіону, дають можливість здійснювати ефективний обмін інформацією між її власниками, оперативне інтегрування інформації в наукових і практичних цілях соціально-економічного розвитку за ієрархією адміністративних одиниць території.

Відповідно до особливостей складних систем, якою є РГІС, і тими ознаками, які характеризують систему, як складну, можна сформулювати особливості моделей прийняття рішень у складних системах [6; 8]:

1) Прийняття рішень у складних системах, якими є РГІС, являє собою багатомодельне дослідження.

2) Моделі прийняття рішень повинні будуватись з урахуванням факторів невизначеності впливів зовнішнього середовища.

3) Моделі прийняття рішень повинні враховувати різнорідні суперечливі вимоги, що висуваються до системи.

4) РГІС має розгалужену ієрархічну систему. У такій системі здійснюється взаємопов'язане прийняття рішень у підсистемах різних ієрархічних рівнів.

Для інтегральної оцінки невизначеності стану об'єкта в процесі управління можна застосувати ентропію стану об'єкта дослідження (регіону):

$$H_0(X,t,\tau) = H_{P.B}(X,t,\tau) + H_{П.В.}(X,t,\tau), \quad (1)$$

де $H_{P.B}(X,t,\tau)$ – ентропія, яка зумовлена наявністю ймовірності раптових «відмов» (надзвичайні ситуації, аварії, стихійні лиха тощо); $H_{П.В.}(X,t,\tau)$ – ентропія, яка зумовлена наявністю ймовірності поступових «відмов» (погіршення екологічної ситуації, зростання соціальної напруженості тощо).

Ентропію $H_{П.В.}(X,t,\tau)$ безперервного m-мірного диференціального закону розподілу ймовірностей вихідних параметрів можна визначити за формулою:

$$H_{П.В.}(X,t,\tau) = -\int_{-\infty}^{\infty}\ldots\int f(X,t,\tau)\log_2 f(X,t,\tau)dX. \quad (2)$$

Якщо в цю формулу замість закону розподілу ймовірностей вихідних параметрів підставити закони розподілу динамічних характеристик об'єкта, то отримаємо відпові-

дно кількісну інтегральну оцінку стану об'єкта управління за його динамічними характеристиками.

При незалежних вихідних параметрах ентропія об'єкта визначається за формулами, які визначають ентропію динамічних характеристик з урахуванням їх незалежності.

Ентропію вихідних параметрів можна визначити за формулою:

$$H_{П.В.}(x_1, x_2, ..., x_m, t, \tau) = \sum_{i=1}^{m} H_{П.В.}(x_i, t, \tau). \quad (3)$$

Ентропію, зумовлену наявністю в об'єкті дослідження дискретних систем, можна визначити за формулою:

$$H(p_1, p_2, ..., p_n, t, \tau) = -\sum_{i=1}^{m} p_i \log_2 p_i. \quad (4)$$

Таким чином, ентропія об'єкта управління, яка має незалежні вихідні параметри і динамічні характеристики різних систем, визначається простим арифметичним додаванням часткових ентропій, що зумовлені невизначеністю окремих вихідних параметрів і динамічних характеристик.

Ентропія $H_{P.B}(X, t, \tau)$ обумовлена багатьма непереважними один над одним незалежними процесами, які відбуваються у системах з різними швидкостями та які викликають раптові відмови, випадково розподілені у часі.

Ентропію, обумовлену наявністю раптових відмов, можна визначити за формулою:

$$H_{P.B}(X, t, \tau) = -\{P_{P.B}((X, t, \tau) \log_2 P_{P.B}(X, t, \tau) + [1 - P_{P.B}(X, t, \tau)] \log_2 [1 - P_{P.B}((X, t, \tau)]\}, \quad (5)$$

де $P_{P.B}$ – імовірність відсутності раптових відмов.

При експонентному законі розподілу ймовірності безвідмовної роботи ймовірність того, що в нерезервованому об'єкті не відбудеться раптової відмови, визначається за формулою:

$$P_{P.B}(X, t, \tau) = \int_{-\infty}^{\infty} ... \int f(Z, t, \tau) \exp - \left\{ -\sum_{i=1}^{m} \lambda(x_i, t, \tau), t \right\} dZ = \int_{-\infty}^{\infty} ... \int f(Z, t, \tau) \exp - \{\Lambda(X, t, \tau)\} dZ, \quad (6)$$

де $\lambda(x_i, t, \tau)$ – інтенсивність відмов *i*-ї системи;

$f(Z, t, \tau)$ – закон розподілу інтенсивностей зовнішніх збурень, які діють на системи об'єкта;

$$\Lambda(X, t, \tau) = \sum_{i=1}^{m} (x_i, t, \tau). \quad (7)$$

Імовірність відсутності раптових «відмов» об'єкта дослідження, що містить *m* систем, у тому числі β резервованих вузлів, з урахуванням закону розподілу зовнішніх факторів збурення в умовах управління може бути визначена за формулою:

$$P_{P.B}(X, t, \tau) = \int_{-\infty}^{\infty} ... \int f(Z, t, \tau) \exp \left\{ -\sum_{i=1}^{m} \lambda(x_i, t, \tau) \right\} \prod_{i=1}^{B} P_{P.B}(x_j, t, \tau) dZ, \quad (8)$$

де $P_{P.B}(x_j, t, \tau)$ – імовірність відсутності раптових «відмов» *j*-ї резервованої системи.

Враховуючи наведене, можна зробити висновок, що моделі прийняття рішень повинні будуватись на підставі використання методів декомпозиції і координації.

Формально, з теоретико-множинних позицій модель *M* є відношенням (сукупністю відношень), заданих на сімействі *m* утворюючих множин, тобто

$$M = (X_1, X_2, ..., X_m, R), \quad (9)$$

де $R \in X_1 \times X_2 \times ... \times X_m$ – граф відношення.

В умовах невизначеності впливу зовнішнього середовища математична модель прийняття рішень (1) може бути записана у вигляді:

$$M = (\Delta \times \Omega, f),$$

або (10)

$$M = (\Delta(\omega), \omega) \in \Omega,$$

де $\Delta(\omega)$ – множина припустимих альтернативних рішень;

$\Delta(\omega) \in \Delta \times \Omega$, де Δ – власне множина альтернативних рішень;

Ω – множина станів середовища;

f – цільова функція, яка характеризує якість рішень в умовах впливу середовища $f : \Delta \times \Omega \to R1$, тоді $f = f(x, \omega),\ x \in \Delta,\ \omega \in \Omega.$

Прийняття рішень полягає у виборі альтернативи $x \in \Delta,$ в припущеннях про те, який стан $\omega \in \Omega.$ може прийняти середовище.

Дослідження процесів прийняття рішень під час управління РГІС свідчать, що інформація про стан зазначеної системи, яка опрацьовується й аналізується в умовах складної соціально-економічної системи (СЕС), якою є регіон, представлена у більшості випадків у вигляді понять і відношень, які задаються на природній або професійно-орієнтованій мовах. Одним з конструктивних способів формального опису ситуацій, пов'язаних з невизначеністю прийняття рішень, є спосіб формалізованого подання, яке ґрунтується на нечіткому (розмитому) описі основних елементів формалізованого подання ситуації прийняття рішень.

Реалізація підходу ухвалення рішень в умовах невизначеності складається з трьох етапів [7]:

1) фазифікація – перехід від точних даних вирішуваної задачі до нечітких на основі вхідних функцій приналежності;

2) розв'язання задачі з використанням нечітких міркувань (нечіткої логіки);

3) дефазифікація – перехід від нечітких інструкцій до чітких на основі вихідних функцій приналежності.

Загальна модель ухвалення рішень використовує нечіткі моделі, які хоч і мають меншу ефективність для параметрів, що розраховуються, але зберігають її майже постійною у широкому діапазоні зміни значень параметрів. Таким чином, у цільову функцію, крім дискретних і кількісних чинників, доцільно включити й лінгвістичні. Тоді в рамках лінгвістичного підходу ситуація ухвалення рішень, під якою розуміють умови і цілі, що описуються фразами, відповідають термам з терм-множин лінгвістичних змінних, введених для формалізованого опису ситуації [7].

Основою для розв'язання задачі з використанням нечіткої логіки є база правил, що містить нечіткі вислови у формі «якщо-то» і функції приналежності для відповідних лінгвістичних термів. Відомим методом декомпозиції, який реалізує цей підхід є метод дерева рішень. У результаті застосування цього методу, для навчальної вибірки даних створюється ієрархічна структура правил класифікації типу – «якщо…тоді…», що мають вид дерева [8]. Для того щоб вирішити, до якого класу віднести певний об'єкт або ситуацію, потрібно відповісти на відповідь, що стоїть у вузлах цього дерева, починаючи з його кореня. Питання можуть мати вигляд «значення параметра А більше Х»? або вигляду «значення змінної В належить підмножині ознак С»? Якщо відповідь позитивна, то здійснюється перехід до правого вузла наступного рівня, якщо негативна – то до лівого вузла; потім знову відповідь питання, пов'язане з відповідним вузлом. Таким чином, врешті-решт можна дійти до одного з кінцевих вузлів, де буде визначений клас об'єктів [8].

Для побудови дерева рішень на етапі підготовки визначаються елементи:

- фактори (чинники) $X_1, X_2,..., X_k$;
- тип факторів (дискретний, лінгвістичний, кількісний);
- можливі значення кожного фактору $O_1,O_2,\ldots O_n$;
- класи об'єкта.

Побудова моделі зводиться до розв'язання задачі автоматичної класифікації, оскільки результат має дискретні значення.

Нехай через $\{C_1, C_2,\ldots C_k\}$ позначені класи (значення мітки класу), тоді можливі 3 ситуації:

1. Множина T містить один або більше прикладів, що відносяться до одного класу C_k. Тоді дерево рішень для T – це лист, який визначає клас C_k;
2. Множина T не містить жодного прикладу, тобто є пустою множиною. Тоді це знову лист і клас, який асоційований з листом, обирається з іншої множини, відмінної від T, наприклад з множини, асоційованої з батьком;
3. Множина T містить приклади, що відносяться до різних класів. У цьому випадку необхідно множину T розбити на певні підмножини. Для цього обирається одна з ознак, що має два або більше відмінних значень $O_1,O_2,\ldots O_n$. Множина T розбивається на підмножини $T_1,T_2,\ldots T_n$, кожна підмножина T_i містить усі приклади, які мають значення O_i для обраної ознаки. Ця процедура буде рекурсивно тривати до тих пір, поки кінцева множина не буде складатись з прикладів, що відносяться до одного класу.

Отже, загальна модель буде виглядати таким чином:

$$M = f(X_1, X_2,...X_k), \tag{11}$$

де X_k – фактор, який описується вектором можливих значень $X_k = \{O_1, O_2,...O_n\}$;

M – результат ухвалення рішень, $M = \begin{cases} C_1 \\ C_2 \\ ... \\ C_k \end{cases}$

Розглянемо підхід до ухвалення рішень на підставі дерева цілей:

Етап 1. Обрати фактори X_k, за якими буде прийматися рішення, і визначити для кожного вектор можливих значень $X_k = \{O_1, O_2,...O_n\}$.

Етап 2. Визначити класи $\{C_1, C_2, \ldots C_k\}$ – альтернативні рішення.

Етап 3. Задати початкову вибірку – множину T, у якій відображена історія поведінки користувача.

Етап 4. Побудова дерева рішень. Необхідно розбити множину T на підмножини $T_1,T_2,\ldots T_n$, для обраної ознаки O_i. Процедура буде рекурсивно тривати до тих пір, поки кінцева множина не буде складатись з прикладів, що відносяться до одного і того ж класу.

Якщо в процесі роботи був отриманий вузол, асоційований з пустою множиною (тобто жоден приклад не попав у цей вузол), то він позначається як лист, і рішенням цього листа обирається клас, який найчастіше зустрічається у безпосереднього прабатька цього листа.

Етап 5. Ухвалення рішень, які відповідають класу C_k.

Цей підхід дозволяє реалізувати ухвалення рішень в умовах невизначеності у складних РГІС. Дерева рішень є ефективним інструментом у системах підтримки ухвалення рішень й інтелектуального аналізу даних. У галузях, де є високою ціна помилки, вони можуть слугувати відмінним засобом підвищення якості розпізнавання, класифікації і прогнозування під час використання мінімальної кількості діагностичних прецедентів [9].

Висновки дослідження. Управлінські дії завжди з процесами виявлення, розпізнавання територіальних об'єктів (процесів, явищ). Тому наявність вбудованої в РГІС системи підтримки й прийняття рішень (СППР) дозволить аналізувати інформацію, яка надходить до РГІС у режимі реального часу і видавати особі, що приймає рішення (ОПР) цілісне уявлення (виражене у графіках, моделях, цифрах) про ситуацію в регіоні. Такі системи можуть ефективно використовуватись при різноманітних управлінських операціях, діях і заходах різного виду і масштабів, моделюванні заходів з попередження і ліквідації надзвичайних ситуацій тощо.

Запропонований підхід до ухвалення рішень в умовах невизначеності на основі дерева цілей, заснований на математичній моделі, в якій використовуються лінгвістичні змінні, надає можливість спростити процес прийняття рішень і наблизити його до розуміння ОПР. За рахунок цього можуть істотно розширюватись функціональні можливості технології прийняття рішень у РГІС.

Список використаних джерел

1. Геоинформатика / Е. Г. Капралов, А. В. Кошкарев, В. С. Тикунов [и др.] – М.: Академия, 2005. – 480 с.

2. Тихонов А. Н. Методы решения некорректных задач: учеб. пособие для вузов / А. Н. Тихонов, В. Я. Арсенин. – М.: Наука, 1986. – 288 с.

3. Бурачек В. Г. Основи ГІС / В. Г. Бурачек, О. О. Железняк, В. І. Зацерковний. – Ніжин: Аспект-Поліграф, 2011. – 512 с.

4. Цветков В. Я. Основы геоинформатики: электронный учебник / В. Я. Цветков. – М.: М-во общ. и проф. образования РФ. Центр информатизации, 1998. – 627 с.

5. 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. Серія «Технічні науки». – 2010. – № 45. – С. 206-213.

6. Зацерковний В. І. Методика створення еталонних моделей просторових об'єктів ГІС за допомогою регуляризуючого функціоналу / В. І. Зацерковний, С. В. Кривоберець, Ю. С. Сімакін // Вісник ЧДТУ. Серія «Технічні науки». – 2011. – № 1 (47). – С. 240-246.

7. Бочарников В. П. Fuzzy-технологія: математические основы. Практика моделирования в экономике / В. П. Бочаров. – СПб.: «Наука» РАН, 2011. – 328 с.

8. Балашов О. В. Система поддержки принятия решений с адаптацией алгоритма вывода / О. В. Балашов, Е. М. Грубник, В. В. Круглов // Математическая морфология. – 2006. – № 1. – С. 12-18.

9. Цветков В. Я. Методы прогнозирования в геоинформационных технологиях / В. Я. Цветков // Информатика-машиностроение. – 1999. – № 4. – С. 44-47.

УДК 004.056.5 (045)

Б.Я. Корнієнко, канд. техн. наук,
О.К. Юдін, д-р техн. наук
В.С. Величко
Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

КОМПЛЕКСНІ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЛАСУ «1»

Стаття присвячена порівнянню двох комплексних систем захисту інформації в автоматизованих системах класу «1». Проведено аналіз функцій і складових комплексних систем захисту інформації. Виконано порівняння засобів захисту інформації двох систем та розглянуто особливості їх застосування.

У сучасних умовах інформатизації суспільства не викликає сумніву необхідність захисту інформаційних ресурсів. Однією з найбільш важливих особливостей інформації є можливість існування в різноманітних формах та здатність поширюватися по різних

каналах. Крім того, негативні наслідки може спричинити не лише факт втрати інформацією конфіденційності, що захищається, але і порушення її цілісності та доступності. У зв'язку з цим найбільш доцільним видається комплексний захист інформації на об'єкті інформатизації в цілому. При цьому одним із найважливіших завдань оптимальної побудови комплексної системи захисту інформації (КСЗІ) є вибір із безлічі наявних засобів такого їх набору, який дозволить забезпечити нейтралізацію всіх потенційно можливих інформаційних загроз із найкращою якістю і мінімально можливими витраченими на це ресурсами.

Постановка задачі. Метою дослідження є порівняння двох комплексних систем захисту інформації в автоматизованій системі – ЛОЗА - 1, версія 3, та Страж NT (версія 3.0).

Автоматизована система (АС) – організаційно-технічна система, що реалізує інформаційну технологію й об'єднує засоби обчислювальної техніки й зв'язку, методи та процедури, програмне забезпечення, фізичне середовище, персонал та інформацію, яка обробляється.

За сукупністю характеристик АС виділено три ієрархічні класи:

- клас «1» – одномашинний однокористувачевий комплекс;
- клас «2» – локалізований багатомашинний багатокористувачевий комплекс;
- клас «3» – розподілений багатомашинний багатокористувачевий комплекс.

Слід відзначити істотні особливості АС класу «1»: у кожний момент часу з комплексом може працювати тільки один користувач, хоч у загальному випадку осіб, що мають доступ до комплексу, може бути декілька, але всі вони повинні мати однакові повноваження (права) щодо доступу до інформації, яка оброблюється; технічні засоби з точки зору захищеності відносяться до однієї категорії і всі можуть використовуватись для збереження всієї інформації.

Система захисту інформації ЛОЗА - 1, версія 3

Система ЛОЗА-1 – програмний засіб захисту інформації від несанкціонованого доступу в автоматизованих системах класу "1" [1]. Система ЛОЗА-1 може працювати під управлінням операційних систем Windows XP/Vista/7. Система ЛОЗА-1 реалізує всі стандартні функції, необхідні для надійного захисту інформації від несанкціонованого доступу і для побудови комплексної системи захисту інформації. Система ЛОЗА-1 може використовуватися для захисту інформації, яка складає державну таємницю, що підтверджено експертним висновком № 240, яке видане Державною службою спеціального зв'язку і захисту інформації України 17 вересня 2010 р.

Система ЛОЗА-1 має дві конфігурації (залежно від інформації, яка обробляється в АС):

- "Підвищена безпека" – для захисту інформації з грифом "Таємно" і "Цілком таємно";
- "Стандартна безпека" – для захисту інформації з грифом "ДБК", конфіденційної і відкритої інформації.

Захист від несанкціонованого доступу до інформації система ЛОЗА-1 забезпечує таким чином:

- реалізований надійний захист документів Microsoft Word і Microsoft Excel за рахунок тісної інтеграції з Microsoft Office (відключаються небезпечні команди, макроси, шаблони і так далі); підтримуються версії Microsoft Office XP/2003/2007/2010;
- система ЛОЗА-1 може захистити будь-які інші дані; захист здійснюється на рівні тек Windows і знімних дисків для окремих носіїв;
- система ЛОЗА-1 дозволяє встановлювати дозволи або заборони на запуск процесів;
- система ЛОЗА-1 дозволяє контролювати роботу зі зовнішніми носіями: дискетами, компакт-дисками і флеш-накопичувачами, для флеш-накопичувачів дозволу на доступ до диска можуть встановлюватися для окремих носіїв (вони ідентифікуються по "залізних" серійних номерах).

Контроль друку та експорту реалізований таким чином:

- система ЛОЗА-1 забезпечує можливість установки дозволу/заборони друку й експорту на рівні окремих документів;
- для посилення контролю система ЛОЗА-1 дозволяє забезпечити присутність адміністратора або іншої уповноваженої особи під час друку та експорту (за рахунок необхідності введення додаткового пароля).

Контроль входу користувачів до системи забезпечується:

- у конфігурації "Підвищена безпека" вхід виконується тільки після введення пароля й установки ключового диска (як ключовий диск може використовуватися звичайна дискета або флеш-накопичувач); діє жорстка політика паролів і політика блокування користувачів, яке протистоїть підбору паролів;
- у конфігурації "Стандартна безпека" для входу досить ввести пароль; політика паролів менш жорстка, ніж у конфігурації "Підвищена безпека".

Реєстрація подій виконується таким чином:

- система ЛОЗА-1 має захищений журнал, в якому реєструються всі події, пов'язані із захистом інформації;
- аналіз журналу і протоколів роботи не вимагає спеціальної кваліфікації;
- журнал подій ніколи не перезаписується, – після досягнення граничного розміру журналу всі події зберігаються у файлі на жорсткому диску;
- система ЛОЗА-1 забезпечує детальну реєстрацію подій друку й експорту; разом із стандартною інформацією в журналі фіксуються гриф і обліковий номер документа, а також серійний номер носія, на якому зберігається документ, і носія, на який виконується експорт; адміністратор має можливість формування протоколу друку документів.

Після проведення експертизи був сформований профіль захищеності системи ЛОЗА-1: КД-2, КА-2, До-0, ЦД-1, ЦА-1, ДВ-1, ДЗ-1, НР-2, НІ-3, ПК-1, АЛЕ-2, НЦ-2, НТ-2. Профіль захищеності системи ЛОЗА-1 відповідає рівню гарантії: Г-3 [2,3].

Система захисту інформації «Страж NT», (версія 3.0)

Система захисту інформації від несанкціонованого доступу "Страж NT" (версія 3.0) є комплексом засобів захисту інформації в автоматизованих системах на базі персональних комп'ютерів. СЗІ "Страж NT" призначена для комплексного захисту інформаційних ресурсів від несанкціонованого доступу під час роботи в розрахованих на велику кількість користувачів автоматизованих системах на базі персональних ЕОМ [4].

СЗІ "Страж NT" може встановлюватися на автономних робочих станціях, робочих станціях у складі робочої групи або домена, серверах, у тому числі у складі кластера. СЗІ "Страж NT" може функціонувати на одно- і багатопроцесорних комп'ютерних системах на базі архітектури x86 під управлінням 32-х розрядних операційних систем Microsoft Windows 2000, Windows XP, Windows Server 2003, Windows Vista, Windows Server 2008 і Windows 7. Комп'ютер, на якому встановлюється СЗІ "Страж NT", повинен відповідати вимогам, необхідним для завантаження операційної системи.

У силу особливостей реалізації захисних механізмів СЗІ "Страж NT" існують додаткові вимоги до апаратного забезпечення комп'ютера :

- завантажувальний жорсткий диск повинен мати 63 сектори на доріжку і не менше 63 секторів перед початком першого розділу;
- під час використання USB-клавіатури та USB-ідентифікаторів користувачам у деяких випадках потрібна наявність не менше 2 контролерів USB;
- у разі застосування як ідентифікаторів користувачів USB флеш-накопичувачів у BIOS комп'ютера має бути включена підтримка таких пристроїв.

У СЗІ “Страж NT” реалізована змішана дозвільно-заборонна модель захисту інформації із жорстким адмініструванням. Система захисту є сукупністю таких основних підсистем:

- ідентифікації та аутентифікації;
- розмежування доступу;
- контролю потоків інформації;
- управління запуском програм;
- управління захистом;
- реєстрації подій;
- маркування документів;
- контролю цілісності;
- стирання пам’яті;
- обліку носіїв інформації;
- перетворення інформації на відчужуваних носіях;
- контролю пристроїв;
- тестування системи захисту.

Підсистема ідентифікації та аутентифікації забезпечує впізнавання користувачів при вході на комп’ютер за персональним ідентифікатором і підтвердження достовірності шляхом запиту з клавіатури особистого пароля. Ця підсистема також забезпечує блокування екрана комп’ютера та ідентифікацію користувача після такого блокування.

Підсистема розмежування доступу реалізує дискретний і мандатний принципи контролю доступу користувачів до ресурсів, що захищаються. Функціонування цієї підсистеми засноване на присвоєнні об’єктам атрибутів захисту, що захищаються. До атрибутів захисту ресурсу, що мають відношення до розмежування доступу, належать:

- ідентифікатор безпеки власника ресурсу;
- список контролю доступу;
- режим запуску (для виконуваних файлів);
- мітка конфіденційності (гриф для невиконуваного файлу або допуск для виконуваного файлу).

Дискретний принцип заснований на зіставленні повноважень користувачів і списків контролю доступу ресурсів (логічних дисків, тек, файлів, принтерів). Мандатний принцип контролю доступу реалізований шляхом зіставлення під час запита на доступ до ресурсу міток конфіденційності користувача, програми і ресурсу, що захищається. Підсистема контролю потоків інформації призначена для управління операціями над ресурсами, що мають різні мітки конфіденційності.

Підсистема запуску програм призначена для забезпечення цілісності і замкнутості програмного середовища й реалізована шляхом дозволу для виконуваних файлів режиму запуску. Якщо режим запуску програми не дозволений, то файл не є виконуваним і не може бути запущений користувачем ні за яких умов.

Підсистема реєстрації забезпечує реєстрацію запитів на доступ до ресурсів комп’ютера і можливість вибіркового ознайомлення з реєстраційною інформацією та її роздрукування.

Підсистема маркування документів забезпечує автоматичне проставляння облікових ознак у документах, що видаються на друк, а також реєстрації фактів друку документів. Підсистема контролю цілісності призначена для налаштування і періодичної перевірки параметрів цілісності системи захисту, програмного забезпечення та постійних інформаційних масивів.

Підсистема стирання пам’яті реалізує механізм заповнення нулями, що виділяються програмам областей оперативної пам’яті і стирання файлів на диску по команді вида-

лення. У рамках цієї підсистеми також реалізовано стирання файлу підкочування сторінок після закінчення сеансу роботи.

Підсистема обліку носіїв інформації дозволяє управляти доступом до носіїв інформації відповідно до дозволів і параметрів, прописаних у журналі обліку носіїв.

Підсистема перетворення інформації на зовнішніх носіях дозволяє включити додатковий захист для зовнішніх носіїв за допомогою режиму прозорого перетворення всієї інформації на носії.

Підсистема контролю пристроїв дозволяє формувати необхідну конфігурацію пристроїв для користувачів відповідно до встановлених дозволів.

Підсистема тестування системи захисту призначена для комплексного тестування основних механізмів системи захисту як на локальному комп'ютері, так і на віддаленому з використанням локальної обчислювальної мережі.

Висновки. Система захисту інформації ЛОЗА-1 має ряд переваг, які визначаються унікальністю її роботи з документами Microsoft Office: з'явилась можливість підвищити захист окремих документів, а не системи в цілому, та покращився контроль за експортом та друком важливих документів. Система ЛОЗА-1 проста у використанні і не потребує кваліфікованого персоналу, в той час як «Страж NT» має адміністратора системи безпеки, який повинен навчати персонал, а це призводить до додаткових витрат.

Система «Страж NT» має чіткі вимоги до апаратної і програмної частини, що призводить до незручностей у використанні. До того ж після запуску системи небажано встановлювати інше програмне забезпечення.

Таким чином, проведено дослідження комплексних систем захисту інформації автоматизованих систем класу «1», розглянуто їх функціональні можливості та особливості використання.

Список використаних джерел

1. Режим доступу: http://kiev.prom.ua/p314203-sistema-zaschity-informatsii.html.
2. НД ТЗІ 2.5-005-99. Класифікація автоматизованих систем і стандартні функціональні профілі захищеності оброблюваної інформації від несанкціонованого доступу.
3. НД ТЗІ 3.7-001-99. Методичні вказівки щодо розробки технічного завдання на створення комплексної системи захисту інформації в автоматизованій системі.
4. «СЗИ «Страж NT» руководство администратора», ЗАО НПЦ «Модуль», 2009.

УДК 004.02

Є.В. Нікітенко, канд. фіз.-мат. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

АЛГОРИТМ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПЛАНУВАННЯ БЕЗДРОТОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ З ВРАХУВАННЯМ ЗАЙНЯТИХ ДІЛЯНОК ПРОСТОРУ

Досліджено методи позиціонування вузлів бездротової сенсорної мережі (БСМ). Розглянуто існуючі алгоритми планування БСМ. Запропоновано алгоритм автоматизованого планування БСМ із врахуванням ділянок, де неможливо або дуже складно розмістити вузли мережі.

Постановка проблеми. Стан електроніки та комп'ютерних технологій на сьогодні привів до широкого розповсюдження бездротових автономних пристроїв. Бездротові мережі складаються із множини вузлів, які здатні збирати дані про навколишній світ, обробляти і передавати інформацію через радіозв'язок.

Конфігурування великих мереж мініатюрних пристроїв вручну не є практичним підходом. Для цього інженерам має надаватися можливість адміністрування і програмування мережі, як єдиного цілого, за допомогою системи автоматизованого проектування.

Часто перед системами автоматизованого проектування БСМ постає завдання визначення фізичних координат розміщення пристроїв мережі. Для його вирішення сьогодні існує декілька підходів, проте чітко сформульованих алгоритмів небагато, до того ж вони не вирішують проблеми неможливості розташування вузлів мережі у певних місцях (наприклад, інженерні споруди).

Аналіз досліджень і публікацій. Як відомо, вузол у мережі ZigBee може виконувати одну із трьох ролей: кінцевого пристрою, ретранслятора або координатора [1].

Кінцеві пристрої (КП) – це пристрої з обмеженою функціональністю, які забезпечують мінімальний набір функцій і здатні до обміну інформацією з ретранслятором чи координатором мережі.

Ретранслятор мережі – це пристрій з повною функціональністю, що визначена в документі IEEE 802.15.4. Він може виконувати функції мосту, маршрути затору або шлюзу для взаємодії з іншими мережами.

Координатор мережі повинен містити всю інформацію стосовно мережних з'єднань, мати великий об'єм пам'яті та високу продуктивність. Зазвичай такий пристрій у складі сенсорної мережі лише один (хоча може бути і більше). Саме з координатора дані про стан мережі потрапляють через відповідні шлюзи до робочих станцій пунктів нагляду системи моніторингу.

Проектування системи моніторингу вимагає автоматизованого планування топологічної структури БСМ. Відомі сьогодні підходи до проектування топологічної структури бездротових сенсорних мереж із використанням математичного моделювання базуються на використанні апарату комбінаторного аналізу та обтяжені значними затратами ресурсів, які збільшуються за експонентою під час зростання числа вузлів БСМ [2; 3]. Це обтяжує використання таких методів для проектування мереж великої розмірності. Разом з тим, простий розрахунок позицій ретрансляторів на базі тривимірної геометрії і динамічного програмування [4] виявляється малоефективним у тих випадках, де треба враховувати зайняті ділянки простору.

Мета статті. Метою роботи є розробка алгоритму для автоматизованого планування бездротової сенсорної мережі. Розроблений алгоритм має оптимально розміщувати ретранслятори БСМ таким чином, щоб використати якнайменше ретрансляторів, а також враховувати неможливість розташування ретрансляторів у певних місцях.

Основні аналітичні залежності. Умови задачі оптимального розміщення ретрансляторів мережі подібні до умов транспортної задачі. За критерій оптимальності взято мінімальну кількість ретрансляторів, що здатні забезпечити передачу даних від кінцевих пристроїв до координатора БСМ. Для вирішення подібних задач зазвичай використовується підхід динамічного програмування [5; 6], оскільки він має ітеративний характер та дозволяє розбивати задачу на підзадачі меншого розміру, рішення яких можна використати для рішення основної задачі.

Основна ідея розробленого алгоритму полягає в тому, щоб виділити сукупності кінцевих пристроїв, розташованих достатньо близько один від одного, щоб вони могли використовувати для передачі даних один ретранслятор. Потім треба визначити оптимальне положення ретранслятора відносно сукупності кінцевих пристроїв і координатора мережі, враховуючи при цьому проблемні ділянки простору, де неможливо встановити ретранслятор.

Для цього в тривимірній системі координат поряд з множинами КП $A=\{a_1,...,a_m\}$ і кінцевих точок системи $B=\{b_1,...,b_n\}$, що на початку вирішення задачі дорівнює множині координаторів мережі $K=\{k_1\}$ (для початку $n=1$), треба ввести множину точок

перешкод P [4]. Для зручності розрахунків вводиться координатна сітка із кроком t_{step}. Координатну сітку зручно поставити так, щоб одна з її точок співпадала з положенням координатора БСМ.

Відстань між вузлами не повинна перевищувати максимальну дальність передачі даних. Для простоти будемо вважати, що максимальна дальність передачі між будь-якими вузлами мережі однакова і дорівнює $c_{\max}$.

Для того, щоб оптимально розмістити ретранслятори, треба визначити сукупності кінцевих пристроїв L із множини A ($L \subset A$), які розташовані досить близько один до одного так, що для передачі інформації до координатора мережі достатньо одного ретранслятора, який буде приймати сигнали від цих точок.

Визначити сукупності L можна різними методами. У множині A треба виділити підмножини L і для кожної з них знайти оптимальну позицію для ретранслятора $r \in N \subset R$, де N – множина ретрансляторів, що з'явилися на певній ітерації.

Далі треба знайти для кожної із сукупностей точок L стартову точку $r_{start}(x_{start}, y_{start}, z_{start})$. Стартова точка – це точка координатної сітки, де можна встановити ретранслятор, який буде знаходитися близько від сукупності кінцевих точок у напрямку координатора мережі (рис. 1).

Координата x_{start} стартової точки в цьому випадку обчислюється за наступною формулою

$$x_{start} = \begin{cases} x_{step}(x_{L\min}), \forall x_L > x_K, \\ x_{step}(x_{L\max}), \forall x_L < x_K, \\ x_k, \exists x_L < x_k < \exists x_L \end{cases}, \quad (1)$$

де x_{start} – координата стартової точки для пошуку позиції ретранслятора;

$x_{L\min}$ – мінімальна координата серед усіх елементів множини L;

$x_{L\max}$ – максимальна координата серед усіх елементів множини L;

$x_{step}(x_{L\min})$ та $x_{step}(x_{L\max})$ – квантовані мінімальні і максимальні значення координат точок множини L відповідно;

x_k – координата x координатора мережі.

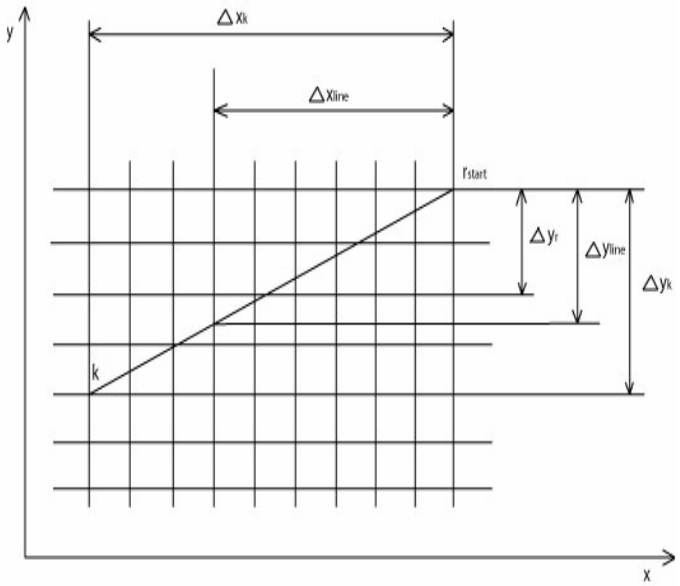


Рис. 1. Визначення координат ретранслятора

Аналогічні формули можна записати для координат y_{start} та z_{start}.

Відрізок, який з'єднує точки $k(x_k, y_k, z_k)$ і $r_{start}(x_{start}, y_{start}, z_{start})$ можна розкласти на проекції $\Delta x_k, \Delta y_k, \Delta z_k$, кожна з яких дорівнює

$$\begin{cases} \Delta x_k = |x_{start} - x_k|, \\ \Delta y_k = |y_{start} - y_k|, \\ \Delta z_k = |z_{start} - z_k| \end{cases} \quad (2)$$

Для завдання напрямку руху під час визначення оптимальної позиції ретранслятора необхідно вибрати координатну вісь, вздовж якої відбувається приріст координати ретранслятора. Вибір направляючої осі залежить від того, яке зі значень $\Delta x_k, \Delta y_k, \Delta z_k$ максимальне. Для прикладу будемо вважати, що $\Delta x_k = \max(\Delta x_k, \Delta y_k, \Delta z_k)$. У такому випадку направляючою буде вісь x.

Наближення координати направляючої осі ретранслятора до координати координатора БСМ на величину t_{step} відбувається постійно до того часу, доки:

1) відстань між будь-якою точкою із множини і ретранслятором не більша за $c_{\max}$;

2) відстань між $k(x_k, y_k, z_k)$ і $r(x_r, y_r, z_r)$ стане меншою, ніж $c_{\max}$;

3) на шляху руху точки $r(x_r, y_r, z_r)$ трапиться зайнята ділянка.

При цьому x_r, y_r, z_r – поточні координати ретранслятора. Наближення решти координат ретранслятора до точки залежить від значень приростів цих координат $(\Delta y_{line}, \Delta z_{line})$ у точках відрізка, що з'єднує $k(x_k, y_k, z_k)$ і $r_{start}(x_{start}, y_{start}, z_{start})$ при квантованих значеннях координати направляючої осі – у цьому випадку x (рис. 1).

З рисунка 1 видно, що

$$\begin{cases} \Delta x_{line} = |x_{start} - x_r|, \\ \Delta y_{line} = \dfrac{\Delta x_{line}}{\Delta x_k} \Delta y_k, \\ \Delta z_{line} = \dfrac{\Delta x_{line}}{\Delta x_k} \Delta z_k \end{cases} \quad (3)$$

Знаючи значення $\Delta y_{line}, \Delta z_{line}$, можна розрахувати координати положення ретранслятора на наступному кроці алгоритму

$$\begin{cases} x_r' = \begin{cases} x_r + t_{step}, x_r < x_k \\ x_r - t_{step}, x_r > x_k \end{cases} \\ y_r' = \begin{cases} y_r + t_{step}, y_r < y_k, y_r < y_{start} + \Delta y_{line} \\ y_r - t_{step}, y_r > y_k, y_r > y_{start} - \Delta y_{line} \\ \text{інакше } y_r \end{cases} \\ z_r' = \begin{cases} z_r + t_{step}, z_r < z_k, z_r < z_{start} + \Delta z_{line} \\ z_r - t_{step}, z_r > z_k, z_r > z_{start} - \Delta z_{line} \\ \text{інакше } z_r \end{cases} \end{cases} \quad (4)$$

Якщо точка з координатами x_r', y_r', z_r' належить зайнятій ділянці простору, то необхідно її обійти. На рисунку 2 зображена блок-схема алгоритму обходу зайнятої ділянки простору.

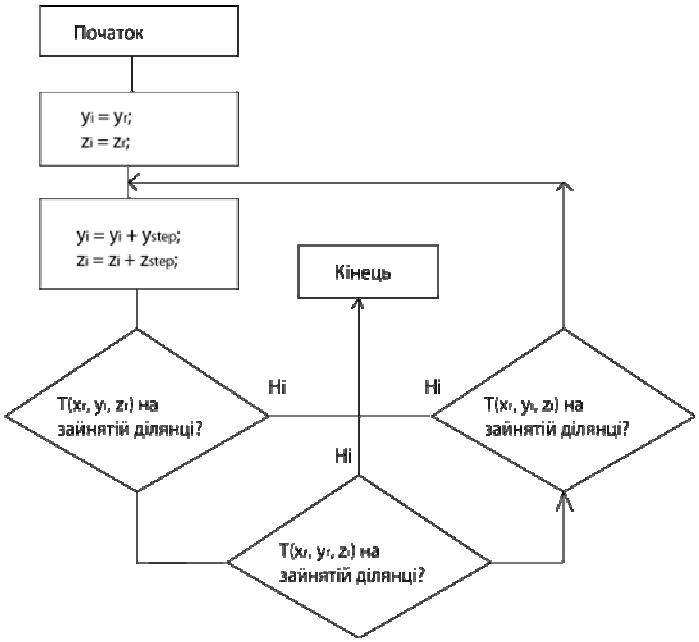


Рис. 2. Алгоритм обходу зайнятих ділянок простору

Звісно, y_{step}, z_{step} можуть бути як додатними, так і від'ємними, залежно від того, в якому напрямі відповідних осей має знаходитись ретранслятор, відносно сукупності кінцевих пристроїв. Також треба пам'ятати, що відстань між ретранслятором і будь-якою точкою з множини L не повинна перевищувати $c_{\max}$.

Висновки. На основі аналізу існуючих методів позиціонування вузлів бездротових сенсорних мереж та підходу динамічного програмування розроблено алгоритм планування позицій ретрансляторів БСМ із врахуванням зайнятих ділянок простору. Цей алгоритм полягає в поступовому наближенні ретранслятора до своєї ідеальної позиції і не використовує прямих формул тривимірної геометрії для обчислення позиції вузла мережі [4].

Звісно, робота такого алгоритму буде значно повільнішою, ніж під час використання прямих формул, особливо при великій кількості вузлів у мережі, але при великій кількості зайнятих ділянок простору він дає більш точну оцінку позиції ретрансляторів.

Список використаних джерел

1. Интеллектуальные системы на базе сенсорных сетей // Институт точной механики и вычислительной техники им. С. А. Лебедева РАН, 2009. – 10 с.

2. Акимов Е. В. Сравнение топологий беспроводных сенсорных сетей (БСС) / Е. В. Акимов // Вестник компьютерных и информационных технологий. – М.: Машиностроение, 2008. – № 8, С. 43-49.

3. Акимов Е. В. Проектирование рациональной топологии беспроводных сенсорных сетей: автореф. дис. канд. техн. наук Е. В. Акимов. – М., 2010. – 22 с.

4. Нікітенко Є. В. Система автоматизованого проектування бездротових систем моніторингу / Є. В. Нікітенко, Д. В. Стрелок // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 2010. – № 45. – С. 152-158.

5. Беллман Р. Динамическое программирование / Р. Беллманн. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1960. – 401 с.

6. Щербина О. А. Методологические аспекты динамического программирования / О. А. Щербина // Динамические системы. – 2007. – Вып. 22. – С. 21-36.

УДК 371.315.7
Г.В. Пасов, канд. техн. наук
Є.В. Загуменник, студент
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

АНІМАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЛАБОРАТОРІЇ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ

Розглянуто анімаційне моделювання лабораторії промислових роботів. Описано основні роботи, які знаходяться в лабораторії та перспективи інтерактивного керування ними в подальшому.

Вступ. Освіта є основою будь-якого суспільства. В наш час під час вивчення різноманітних дисциплін використовується багато джерел різноманітної інформації: підручники, посібники, журнали, збірники, Інтернет. У сучасних умовах широкі можливості відкриває використання електронно-обчислювальних машин (ЕОМ) у навчальному процесі [5; 2; 6; 7; 1; 9], особливо персональних комп'ютерів (ПК) і високоінтелектуальних програмних продуктів. Проаналізуємо цю проблему, спираючись на останні досягнення в технологіях навчання [5].

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

Традиційно під час засвоєння будь-якої навчальної дисципліни студент повинен вивчати її на лекціях, лабораторних та практичних заняттях. Але при цьому, як методичний наочний матеріал, використовуються, як правило, ілюстрації зовнішнього вигляду, будови та конструкції різноманітних механізмів у вигляді двовимірних статичних схем елементів. Наприклад, використовуючи матеріали, описані в роботах [1; 9; 10; 8], студенти вивчають призначення, будову, кінематику промислових роботів та робототехнічних комплексів (РТК), а також різноманітні їх вузли та принцип роботи. Але представлені ілюстрації механізмів та комплексів не передають повною мірою можливості їх роботи. Саме використання ЕОМ та відповідних програмних продуктів і дозволяє вдосконалити навчальний процес (та освіту загалом), надаючи йому інтенсивності та інтерактивного змісту.

У роботі [1] наведено можливість використання розроблених програмних продуктів VERSTAT та START під час вивчення фрезерних та свердлильних верстатів. Але тут знову ж таки матеріали представлені тільки в двовимірному (2D) просторі.

Уже в роботі [6] наведена 3D-модель промислового робота М20П, але вона жорстка, тобто цією моделлю неможливо інтерактивно керувати, задавати параметри і відслідковувати їх виконання. Цю проблему було вирішено в роботі [7] на прикладі промислового робота М10П.

У роботі [2] наведена 3D-модель гнучкої виробничої системи механічного цеху. Запропонована анімаційна модель дозволяє вивчати складові механічного цеху та імітувати його роботу.

У цій статті приділяється увага використанню об'ємних 3D-моделей з елементами анімації.

Мета статті. Основною метою статті є опис програмного навчального продукту "Анімація лабораторії промислових роботів". Продукт виконано засобами анімаційного моделювання лабораторії промислових роботів і демонструє певною мірою його роботу, що дозволяє самостійно з ним працювати в інтерактивному режимі на ПК.

Виклад основного матеріалу. У Чернігівському державному технологічному університеті (ЧДТУ) на кафедрі "Інтегрованих технологій машинобудування і автомобілів" для вивчення навчальних дисциплін "Промислові роботи", "Металообробне обладнання", "Автоматичні оброблюючі системи", "Обладнання та транспорт механоскладальних цехів", "Підйомно-транспортне обладнання і роботи" розроблено навчальний продукт: "Анімація лабораторії промислових роботів". Анімація розроблена для лабораторії "Промислові роботи" з реальними роботами: МП-11, М10П, М20П, РМ-01.

Під час розробки анімації гнучкої виробничої системи механічного цеху були використані сучасні програмні продукти: "3Ds Max" та "КОМПАС-3D" [4; 3].

Загальна панорама лабораторії (аудиторія № 205) – "Промислові роботи" представлена на рис. 1.

Рис. 1. Панорама лабораторії – "Промислові роботи"

У лабораторії встановлені такі промислові роботи та робото-технологічні комплекси: МП-11, "Ритм-01", М10П (рис. 2-4), М20П (рис. 5, 6), РМ-01 (рис. 7-9). Всі вони представлені в цій науковій публікації. Загальний вид 3D-моделі лабораторії промислових роботів показаний на рис. 10.

Рис. 2. Промисловий робот М10П та тактовий стіл

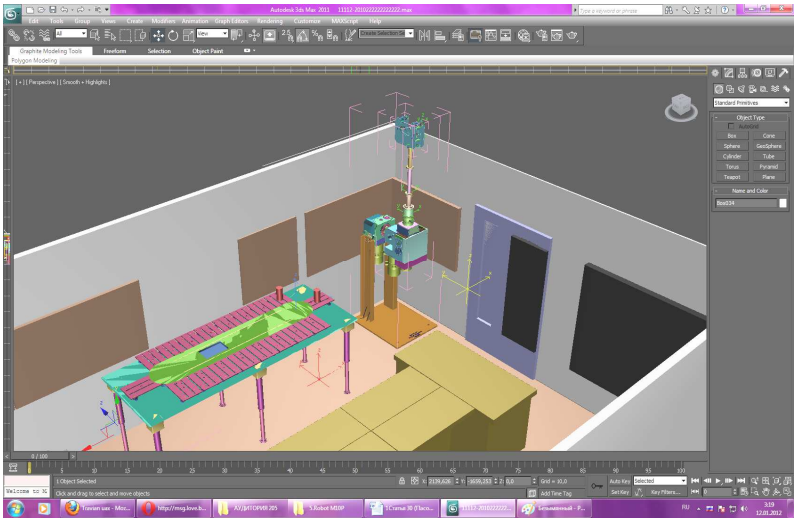


Рис. 3. Промисловий робот М10П та тактовий стіл(в 3Dmax)

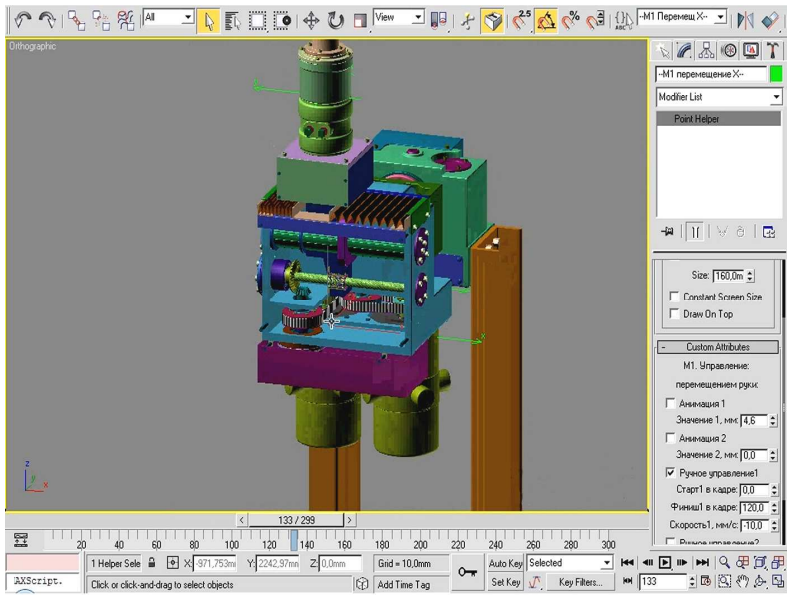


Рис. 4. Промисловий робот М10П(в 3Dmax)

Рис. 5. Промисловий робот М20П

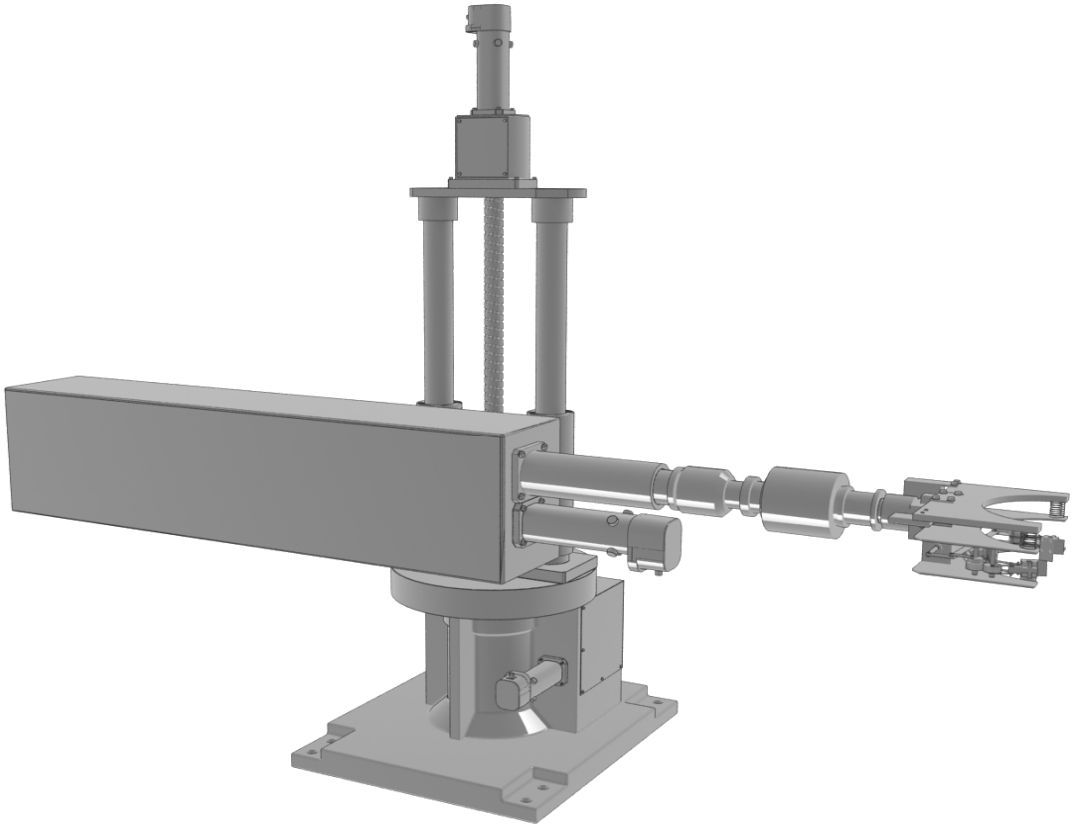


Рис. 6. Промисловий робот М20П (в 3Dmax)

Рис. 7. Промисловий робот РМ-01

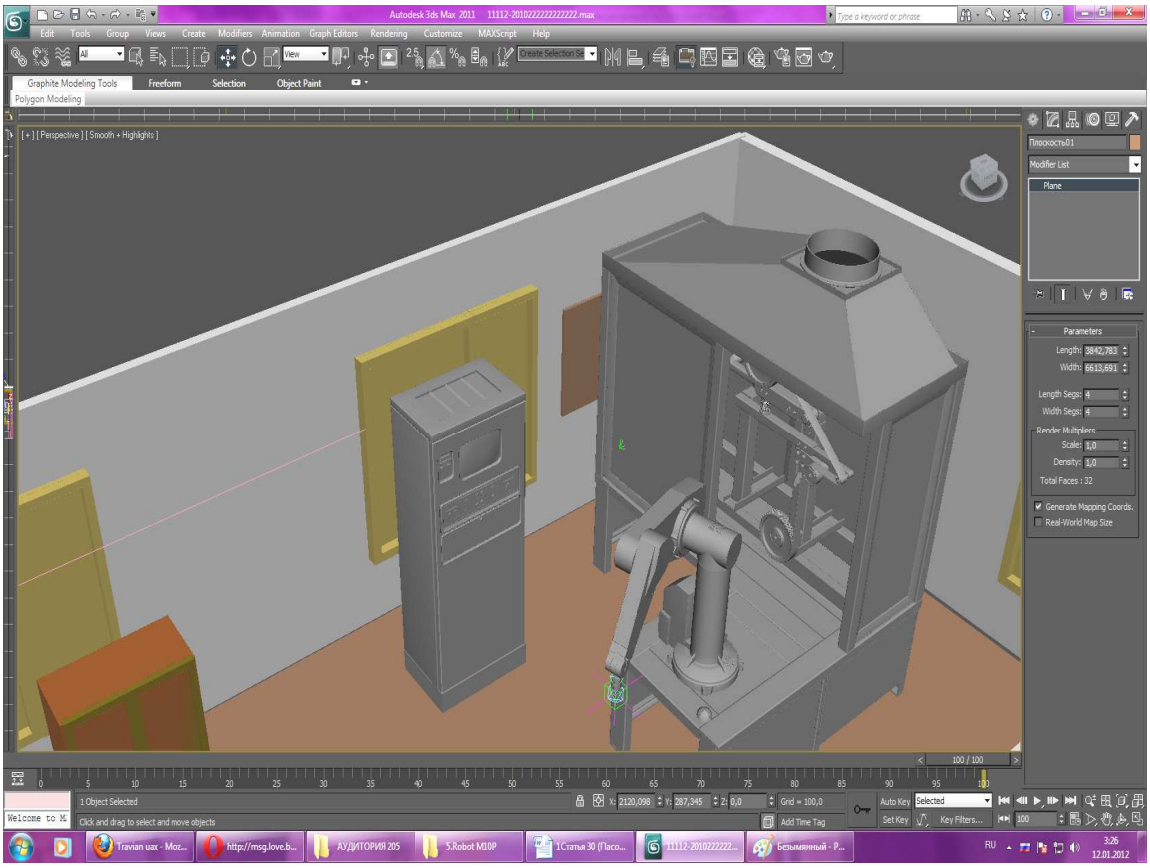


Рис. 8. Промисловий робот РМ-01 (в 3Dmax)

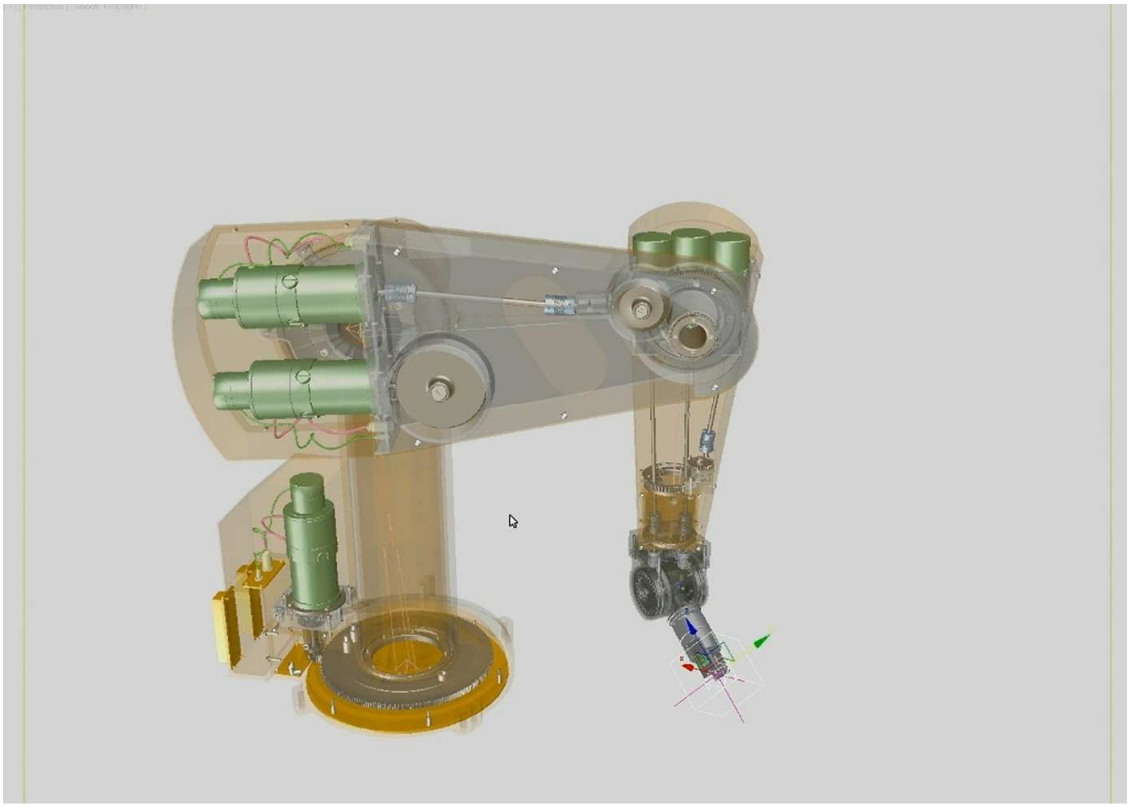


Рис. 9. Промисловий робот РМ-01 (в 3Dmax)

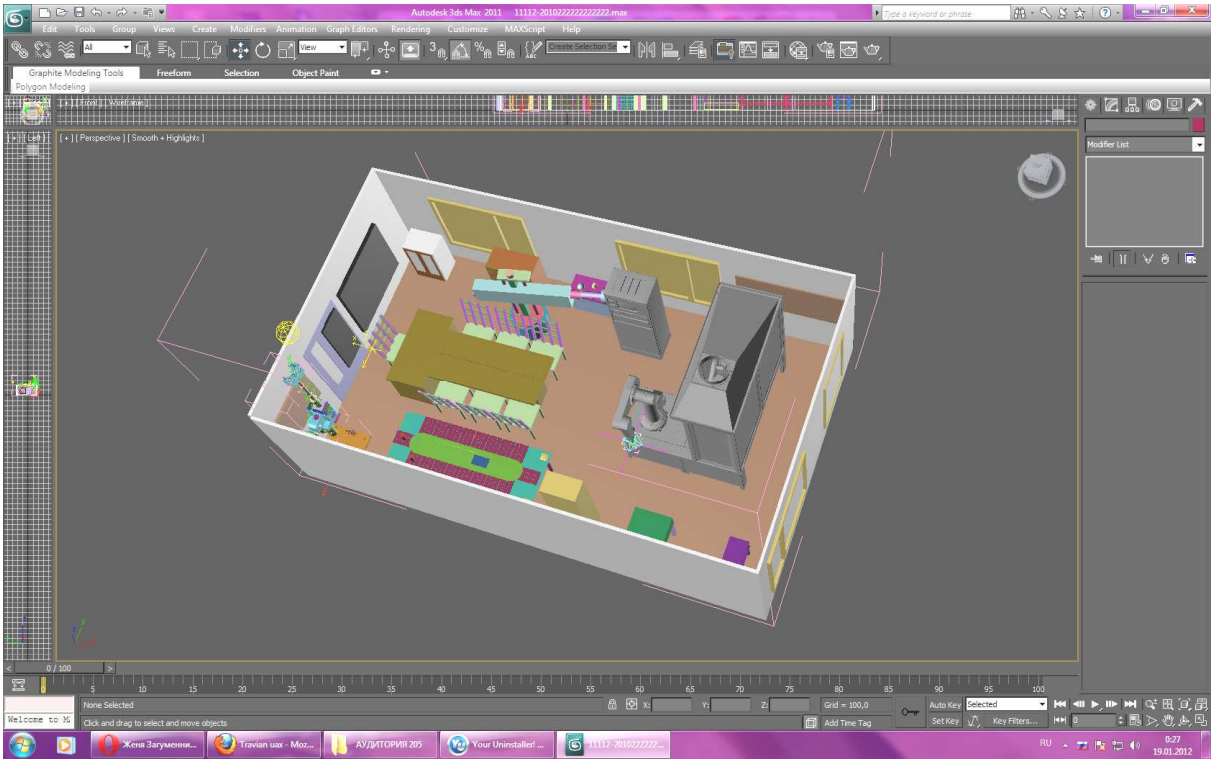


Рис. 10. 3D модель лабораторії промислових роботів

Розроблена анімаційна модель дозволяє наочно продемонструвати роботу всіх наведених роботів. При необхідності можливе вивчення, як будови окремих промислових роботів (складові частини, вузли), так і роботи їх в цілому та як складові робототехнологічних комплексів. Продукт “Анімація лабораторія промислових роботів” роз-

роблений для чергового кроку в забезпеченні навчання за допомогою сучасних програмних продуктів. У подальшому його можна розширювати, корегувати та вдосконалювати (наприклад, інтерактивне керування процесами анімації того чи іншого вузла, процесу обробки або під час віртуального налагоджування промислових роботів, відпрацьовувати програми керування і тим самим вказувати оператору на можливі недоліки в керуючій програмі). Також продукт дозволяє змінювати розташування роботів в лабораторії, доповнювати її новими роботами та елементами (тактові столи, накопичувачі та інше).

Висновки. Розроблений програмний проект може ефективно використовуватись під час вивчення таких дисциплін, як: “Промислові роботи”, “Металообробне обладнання”, “Автоматичні оброблюючі системи”, “Проектування механічних цехів”, “Обладнання та транспорт механоскладальних цехів”, “Підйомно-транспортне обладнання і роботи”, “Проектування та оснащення гаражного господарства”. На основі цих розробок можливо створювати аналогічні програмні анімаційні продукти й для інших дисциплін: “Теорія різання” – рух інструменту й утворювання стружки, “Гідравліка” – робота гідравлічних систем верстатів та ряд інших дисциплін.

Список використаних джерел

1. Використання ЄОМ в навчальному процесі / Г. В. Пасов, К. В. Дьяконов, Р. С. Кит [та ін.] // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту. – 2007. – № 30. – С. 45-54.
2. Кирієнко С. Ю. Анімаційне моделювання гнучкої виробничої системи / С. Ю. Кирієнко, А. В. Полуян, Г. В. Пасов, В. М. Чуприна // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту. – 2010. – № 45. – С. 78-86.
3. Кудрявцев Е. М. КОМПАС-3D V10. Максимально полное руководство: в 3-х томах / Е. М. Кудрявцев. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 1184 с.
4. Маров М. Н. Энциклопедия 3ds max 8 (+CD) / М. Н. Маров. – СПб.: Питер, 2006. – 1392 с.
5. Нові технології навчання: наук.-метод. зб. / кол. авт. – К.: Наук.-метод. центр вищої освіти, 2010. – Вип. 48. – 203 с.
6. Пасов Г. В. Анімаційне моделювання роботи окремих вузлів промислового робота / Г. В. Пасов, О. В. Ратозей, С. В. Лоскутов // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту. – 2008. – № 36. – С. 82-87.
7. Пасов Г. В. Керування анімаційною 3D-моделлю промислового робота М10П / Г. В. Пасов, В. М. Чуприна, С. Ю. Кирієнко // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту. – 2009. – № 40. – С. 156-164.
8. Промислові роботи. Альбом до методичних вказівок з виконання лабораторних робіт з дисциплін: “Підйомно-транспортне обладнання та роботи”, “Промислові роботи”, “Обладнання та транспорт механоскладальних цехів” для студентів напрямів підготовки: 6.070106 “Автомобільний транспорт” та 6.050502 “Інженерна механіка” / укл.: Г. В. Пасов. – Чернігів: ЧДТУ, 2011. – 54 с.
9. Промислові роботи. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисциплін: “Підйомно-транспортне обладнання та роботи”, “Промислові роботи”, “Обладнання та транспорт механоскладальних цехів” для студентів напрямів підготовки: 6.070106 “Автомобільний транспорт” та 6.050502 “Інженерна механіка”. Частина 1 / укл.: Г. В. Пасов. – Чернігів: ЧДТУ, 2011. – 58 с.
10. Промислові роботи. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисциплін: “Підйомно-транспортне обладнання та роботи”, “Промислові роботи”, “Обладнання та транспорт механоскладальних цехів” для студентів напрямів підготовки: 6.070106 “Автомобільний транспорт” та 6.050502 “Інженерна механіка”. Частина 2 / укл.: Г. В. Пасов. – Чернігів: ЧДТУ, 2011. – 100 с.

УДК 621.391

А.В. Яриловець, канд. техн. наук
С.В. Зайцев, канд. техн. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

В.Д. Назарук, начальник управління
Управління Державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації, м. Чернігів, Україна

АНАЛІЗ СТАНУ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

Проаналізовано стан та перспективи розвитку телекомунікаційних мереж нового покоління Next Generation Network. Зроблено порівняльний аналіз розвитку систем мобільного зв'язку.

Вступ. Розвиток інформаційних засобів і систем є в наш час одним із найважливіших факторів, що визначають темпи й досягнення науково-технічного прогресу. Жодна сфера людської діяльності вже не може розглядатися поза залежністю від засобів інформаційного обміну, значення яких неухильно зростає.

Розбудова сучасної інфраструктури держави неможлива без розвитку інформаційних технологій, які повинні задовольнити ріст суспільних потреб в інформаційних послугах. Цьому сприяє перехід до цифрових методів передачі повідомлень і цифрової обробки сигналів, застосування сигналів складної структури, а також різноманітних способів адаптації під час широкого використання мікропроцесорної техніки, що забезпечує інтеграцію засобів зв'язку і засобів обчислювальної техніки. На цій основі створюються інтегральні цифрові мережі, в яких досягається не тільки повна інтеграція за видами зв'язку, але й інтеграція засобів передачі, обробки, комутації, керування і контролю.

Кінцевою метою цього грандіозного процесу є створення єдиного інформаційного середовища, в основі якого лежить принцип мобільного доступу до всіх інформаційних ресурсів. Кожному жителю Землі повинен бути виділений персональний номер (IP адрес), по якому він міг би вийти в будь-яку інформаційну мережу, в будь-який час доби й в будь-якому місці, де б не знаходився. При цьому швидкість обміну даними повинна повністю задовольнити всі його інформаційні потреби.

Відбувається корінна перебудова сучасних інформаційних технологій, що пов'язана з їх переходом на IP-основу. І вже не викликає сумніву, що ми знаходимось на порозі нової науково-технічної революції, пов'язаної зі зміною концепції побудови систем зв'язку. Процес інформатизації набирає все більших обертів. Інформаційні ресурси стають стратегічними поряд з запасами руди, нафти, газу тощо.

До цього часу світові інформаційно-телекомунікаційні системи вже пережили дві революції.

Перша революція мала виключно технологічне значення та була пов'язана з переходом від аналогових принципів передачі й комутації до цифрових. Вона розпочалась у 60-х роках минулого століття й закінчилась у 80-х (в Україні, щоправда, цей процес завершився лише в 2006 році). Особливістю цієї революції стало те, що нові технології ніяк не стосувались сфери послуг, тобто для суспільства вона залишилась практично непоміченою.

Друга революція була пов'язана з появою стільникових мереж зв'язку. Від першої її відрізняє те, що вона змінила точку зору суспільства на світ телекомунікацій. Ідея, що в будь-який час і в будь-якому місці двоє людей можуть зв'язатись по телефону один з одним, виявилась настільки привабливою для всіх, що мобільний зв'язок став однією з нематеріальних цінностей суспільства.

Поступовий ріст інформатизації суспільства призвів до потреби використання комп'ютера майже в усіх сферах діяльності людини. Дані виявляються важливішими мо-

ви, комутація пакетів і пакетний трафік стають важливішими комутації каналів і мовного трафіку. Комп'ютер стає важливішим за телефон. У таких умовах розгорнуті телефонні мережі вже не здатні забезпечити необхідну пропускну здатність абонентського трафіку.

Виклад основного матеріалу. Сучасна технологічна революції в інформаційно-телекомунікаційних системах асоціюється з концепцією мереж нового покоління (Next Generation Network – NGN), яка спрямована забезпечити потреби суспільства в інформаційному обміні за допомогою переходу від мовного трафіку до трафіку даних. NGN – це мережа на базі пакетів, що здатна надавати служби/послуги телекомунікацій та можливість використання декількох широкосмугових транспортних технологій, які забезпечують якість обслуговування і в яких функції, що належать до служб, не залежать від технологій, які стосуються транспортування [1]. Вона забезпечує вільний доступ для користувачів, за їхнім вибором і підтримує рухомість, що дає можливість постійного і повсюдного забезпечення служб для користувачів. Концепція NGN поєднує в собі технічні рішення розвитку обчислювальної техніки та цифрових засобів телекомунікацій і покликана забезпечувати максимально широкий доступ до інформаційних ресурсів світової цивілізації.

Враховуючи те, що в концепції NGN поняття канала зв'язку стало другорядним, поділ інформаційно-телекомунікаційних мереж на первинні і вторинні виявляється неефективним. Більш ефективним стає поділ на транспортні мережі та мережі доступу, як це показано на рис.1. Під транспортною мережею розуміється сукупність мережевих елементів, що забезпечують передачу трафіку [2]. Під мережею доступу – сукупність мережевих елементів, що забезпечують доступ абонентів до ресурсів транспортної мережі з метою отримання послуг [2].

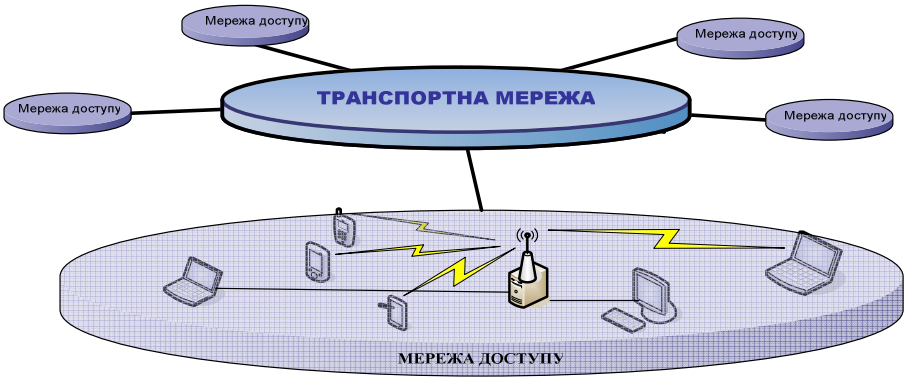


Рис. 1. Структура мережі NGN

Складність швидкого переходу до NGN пов'язана з тим, що різні мережі будуються з використанням різних інформаційних технологій і відповідно різного програмного забезпечення, яке взаємно не кореспондується. Прискорити процес переходу можливо шляхом відділення функцій надання послуг від транспортних функцій та впровадженням технологій, що забезпечать взаємодію різних мереж. Це дозволить створювати нові послуги та забезпечити високий рівень їх якості, а також дасть можливість вільного підключення нових служб.

Також зрозуміло, що для пришвидшення процесів переходу телекомунікаційних систем до ідеології NGN необхідно збільшувати пропускну здатність і гнучкість транспортних мереж і мереж доступу. При цьому головне значення тут відіграє середовище передачі та обрана технологія побудови фізичного рівня мережі.

Для передачі інформації на фізичному рівні використовуються проводові та безпроводові середовища.

Головною особливістю телекомунікаційних проводових систем є штучне проводове середовище, по якому поширюються електромагнітні хвилі. Як штучне проводове середовище найбільшого поширення знайшли мідні, каоксиальні та волоконно-оптичні кабелі. Перспективи та переваги використання зазначених середовищ передачі визначаються залежно від призначення мережі.

Так, побудована в Україні протягом столітнього часу телефонна мережа загального користування ще й досі основана переважно на мідному кабелі. У наш час, на етапі впровадження нової ідеології побудови мереж, вона отримала додаткове призначення – забезпечення доступу до Інтернет за технологією DSL (функції мережі доступу).

Ще не так давно здавалося, що технології DSL розкривають невичерпні інформаційні можливості. Швидкість передачі даних 8 Мбіт/с в інтересах одного користувача вважалась вершиною очікувань. Проте вже сьогодні навіть розвинута за допомогою модемів ADSL2+ швидкість 16 Мбіт/с не дозволяє якісно забезпечити всі потрібні послуги. Незважаючи на це, на сучасному етапі поступової перебудови телекомунікаційних мереж, ці технології ще залишаються ефективними й користуються попитом. Для прикладу, в країнах Європи рівень проникнення DSL в місцеву телефонну мережу становить 40 %.

Залежність затухання сигналу в мідному й каоксиальному кабелях від частоти та від діаметра жили, а також висока вартість зменшують перспективи їх використання для побудови транспортних мереж.

Безумовним лідером серед усіх проводових середовищ передачі є волоконно-оптичні кабелі. Розвиток технології оптичних кабельних систем і поступове витіснення традиційних мідних привело до інтенсивного впровадження оптичних широкосмугових мереж. Посприяло цьому ряд переваг волоконно-оптичних кабелів, у порівнянні з іншими, а саме:

- мале загасання сигналу під час розповсюдження;
- широка смуга пропускання;
- відсутність власних зовнішніх електромагнітних випромінювань;
- можливості повного діелектричного виконання;
- можливість забезпечення високого рівня захисту даних;
- порівняно низька вартість.

Так за теоретичними розрахунками пропускна спроможність одного одномодового волокна становить 75 Тбіт/с [1]. Все більше використовуються волоконно-оптичні кабелі і для побудови мереж доступу, отримавши при цьому назву FTT (Fiber Transport To…, тобто оптична транспортна мережа доступу).

Перераховані переваги волоконно-оптичних кабелів роблять оптичні технології найбільш привабливими для побудови фізичного рівня телекомунікаційних мереж. Зрозуміло, що як основне середовище передачі транспортних мереж NGN необхідно використовувати саме волоконно-оптичні лінії зв’язку.

На сьогодні найбільш популярними технологіями побудови фізичного рівня транспортних мереж є: SDH (NGSDH), ATM, MPLS/IP, Fram Relay, DWDM, магістральний Ethernet. Принципи побудови цих технологій повністю співпадають з ідеологією NGN і при незначному їх удосконаленні вони здатні швидко інтегруватися в єдину мережу.

Якщо принципи побудови транспортної мережі NGN більш-менш зрозумілі, то з мережами доступу значно складніше. Це обумовлено тим, що вони включають у себе не тільки технології безпосереднього абонентського доступу до мереж NGN, але й традиційні абонентські технології, такі як: PDH, ISDN, абонентський Ethernet, IP, DSL, VDSL, FTTx/pon, Wi-Fi, Wi-MAX, WLL, CATV, HDTV, Fibre Chanel та інші [2-5]. Ве-

лика кількість цих технологій спричинена різноманіттям умов функціонування мереж доступу і, відповідно, їх призначеннями.

На відміну від транспортної мережі використання волоконно-оптичного кабелю для побудови мережі доступу, здебільшого, є неефективним. Це пов'язано з тим, що проводові середовища передачі роблять кінцеві пристрої (комп'ютери) статичними. Якщо для транспортної мережі така статичність є абсолютно оправданою, то для користувача відсутність доступу до мережі в будь-який час і в будь-якому місці викликає певні незручності й втрати. Крім того, вартість прокладання абонентського кабелю на значні відстані поки що досить висока.

Сьогодні у світі спостерігається стрімка тенденція до поширення саме систем безпроводового доступу, що обумовлено, насамперед, невеликою вартістю такого обладнання, простотою його використання та забезпеченням високих швидкостей передачі інформації. Безпроводові технології дозволяють будувати мережі передачі даних з усуненням потреби у використанні великої кількості кабеля. Це дозволяє скоротити час на розгортання таких мереж та створює можливість швидкої зміни кількості користувачів. Безпроводові технології забезпечують мобільність розгортання мереж передачі даних та мереж абонентського доступу на незначних за розміром територіях (будинках, кораблях, літаках), а також значно підвищують оперативність доступу до інформації в довільному місці перебування користувачів. Не викликає сумніву, що безпроводові технології складають найбільшу перспективу в розвитку мереж доступу NGN.

Враховуючи зазначене, розглянемо більш детально стан та перспективи розвитку безпроводових технологій у світі.

Отже, останнім часом спостерігаються найбільші по темпам і масштабам зростання ролі мобільного зв'язку у всіх сферах діяльності людини. Нині мобільний зв'язок є передовою галуззю телекомунікаційної індустрії, яка не має собі рівних за кількістю запропонованих послуг, гнучкості розгортання й економічної ефективності.

За призначенням системи мобільного зв'язку можливо розділити на відомчі й комерційні системи загального користування, як це показано на рис. 2.

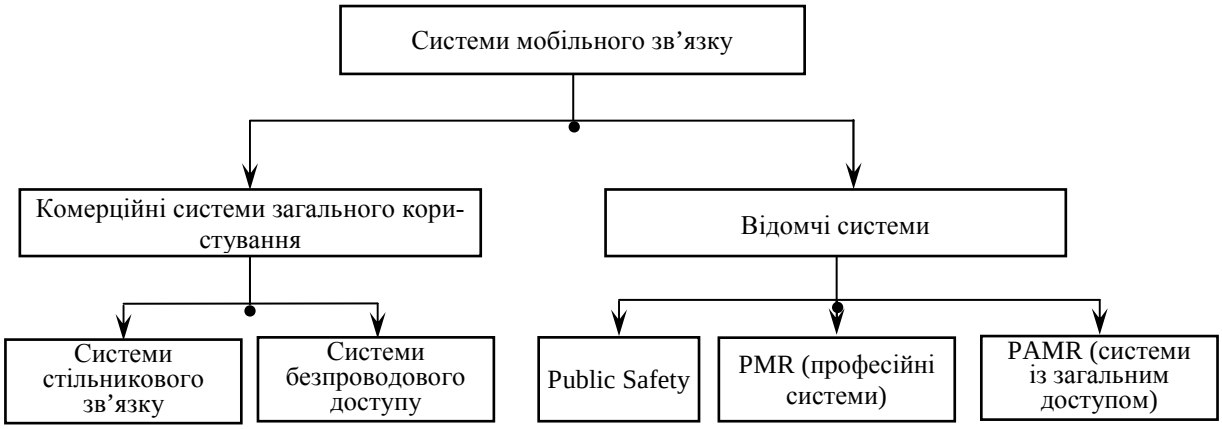


Рис. 2. Класифікація систем мобільного зв'язку

Відомчі системи мобільного зв'язку призначені для забезпечення виробничих спеціальних потреб органів державної й виконавчої влади, відомств і підприємств.

Ці системи, традиційно, широко використовуються силовими й правоохоронними структурами, службами суспільної безпеки, транспортними, будівельними й енергетичними компаніями в процесі виконання виробничих завдань. Характерною рисою відомчих систем радіозв'язку є те, що в цих системах активно використовується режим

зв'язку, коли абоненти об'єднані в групу. При цьому абоненти групи можуть знаходитись один від одного на значних відстанях.

Відомчі системи радіозв'язку, як видно з рис. 2, залежно від призначення розділяються на три типи:

– системи типу Public Safety, що орієнтуються на забезпечення потреб служб безпеки, міліції, пожежної охорони, швидкої медичної допомоги і т. д;

– професійні (приватні) системи PMR (Professional або Private Mobile Radio), що належать організаціям, установам, компаніям і сприяють вирішенню завдань адміністративного та виробничо-технічного значення;

– системи з загальним доступом PAMR (Public Access Mobile Radio), що забезпечують вихід відомчих абонентів у мережу загального користування, забезпечуючи при цьому великий набір послуг, та орієнтовані на широке коло користувачів.

Основу комерційної системи загального користування складають системи *стільникового зв'язку* та *ситеми безпроводового доступу*. Система стільникового зв'язку [4] – це система наземної рухомої радіослужби, що складається із замкнутої системи базових радіостанцій, які покривають наземну поверхню зонами за принципом бджолиних стільників. У цих системах застосовується стільниковий принцип просторової топології мережі, що забезпечує повторне багатократне використовування одних і тих же частот (структур сигналів). Цей принцип частково розв'язує проблему дефіциту частотного ресурсу та забезпечує можливість обслуговування великої кількості абонентів на великих територіях і, тим самим, визначає успіх стільникових систем.

Системи безпроводового доступу (БД) – найновіші з різновидів мобільного радіозв'язку, основним призначенням яких є забезпечення мобільним зв'язком на невеликих територіях з надзвичайно високою щільністю трафіку до 10000 Ерл/км^2, та для забезпечення високих швидкостей передачі інформації між абонентськими станціями. При цьому головною особливість цих систем є мікро- та пікостільниковий принцип побудови, й обмеження в рухомості абонентів. Взагалі під безпроводовим доступом розуміють [3; 5] електрозв'язок з використанням радіотехнологій, під час якого кінцеве обладнання хоча б одного із споживачів може вільно переміщатися із збереженням унікального ідентифікаційного номера в межах пунктів закінчення телекомунікаційної мережі, які під'єднані до одного комутаційного центру.

На цьому етапі реалізації ідеології NGN відбувається інтеграція мобільних систем зв'язку в єдину, яка має забезпечити всі функції розглянутих вище систем. І безперечними лідерами тут виступають системи стільникового зв'язку і ситеми БД, які й становитимуть основу NGN. Відомчі ж системи будуватимуться на основі використання трафіку безпроводових NGN і будуть відокремлюватися від них лише за допомогою впровадження відповідних організаційних та технічних заходів на рівні абонентського устаткування. Про такий перебіг подій свідчить і те, що вже сьогодні переважна більшість радіотелекомунікаційних мереж поєднує в собі функції та послуги стільникового зв'язку та безпроводового доступу.

Так, на сьогодні існує близько 40 різних стандартів БД [3, 5]. Стислі характеристики найбільш розповсюджених стандартів наведені в табл. 1. Із таблиці видно, що для систем БД виділені діапазони частот 2,4...2,4835; 5,15...5,35; 5,67...5,85; 10...66; 2...11 ГГц. Ці діапазони частот у більшості країн призначені для безліцензійного використання в промисловості, науці і медицині [3; 5]. До систем БД висуваються високі вимоги щодо реалізації фізичного рівня, що забезпечує їх якісну роботу в умовах великої "забрудненості" смуги частот.

Загальна структура побудови мереж БД показана на рис. 3.

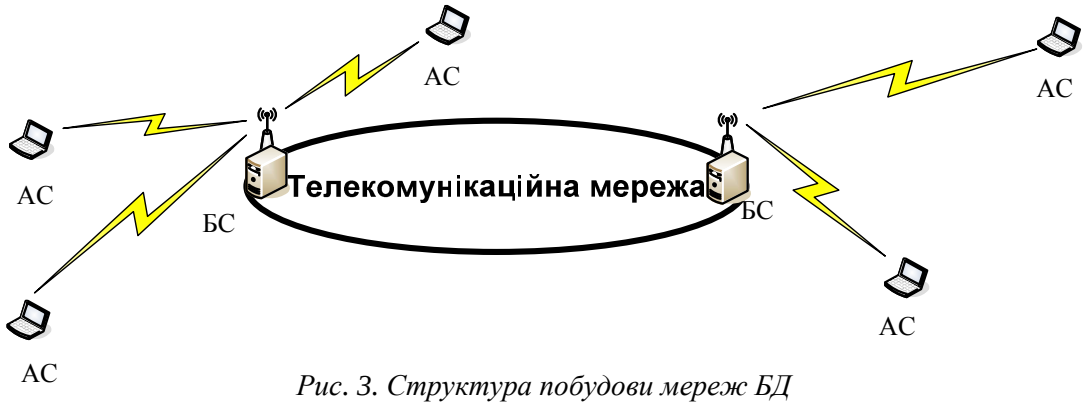


Рис. 3. Структура побудови мереж БД

Кожна з абонентських станцій (АС) має вільний вихід до телекомунікаційної мережі через радіоінтерфейс з базовою станцією (БС). Це забезпечує можливість обміну потоками даних як між АС, що знаходяться в зоні дії однієї БС, так і між АС, які знаходяться в робочій зоні різних БС. Всі БС з'єднані між собою через телекомунікаційну мережу. Це дозволяє забезпечити доступ до інших мереж, у тому числі і до всесвітньої інформаційної системи загального доступу Інтернет.

Стисла характеристика найпоширеніших стандартів стільникового зв'язку із зазначенням їх приналежності до одного з поколінь наведена в табл. 2. Якщо провести аналіз стандартів стільникового зв'язку (табл. 2) із стандартами безпроводового доступу (табл. 1), то не складно помітити, що на рівні четвертого покоління ці системи вже об'єднуються в єдину систему мобільного зв'язку. Деякі науковці взагалі не розрізняють ці системи і розуміють їх як єдину, а появу технологій безпроводового доступу пов'язують з третім поколінням розвитку мобільних систем зв'язку. Це обґрунтовано тим, що саме на основі розвитку стільникових систем зв'язку попередніх поколінь і виникли безпроводові системи доступу. І тут важко не погодитися. Тому в подальшому будемо використовувати поняття мобільного зв'язку, що поєднує в собі функції зазначених вище двох систем.

Розглянемо стисло розвиток мобільного зв'язку. Так нинішнім поколінням передувала передісторія становлення мобільного зв'язку, іноді іменована «поколінням 0». Основні ідеї і технічні рішення були сформовані в 40-50 роках XX століття, однак їх реалізація залишалася неможливою до появи мікроелектронної техніки в 80-х роках.

Зазначені стандарти передбачали використання виключно аналогових сигналів.

Таблиця 1

Аналіз стандартів безпроводового доступу

Стандарт	Найменування	Діапазон частот, ГГц	Швидкість передачі інформації, Мбіт/с	Стисла характеристика
1	2	3	4	5
802.11	*WLAN*	2,4 ... 2,483	до 2	Використовується *DSSS* і *FHSS*. Вид модуляції: *DBPSK*, *DQPSK*, (для *DSSS*), *GFSK-2* та *GFSK-4* (для *FHSS*). Радіус зв'язку до 100 м
802.11a	–	5,15 ... 5,25 5,25 ... 5,35 5,725 ... 5,825	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	Використовуються сигнали з *OFDM*, кожна піднесуча якого модулюється за допомогою *BPSK*, *QPSK*, *16-QAM* і *64-QAM*. Радіус зв'язку до 50 м
802.11b	*Wi-Fi*	2,4 ... 2,483	до 11	Застосовується *HR – DSSS* (використовується технологія компліментарних кодів або двійкового пакетного кодування згортаючим кодом). Вид модуляції: *DQPSK* (*CCK*), *BPSK* і *QPSK* (*PBCC*). Радіус зв'язку до 100 м

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5
802.11d	–	2,4 ... 2,483	до 11	Універсальна форма фізичного рівня з *FHSS*. Розширює сферу дії стандарту *802.11* на країни, в яких існує обмеження за частотою
802.11e	–	2,4 ... 2,483	до 54	Визначає механізми високошвидкісної передачі даних з гарантованою якістю обслуговування при сумісництві з *802.11a* і *802.11b*
802.11f	–	–	–	Регламентує механізм обміну службовою інформацією між точками доступу в розподілених безпроводових локальних мережах
802.11g	–	2,4 ... 2,483	1, 2, 5,5, 6, 9, 11, 12, 18, 22, 24, 33, 36, 48, 54	Використовується *DSSS-OFDM*, *ERP-PBCC*, *ERP-OFDM*. Вид модуляції *QPSK*, *16-QAM* і *64-QAM* забезпечує сумісність з *802.11b*. Радіус зв'язку до 100 м
802.11h	–	5,15 ... 5,35 5,67 ... 5,85	до 54	Забезпечує управління частотним ресурсом і контроль за потужністю, яка випромінюється з використанням протоколів *DFS* і *TPS* запропоновані *ETS*I
802.11i	–	2,4 ... 2,483	до 2	Передбачається використовувати кращий механізм аунтентифікації і шифрування. Доповнює *MAC* рівень доступу до середовища передачі стандарту *802.11* і фізичний рівень специфікації *802.11a*
802.11j	–	4,9 5,03 ... 5,091	до 54	Регламентує роботу для суспільного використання відповідно до правил специфікації *802.11a* перший діапазон для США та Японії, другий в Японії
802.11k	–	Визначається керуючими органами країн	–	Регламентує передачу між точками доступу спеціальних даних для додатків вищого рівня. Визначає алгоритм ефективного вибору частот
802.11n	–	2,4 ... 2,483 5,15 ... 5,35 5,67 ... 5,85	до 100	Розширює можливості специфікації 802.11g з використанням нових одночіпових WLAN адаптерів
802.11r	–	–	–	Регламентує швидкий хендовер клієнтських пристроїв між різними точками доступу. Основу технології взято з документів *802.11i* і *802.11k*
802.15.1	*Bluetooth, WPAN*	2,4 ... 2,483	1 (асиметричний 0,7323/0,057, або повнодуплексний канал передачі 0,4339)	Використовує *FHSS* (1600 стрибків за секунду). Вид модуляції *GFSK-2* з *BT*=0,5. Радіус зв'язку: 1) до 10 м; 2) до 100 м
802.15.2	–	–	–	Розробка практичних рекомендацій за сумісністю пристроїв *802.11* і *802.15*
802.15.3	*WPAN*	2,4 ... 2,483	11, 22, 33, 44, 55	Використовується *DSSS*. Вид модуляції *OQPSK*. Призначений для високошвидкісної передачі даних. Радіус зв'язку до 100 м
802.15.4a	*UWB*	3,1 ... 10,6	до 500	Зверхширокосмугова високошвидкісна передача даних. Використовуються імпульси форми Гауса (ширина спектру сигнала 500 МГц) і додаткове розширення спектра методом програмного перестроювання центральної частоти імпульсу. Використовується внутрішня фазова модуляція імпульсу
802.15.4	*ZigBee* *IN-Home Net*	2,4 ... 2,483 0,902 ... 0,928 0,868...0,8686	до 0,25 до 0,04 до 0,02	Використовується *DSSS*. Вид модуляції *BPSK*, *QPSK*. Передбачений для автономного обладнання і побутової техніки з низьким енергоспоживанням. Радіус зв'язку до 10 м

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5
802.16	*BWA*	10 ... 66	32 ... 134,4	Використовується радіоінтерфейс *WMAN-SC1* (модуляція однієї несучої). Вид модуляції несучої: *BPSK, QPSK, 16 - QAM, 64 - QAM*. Радіус зв'язку до 50 км
802.16a	*WiMAN*	2 ... 11	до 70	Використовується три види радіоінтерфейсів *WMAN-SC2* (модуляція однієї несучої), *WMAN-OFDM* (з БПФ на 256 точок) *WMAN-OFDM-OFDM* (з БПФ на 2048 точок). Вид модуляції несучої та піднесучих: *BPSK, QPSK, 16 – QAM, 64 – QAM, 256 – QAM*. Радіус зв'язку до 50 км
802.16e	*WiMAX*	2,4 ... 2,483 3,4 ... 3,6 5,7 ... 8,8	до 15	Використовується радіоінтерфейс *WMAN-OFDM-OFDM* (з БПФ на 2048 і 4096 точок). Вид модуляції несучої та піднесучих: 16 - *QAM, 64 - QAM*. Зв'язок забезпечується при швидкості до 150 км/годину і на ліцензійній основі

Таблиця 2

Аналіз стандартів стільникового зв'язку

Стандарт	Рік	Стисла характеристика
1	2	3
Покоління 0G		
MTS	1946	Мобільний телефонний зв'язок (Mobile Telephone Service). Система напівдуплексного радіозв'язку операторського класу із забезпеченням виходу в PSTN (до 25 каналів, діапазон частот біля 900 МГц)
AMTS	1965	Передова мобільна телефонна система зв'язку (Advanced Mobile Telephone System)
IMTS	1969	Удосконалена система мобільного телефонного зв'язку (Improved Mobile Telephone Service) – дводіапазонна система дуплексного зв'язку із забезпеченням виходу в PSTN (до 9 каналів у діапазоні 35-44 МГц, до 11 каналів у діапазоні 152-158 МГц, до12 каналів у діапазоні 454-460 МГц; радіус дії 60 – 100 км)
Покоління 0,5G		
PALM	1971	Public Automated Land Mobile – автоматизована наземна мережа мобільного зв'язку із забезпеченням виходу в PSTN. Перша система з використанням цифрових сигналів для передачі керуючих повідомлень й аналогових сигналів для передачі голосу
ARP	1971	Auto Radio Puhelin – система автомобільного напівдуплексного (пізніше – повнодуплексного) радіозв'язку операторського класу з розміром зони обслуговування до 30 км (до 80 каналів у діапазоні частот 150 МГц)
Покоління 1G		
NMT	1979	Nordic Mobile Telephone – скандинавська дводіапазонна аналогова система мобільного стільникового радіозв'язку операторського класу, орієнтована на покриття великих територій (ширина каналу 12,5 кГц, робочий діапазон частот біля 450 й 900 МГц)
AMPS	1981	Advanced Mobile Telephone System – удосконалена рухома телефонна система мобільного зв'язку в діапазоні частот від 825 до 890 МГц (більше 600 дуплексних каналів, ширина каналу 30 кГц, потужність передавача БС 45 Вт, потужність передавача автомобільної рухомої станції – 12 Вт, потужність передавача переносного апарата – 1 Вт)
TACS	1983	Total Access Communication Systems – аналогова система радіов'язку загального користування в частотному діапазоні біля 900 МГц (ширина каналу 25 кГц, «Європейська версія» AMPS)
Hicap	1985	Система мобільного стільникового радіозв'язку – вдосконалена версія системи NTT (Nippon Telegraph and Telephone, Японія)
Mobitex	1988	Національна загальнодоступна мережа бездротової передачі даних – система передачі даних, із загальним доступом, що включає мережеву службу двостороннього пейджингового зв'язку (ширина каналу – 12,5 кГц)
Data Tac	1990	Дводіапазонна система бездротової передачі даних, (ширина каналу 25 кГц, діапазон частот 403 – 433МГц й 806 – 870 МГц, пропускна здатність 19,2 кбіт/с)

Продовження табл. 2

1	2	3
PHS	1990	Personal Handy-phone System – розроблена в Японії система радіозв'язку, заснована на використанні портативних телефонів, (TDMA-TDD, діапазон частот 1880-1930 МГц, швидкість передачі даних до 32 кбіт/с)
GSM	1991	Global System for Mobile Communications – чотиридіапазонна глобальна система мобільного стільникового зв'язку (TDMA, діапазон частот 850 МГц, 900 МГц, 1800 МГц, 1900 МГц, модуляція GMSK, ширина каналу 200 кГц)
Digital AMPS	1991	Цифровий варіант аналогової ситеми AMPS (FDMA, діапазон частот 825-890 МГц, модуляція π/4 - DQPSK, ширина каналу 200 кГц)
PDC	1992	Personal Digital Cellular – стандарт персонального цифрового стільникового зв'язку (TDMA, діапазон частот 800 МГц, ширина каналу 25 кГц). Використовується тільки в Японії
CdmaOne	1995	Перша система з CDMA-доступом і прямим розширенням спектра, відома як стандарт IS-95 або TIA-EIA-95 (CDMA, робочий діапазон частот біля 800 МГц, ширина каналу 1,25 МГц, модуляція BPSK/QPSK)
CSD	1997	Circuit Switched Data – технологія передачі даних з комутацією каналів, початково розроблена для систем GSM
Покоління 2,5G		
WiDEN	1996	Wideband integrated Dispatch Enhanced Network – широкосмугова інтегрована диспетчерська вдосконалена мережа (до 4 каналів по 25 МГц, пропускна швидкість 100 кбіт/с)
GPRS	2000	General Packet Radio System – удосконалена технологія пакетної передачі даних для систем GSM (ширина каналу 200 кГц, максимальна пропускна здатність 171,2 кбіт/с)
HSCSD	2000	High-Speed Circuit Switched Data – удосконалена технологія високошвидкісної передачі даних з комутацією каналів, сумісна з GSM. Максимальна швидкість передачі даних 57,6 кбіт/с
Покоління 2.75G		
cdma2000	2000	Еволюційний варіант розвитку стандарту CdmaOne (швидкість передачі даних збільшена до 2,4Мбіт/с, нараховує на сьогодні кілька модифікацій)
EDGE	2003	Enhanced Data rates for GSM Evolution – удосконалена цифрова технологія передачі даних для систем мобільного зв'язку GSM (TDMA, модуляція 8-PSK, максимальна швидкість передачі даних до 384 кбіт/с, ширина каналу 200 кГц)
Покоління 3G		
UMTS	1999	Universal Mobile Telecommunications System – універсальна система мбільного стільникового зв'язку технології W-CDMA (діапазон частот біля 850 МГц, 1900 МГц, 2100 МГц, шиина каналу 5 МГц, швидкість передачі даних до 2 Мбіт/с)
IxEV-DO	2000	Усконалена версія системи cdma 2000 (IS-856) (максимальна пропускна здатність по лінії «донизу» – 307 кбіт/с, максимальна пропускна здатність по лінії «наверх» – 153 кбіт/с)
FOMA	2001	Freedom of Mobile Multimedia Access – перший W-CDMA 3G сервіс японської торговельної марки NTT DoCoMo (W-CDMA/FDD, для смуги частот 1920-1980 МГц, 2110-2170 МГц)
GAN/UNA	2006	Generic access network – мережа загального доступу, раніше відома як неліцензований мобільний доступ. Забезпечує мобільні послуги GSM, GPRS у неліцензованих діапазонах частот
Покоління 3,5G		
HSDPA	2006	High-Speed Downlink Packet Access – удосконалена технологія швидкісної пакетної передачі даних по лінії «донизу»для системи W-CDMA (швидкість передачі даних до 14,4 Мбіт/с)
Покоління 3,75G		
HSUPA	2007	High-Speed Uplink Packet Access – удосконалена технологія високошвидкісної передачі даних по лінії «вверх»для систем систем W-CDMA CDMA (швидкість передачі даних до 5,76 Мбіт/с)
Покоління 4G		
Широке застосування технологій MIMO, MultiCarrier, CDMA (MC-CDMA), WCDMA+, OFDMA, W-OFDMA, UWB і радіо, що програмно реконфігурується (Software Defined Radio), систем WiMax та LTE		
Покоління 5G		
Не визначено		

Передавати дані в цифровій формі дозволили стандарти 1-го покоління (1G), хоча це обмежувалося тільки сигналами керування. Мова оброблялася і передавалася в аналоговому вигляді. Про послуги передачі даних навіть і розмов не було – ні SMS, ні MMS, ні, тим більше, доступу до мережі Інтернет. Мобільний телефон використовувався тільки для обміну мовною інформацією.

Перехід мобільних систем зв'язку на цифрові принципи обробки й передачі даних пов'язують з розвитком мікропроцесорної техніки та елементної бази. Так, застосування передачі мови і сигналів керування в цифровому вигляді в стандартах 2-го покоління (2G), як вже зазначалося, призвело до нової революції в галузі телекомунікацій. На цьому етапі відбувається інтенсивний розвиток комп'ютерної техніки. Це змінює погляди суспільсва на телекомунікаційні мережі. Виникає потреба оперативного доступу користувачів до мережі Інтернет і здійснення обміну даними між комп'ютерами та базами даних.

З часу появи стандартів 2-го покоління постійно зростають потреби в обміні даними, що призвело до еволюційного розвитку мобільного зв'язку протягом наступних двох поколінь. Розроблялися нові стандарти, які дозволяли збільшити ємність мережі й поліпшити якість обслуговування. Основною відмінною рисою мереж мобільного зв'язку 2-го й 3-го поколінь (відповідно, 2G й 3G) стала можливість передавати дані. Кожен новий стандарт забезпечував збільшення пропускної здатності каналів передачі даних, організованих на вже існуючих мережах. При цьому з самого початку ці канали були орієнтовані на передачу голосу.

Розвиток мультимедійних й інших інформаційно-ємнісних послуг вимагав постійного підвищення ефективності використання радіоспектра під час зниження питомої вартості переданих даних. Розроблялись все більш досконалі технології, направлені на збільшення продуктивності мережі шляхом підвищення спектральної ефективності під час надання послуг з високою швидкістю передачі пакетних даних.

Реалізоване в мобільних системах 3-го покоління кодове мультиплексування каналів дозволило вдвічі збільшити число користувачів на стільнику й майже втричі – обсяг передачі даних. Спільне використання загальних каналів підвищує ефективність використання ресурсів мережі з комутацією пакетів. Крім того, зменшення середньої затримки передачі пакетів з 10 мс до 2 мс поліпшило якість мультимедійних послуг.

Еволюція показала, що прагнення кожного нового покоління систем мобільного зв'язку до підтримки зворотньої сумісності з попередніми, значно знижувала швидкість подальшого їх розвитку. Стало зрозумілим, що без революційного підходу не обійтися. Таким чином, на стику 3-го й 4-го поколінь відбувся своєрідний розкол. Одна частина співтовариства продовжила роботу над удосконаленням стандартів на основі GSM і CDMA, у той час як інша перейшла до розробки й впровадження принципово нових стандартів, основаних на використанні більш ефективних сигналів OFDM (OFDMA).

Поява концепції переходу телекомунікаційних мереж до рівня NGN вже зараз вимагає організації безпроводового доступу з високою швидкістю передачі даних – до 20 Мбіт/с. При цьому така швидкість має співвідноситися з основними технологіями побудови безпроводових мереж. Реалізувати це можливо підвищенням ефективності розподілу частотного ресурсу, збільшенням ефективності керування потужністю випромінення, а також впровадженням протоколів коміркової маршрутизації (Mesh Routing Protocol) з різними шляхами між вузлами мережі. Вирішення цього завдання покладено на системи мобільного зв'язку четвертого покоління (4G) HSOPA (High Speed OFDM Packet Access).

Впровадження концепції мобільних систем зв'язку четвертого покоління остаточно поставило крапку у визначенні напрямків подальшого розвитку мереж доступу. Із

табл. 2 видно, що системи мобільного зв'язку четвертого покоління застосовують на фізичному рівні складні багаточастотні сигнали, основані на OFDM (OFDMA). При цьому ці системи вже поєднують у собі функції й переваги систем безпроводового доступу (табл.1) та стільникових систем зв'язку.

Незважаючи на значні переваги та перспективи розвитку систем мобільного зв'язку четвертого покоління, вони не здатні повністю задовольнити всі вимоги мереж доступу NGN. Тому на сьогодні залишається актуальним питання проведення їх вдосконалення. І значне місце тут відводиться розробці нових підходів до побудови фізичного рівня, що, насамперед, визначається ефективністю обраних сигнально-кодових конструкцій.

Висновки.

1. Розвиток технологій фізичного рівня систем мобільного зв'язку викликаний, насамперед, переходом телекомунікацій до ідеології NGN, що обумовило потреби у високих швидкостях передачі даних, у збільшенні ефективності використання частоти та переходом до нових смуг частот.

2. Удосконалення технологій побудови фізичного рівня дозволяє підвищити якість зв'язку і збільшити електромагнітну сумісність різних радіозасобів. Свобода пересування, висока мобільність і відсутність потреби прокладки кабеля роблять мобільні системи зв'язку безперечним лідером для побудови мереж доступу NGN. Поряд із зазначеним, та враховуючи тенденції розвитку телекомунікацій, обмежена абонентська й пропускна здатність не дозволять у найближчому майбутньому забезпечити обмін даних на рівні з проводовими мережами доступу.

3. Для вирівнювання інформаційних можливостей мобільних мереж зв'язку з проводовими мережами, необхідно переглянути підхід до побудови радіоінтерфейсу. Це можливо зробити під час використання перспективних сигнально-кодових конструкцій, побудованих на базі оптимальних багатопозиційних багаточастотних сигналів [6]. Використання цих конструкцій з ефективними методами завадостійкого кодування забезпечить високу достовірність передачі даних і дозволить підвищити частотну ефективність, збільшить гнучкість систем до потреб користувачів, а також посприяє у вирішенні ряду завдань, що стоять перед мережами NGN. Для цього спочатку необхідно провести детальний аналіз технологій побудови фізичного рівня перспективних телекомунікаційних радіосистем, який і дозволить визначити напрямки подальших досліджень.

Список використаних джерел

1. Ільченко М. Ю. Сучасні телекомунікаційні системи / М. Ю. Ільченко, С. О. Кравчук. – К.: Наукова думка, 2008. – 328 с.

2. Бакланов И. Г. NGN: принципы построения и организации / И. Г. Бакланов. – М.: Информационно-технический центр «Эко-Трендз», 2007. – 400 с.

3. Яриловець А. В. Аналіз інформаційних можливостей сигнальних конструкцій систем безпроводового доступу стандартів IEEE 802.11 / А. В. Яриловець // Спеціальні телекомунікаційні системи та захист інформації. – 2006. – Вип. 1 (12). – С. 5-14.

4. Яриловец А. В. Беспроводный доступ. Физический уровень в перспективных решениях / А. В. Яриловець, С. В. Зайцев // Сети и телекоммуникации. – 2008. – № 12. – С. 54-63.

5. Яриловец А. В. Три кита третьего поколения / А. В. Яриловець, В. Ф. Яриловець // Сети и телекоммуникации. – 2009. – № 1-2. – С. 58-65.

6. Бабіч В. Д. Радіоінтерфейс системи безпроводового доступу технології CDMA/TDMA/TDD на основі фазо-частотно-часових сигнальних конструкцій / В. Д. Бабіч, А. В. Яриловець, С. Г. Пасічник // Зв'язок. – 2007. – Вип. 2. – С.31-35.

УДК: 681.518.3:528.88:004.6

С. В. Кривоберець, викладач
Чернігівський державний інститут економіки і управління, м. Чернігів, Україна

АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ЗНІМАЛЬНИХ СИСТЕМ ВЕДЕННЯ АГРОЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

Розглянуто методи і супутникові системи, що дозволяють практичне використання даних дистанційного зондування (ДДЗ) для ведення агроекологічного моніторингу, прогнозування врожайності та аналізу стану рослинності. Відображені переваги знімальних систем MODIS і Landsat TM для потреб агроекологічного моніторингу, описані характеристики та знімальні канали радіометра MODIS і сенсора ETM+. Проаналізовані індикатори – показники стану рослинності, що розраховуються в результаті операцій з різними спектральними діапазонами (каналами) – вегетаційні індекси, які найчастіше використовуються для дослідження рослинного покриву. Представлені комбінації каналів даних Landsat TM, зазначені галузі застосування даних MODIS і Landsat TM.

Постановка проблеми. На сьогодні у більшості сільськогосподарських (с.-г.) суб'єктів України триває зниження родючості ґрунтів. Ґрунтовий покрив зазнає деградації й забруднення, втрачає стійкість до руйнування, здатність до відновлення властивостей й відтворення родючості. Державні заходи щодо охорони земель практично припинені.

Серед існуючих сучасних методів агроекологічного моніторингу найбільш ефективними є методи, що засновані на використанні геоінформаційних систем (ГІС) для складання просторово-орієнтованих електронних карт полів; карт врожайності культур, одержувані відразу після прибирання; дистанційні методи зондування, такі як аерофото- і супутникові знімання [3].

У зв'язку із стрімким розвитком авіаційної, й особливо космічної техніки, технології ДЗ природного середовища набувають не лише наукової, але й істотної прикладної значущості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Методологія космічних досліджень і методи застосування дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) для моніторингу великою мірою розвинулись завдяки працям відомих вітчизняних учених – В. Кононова, Г. Коротаєва, В. Ляльки, М. Мірошникова, Б. Нелепо, М. Попова, С. Станкевича, О. Федоровського, В. Цимбала. Теоретико-методичні основи застосування ГІС і матеріалів ДЗЗ у галузі природоохорони та землезнавства приведені в працях С. Довгого, В. Ляльки, В. Шестопалова, М. Якимчука та інших учених.

Дослідження пов'язані із застосуванням знімків високої і середньої розрізненості для вирішення різноманітних завдань у галузі картографування земних ресурсів та стану навколишнього середовища, екологічного моніторингу агроресурсів ведуться вже протягом двох десятиліть. Значний внесок у розвиток напряму аналізу даних ДЗЗ внесли як закордонні, так і вітчизняні вчені – В.В. Асмус, Р. Вудс, Р. Гонсалес, В.К. Злобін, Є.О. Луп'ян, В.І. Кравчук [8], У. Претт, В.А. Сойфер, А.Г. Орлов, А.М. Овчинников, M. W. Matthew, S. M. Adler-Golden, A. Berk, G. Felde, G. P. Anderson, D. Gorodetzky, S. Paswaters, M. Shippert, A. Huete [10], M. A. Friedl, X. X. Xiong та інші. Їх дослідження щодо питання з дистанційного спостереження за Землею й обробки відеоінформації становлять теоретичну основу з вирішення поставлених завдань.

Постановка завдання. Під час спостереження за Землею з космосу, використовуючи дистанційні методи, дослідник має можливість на відстані (дистанційно) отримувати інформацію про об'єкт, що вивчається. Дистанційні методи, переважно, є непрямими, тобто вимірюються не параметри об'єктів, що цікавлять, а деякі пов'язані з ними величини. В порівнянні з контактними методами, заснованими на реєстрації характеристик досліджуваного об'єкта з використанням датчиків, що знаходяться в безпосередньому стиканні з об'єктом (термометр, термопара, газоаналізатор тощо). За допомогою дистанційних методів можна говорити про властивості спостережуваних об'єктів за непря-

мими ознаками шляхом реєстрації випромінених об'єктом або відбитих від нього електромагнітних хвиль у різних діапазонах спектра.

У випадку оцінювання стану сільськогосподарських посівів, як одного з ключових аспектів проведення агроекологічного моніторингу, апаратура супутника реєструє лише інтенсивність світлового потоку від цих об'єктів у декількох ділянках оптичного діапазону. Дані ДЗЗ використовують для оперативного оцінювання стану посівів сільськогосподарських культур на великих площах.

На практиці це здійснюється методом супутникової зйомки з подальшим аналізуванням знімків. Для того щоб «розшифрувати» такі дані, з метою отримання незалежної та своєчасної інформації про посівні площі основних сільськогосподарських культур, їх стан, біопродуктивність та прогнози врожайності з використанням інформації ДЗЗ, потрібні попередні дослідження, що включають різні підсупутникові експерименти: з вивчення стану рослин контактними методами; з вивчення відбивної здатності листя в різних ділянках спектра і при різному взаємному розташуванні джерела світла (Сонця), листя і вимірювального приладу. Далі необхідно визначити, як виглядають ті ж об'єкти з літака і лише після цього аналізувати про стан посівів за супутниковими даними. Неодмінним атрибутом дослідження є ступінь калібрування супутникової апаратури перед запуском і в космосі, і можливість порівнювати супутникові дані з наземними.

Незважаючи на трудомісткість підсупутникових досліджень під час проведення на невеликій площі, в той же час вони дають можливість інтерпретувати дані, що відносяться до величезних просторів і навіть до всієї земної кулі. Широта обхвату є характерною межею супутникових методів дослідження Землі. До того ж ці методи, переважно, дозволяють отримати результат за порівняно короткий проміжок часу.

Для здійснення ефективного агроекологічного моніторингу с.-г. земель за допомогою ДДЗ необхідно обрати оптимальну знімальну систему з існуючих на сьогодні та розробити алгоритми обробки даних, на вибір яких впливає низка факторів (необхідність використання даних знімань у зонах спектра в яких щонайкраще розрізняються рослинність і ґрунтовий покрив, неповне проективне покриття ґрунтового покриву рослинністю протягом значної частини періоду вегетації, характерні розміри с.-г. полів, необхідність проведення моніторингу на великій території, швидка динаміка розвитку с.-г. культур, залежність динаміки розвитку культур від проведених агротехнічних заходів, наявність певних правил землекористування, значні відмінності у динаміці вегетації різних с.-г. культур та використанні орних земель у різних регіонах країни).

З допомогою цих факторів можна висувати певні вимоги до знімальної системи та алгоритмів обробки ДДЗ, які повинні забезпечувати наявність знімальних каналів у червоній і ближній інфрачервоній (ІЧ) зонах спектра, просторову розрізненість знімання не гірше 250-300 м, періодичність знімань не рідше ніж один безхмарний вимір за 5-10 днів, незалежність алгоритмів обробки від спектральних властивостей підстилаючого ґрунтового покриву, універсальність алгоритмів обробки стосовно різних кліматичних умов, методів агротехніки, мінімальну участь експертів у процесі обробки даних [3].

Виклад основного матеріалу дослідження. Сучасна економічна ситуація на селі, реформування земельних відносин і розвиток багатоукладного сільського господарства потребують нових підходів до управління процесами охорони земель, відтворення родючості ґрунтів, контролю, стимулювання та раціонального використання, що неможливо створити без ефективного державного моніторингу.

Система агроекологічного моніторингу за допомогою ДДЗ повинна [4]:

– функціонувати в режимі реального часу, забезпечуючи високу оперативність обробки великих (або надвеликих) потоків даних;

– забезпечувати високі вимоги щодо достовірності і точності результатів аналізу, до форми й якості подання кінцевих результатів, що викликані високою вартістю можливих помилок;

– надавати можливість використання всього розмаїття вимірювальної інформації – за фізичною природою, за видом подання, за великою кількістю програмно-апаратних засобів, що виступають джерелами даних тощо;

– вирішувати широке коло завдань (спостереження, контроль, діагностування, прогнозування, управління) моніторингу;

– бути відносно простою, не потребуючи високої кваліфікації обслуговуючого персоналу;

– забезпечувати уніфікацію, модульність і масштабованість, можливість швидкої комплектації спеціалізованих програмно-апаратних комплексів.

Використання методів ДЗЗ в інтересах с.-г. виробників сприяє формуванню нових аграрних технологій, с.-г. менеджменту і стратегічного планування. Україна – велика аграрна держава, яка хоч і має власну національну космічну програму, але, на жаль, не може похвалитися значними досягненнями у сфері використання даних ДЗЗ для с.-г. потреб.

За допомогою методів ДЗЗ можна кількісно оцінювати площі, зайняті с.-г. культурами, визначати фази розвитку рослин, проблеми стану посівів (нерівномірність визрівання, враження шкідниками та хворобами, нестача поживних речовин, загибель від несприятливих метеорологічних умов), а також прогнозувати врожайність.

ДЗЗ відносяться до потужних методів отримання інформації про стан рослинності конкретного поля, які за допомогою інформативних можливостей спектральних характеристик полів створюють передумови для ефективного управління посівами. За допомогою даних ДЗЗ виявляються та локалізуються ділянки поля з аномальним розвитком рослинності, встановлюються можливі причини його виникнення. На більш високому рівні аналіз цих даних дає можливість встановлювати кількісні зв’язки між біофізичними параметрами стану рослинності і змінами спектрального відгуку рослинного покриву, що обумовлені впливом факторів зовнішнього середовища або особливостями технологій вирощування, тобто отримані знімки опрацьовують і отримують показники стану рослинності, так звані вегетаційні індекси (BI): NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – нормалізовано-різницевий вегетаційний індекс, DMP – індекс наростання сухої речовини тощо, які є вихідними результатами комп’ютерної обробки супутникових знімків і характеризують загальний стан розвитку рослинності та в поєднанні з агрометеорологічними факторами дозволяють прогнозувати врожайність сільськогосподарських культур з високою точністю. Вони потім порівнюються з агрометеорологічними показниками та використовуються у вигляді вхідної інформації для процесу моделювання стану сільськогосподарських культур та прогнозування їх врожайності.

Після попереднього опрацювання, за допомогою математичних операцій з різними каналами ДЗЗ, проводиться визначення різних індикаторів, що характеризують температуру поверхні ґрунту, випромінювання довгохвильової радіації земною поверхнею, тривалість сонячного сяяння, наявність снігового чи хмарного покриву; площу, вкриту рослинністю, тощо. Із супутникових індикаторів найчастіше використовуються вегетаційні індекси: NDVI (похідні індекси SAVI, PVI), fAPAR та DMP [10].

NDVI – простий кількісний показник фотосинтетично активної біомаси. NDVI легко обчислюється, має найширший динамічний діапазон із розповсюджених вегетаційних індексів і порівняно кращу чутливість до змін у рослинному покриві. Він помірно чутливий до змін ґрунтового й атмосферного фону, крім випадків з розрідженою рослинністю (наприклад, NDVI не варто застосовувати, якщо рослинний покрив становить менше 30 % площі території аналізу).

Розрахунок NDVI базується на двох найстабільніших (незалежних від інших факторів) ділянках спектральної кривої відбиття судинних рослин. У червоній ділянці спектра (0,6-0,7 мкм) лежить максимум поглинання сонячної радіації хлорофілом вищих судинних рослин, а в інфрачервоній ділянці (0,7-1,0 мкм) – максимальне відбиття клітинних структур листка.

Тобто, висока фотосинтетична активність (пов'язана, переважно, з густою рослинністю) призводить до меншого відбиття в червоній ділянці спектра і більшого – в інфрачервоній. Відношення цих показників один до одного дозволяє чітко відокремлювати рослинність від інших природних об'єктів.

Використання ж не простого відношення, а нормалізованої різниці між мінімумом і максимумом відбиття збільшує точність виміру та дозволяє зменшити вплив таких явищ, як розходження в освітленості знімка, хмарності, димки, поглинання радіації атмосферою тощо. NDVI обчислюється за такою формулою [10]:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED),$$

де RED та NIR – значення відповідних пікселей на зображеннях, отриманих у видимій (червоній) та ближній інфрачервоній ділянках спектра.

Відповідно до цієї формули, щільність рослинності (NDVI) у певній точці зображення дорівнює різниці інтенсивностей відбитого світла в червоному та інфрачервоному діапазонах, поділеній на їх суму.

Індекс NDVI може бути розрахованим на основі будь-яких знімків високої, середньої або низької розрізненості, що мають спектральні канали в червоному (0,55-0,75 мкм) й інфрачервоному (0,75-1,0 мкм**)** діапазонах. Алгоритм розрахунку NDVI міститься практично у всіх поширених пакетах програмного забезпечення, пов'язаних з опрацюванням ДДЗ (Arc View Image Analysis, ERDAS Imagine, ENVI, Ermapper, Scanex MODIS Processor, ScanView тощо).

У випадках з розрідженою рослинністю замість NDVI використовують ґрунтово-вегетаційний індекс (SAVI) або перпендикулярний BI (PVI), поріг чутливості яких до густоти рослинності становить близько 15 %.

Індикатор fAPAR – частина фотосинтетично активної сонячної радіації (визначає частину сумарної сонячної радіації PAR (400-700 нм), поглинутої рослинами в процесі фотосинтезу, і виражає здатність поглинання енергії рослинним покривом.

Показник DMP є індексом маси накопичення сухої речовини (кгСР/га/день). Він обчислюється за такою формулою:

$$DMP = R\ 0{,}48\ fAPAR\ \varepsilon(T)\ 10000,$$

де R – короткохвильове випромінювання Сонця (200-3000 нм), яке становить близько 48 % від PAR (фотосинтетично активна радіація: 400-700 нм); ε(T) – продуктивний термін [кгСР/Дж$_{PAR}$] виражає перетворення цієї поглинутої енергії в біомасу (ефективність використання випромінювання). E(T) є нелінійною дзвіноподібною функцією від денної температури T; вона сягає максимуму за температури 22 °C і наближається до нуля за температури нижче 0 °C або вище за 40 °C. Множник 10 000 [м²/га] перетворює квадратні метри на гектари, що є більш вживаною одиницею в агростатистиці [8].

Вся отримана інформація інтерполюється на сітку розміру 25 км × 25 км та компонується у мозаїчні регіональні карти.

ДДЗ характеризують критерії загального впливу умов навколишнього середовища на рослинність, не уточнюючи, яка саме частина кліматичних умов насправді впливає на рослинність. Цей процес називається «дедуктивним» і часто розглядається в основі моделей прогнозування зернових як достатній, для того щоб зробити висновки щодо поточної поведінки зернових та пояснити остаточні прогнози з найменшою неточністю.

Такий аналіз дає можливість побудувати математичні моделі посівів і на їх основі прогнозувати розвиток рослин, що, у свою чергу, дозволить застосовувати їх у системах підтримки рішень агроспеціалістів [3].

Одним із важливих методичних питань дистанційного зондування (ДЗ) є точність ідентифікації досліджуваних посівів на супутниковому зображенні і збіжності результатів відновлення спектральних відбивних характеристик об'єктів знімання з даними підсупутникових вимірів. Його вирішення дозволить оцінити можливості використання розроблених раніше методик аерофотометричних обстежень стану посівів основних с.-г. культур в Україні [4] для визначення оцінки їх стану і прогнозу врожайності за даними багатоспектрального супутникового знімання. Складові моніторингу земель с.-г. призначення представлені на рис.1.

Рис. 1. Складові космічного агроекологічного моніторингу

Дані ДЗЗ характеризуються надійністю, оперативністю їх отримання й масштабністю (миттєве обстеження як окремих об'єктів земної поверхні на знімках високої просторової розрізненості, так і великих регіонів на знімках низької розрізненості). Широке застосування отримали дані спектрометричних вимірів земної поверхні з метеорологічних і природоресурсних штучних супутників Землі LANDSAT (США), SPOT (Франція), РЕСУРС (Росія), IRS (Індія), NOAA (США) та інших. Багаторічний досвід наукового аналізу супутникової інформації свідчить про принципову можливість використання даних багатоспектрального супутникового знімання для моніторингу посівів с.-г. культур, а саме: визначення структури посівних площ, параметрів рослинного покриву, стану польових культур та інших інформативних ознак [4].

Природоресурсні супутники типу «Ресурс» можуть виконувати знімання заданого масиву полів 2-3 рази на місяць з високою розрізненістю на місцевості (для сканера МСУ-Э це менше 45 м, для сканера МСУ СК – 175 м). Одним знімком можна охопити територію, що відповідає за площею адміністративному району (МСУ-Э) або значній частині регіону (МСУ-СК). На такому знімку розрізняються с.-г. угіддя, що дозволяє ідентифікувати посіви з достатньою точністю й оцінювати їх стан на конкретному полі [4]. За допомогою метеорологічних супутників NOAA, що мають на своєму борту радіометр AVHRR, можна отримувати багатоспектральні знімки земної поверхні до 10-12 разів на добу з просторовою розрізненістю 1,1×1,1 км. При цьому приведена до масштабу знімання площа пікселя на багатоспектральному зображенні відповідає

ділянці близько 120 га, що порівнянне із середніми розмірами с.-г. поля у степовій зоні України. В лісостеповій зоні він становить 86 га. Майже в усіх випадках яскравісні характеристики пікселя на зображенні сканера під час знімання лісостепової зони можуть належати до різних класів об'єктів на місцевості, що обумовлює ймовірність розпізнавання видів посівів на знімку і визначення посівних площ під досліджуваною культурою із задовільною точністю [4].

Знімальна система MODIS, що встановлена на борту супутників Terra і Aqua, значною мірою задовольняє перерахованим вимогам, що й обумовило її вибір як основного джерела ДДЗ для с.-г. моніторингу. Дані знімальної системи MODIS поділяються на космічні знімки низької (300-1000 м) і середньої розрізненості (50-200 м). Основним призначенням яких є визначення і дрібномасштабне картографування біопродуктивності лісових масивів та сільськогосподарських угідь, моніторинг динаміки льодовиків, процесів заболочування і запустинювання, засолення, повеней, паводків тощо [4]. На сьогодні доступними є як поточні, так і архівні дані знімань, однак під час розробки алгоритмів моніторингу було вирішено використовувати дані Terra-MODIS, оскільки для цієї знімальної системи доступний ряд вимірів за більш тривалий період часу, а використання даних з двох знімальних систем істотно збільшує обсяг оброблюваних даних і створює необхідність проводити взаємне калібрування двох рядів вимірів. Основні характеристики радіометра MODIS представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Основні характеристики радіометра MODIS [4]

Номери каналів	**Спектральний діапазон (мкм)**	**Просторова розрізненість (м)**	**Смуга огляду (км)**	**Повторюваність знімань однієї території (для одного супутника)**
1-2	0,62 – 0,88	250	2300	1-2 рази на добу, залежно від широти місця знімання
3-7	0,46 – 2,16	500	2300	
8-19	0,41 – 0,97	1000	2300	
20-25	3,66 – 4,55	1000	2300	
26	1,36 – 1,39	1000	2300	
27-36	6,54 – 14,39	1000	2300	

Супутник Terra перебуває на круговій квазіполярній сонячно-синхронній (перетинає екватор в 10:30 місцевого часу) орбіті висотою 705 кілометрів. Знімальна система MODIS виконує знімання в 36 спектральних каналах видимого та інфрачервоного діапазону довжин хвиль із просторовою розрізненістю 250 м (у каналах 1-2), 500 м (у каналах 3-7) і 1 км (у каналах 8-36). Ширина смуги огляду становить 2 330 км. Така смуга огляду дозволяє отримувати дані в екваторіальній області (широта менш 30°) з періодичністю 2 дні, а на широті території України із частотою не менш одного спостереження на добу. Канали знімання MODIS та їх призначення представлено в таблиці 2.

Дані MODIS широко використовуються в різних задачах спостереження за Землею [8]. Крім високої якості даних, значну роль відіграє й їх вільне поширення. Дані вимірів можуть бути отримані на прийомну станцію або доставлені за допомогою інтернет-технологій з одного із центрів прийому й поширення даних (DAAC), що підтримуються Геологічною службою США. Система DAAC забезпечує можливість отримання великого набору ДДЗ з різноманітних американських супутників. Крім системи DAAC, джерелом і головним інтерфейсом, через який можна отримувати дані вимірів MODIS, може бути архів даних MODIS NASA – MODIS Rapid Response, де всі космічні знімки, які з'являються на сайті, хоч і є державною власністю США, але можуть вільно використовуватись і відтворюватись для будь-якої мети [1].

Дані MODIS у центрах прийому доступні з невеликою затримкою (декілька днів) після проведення супутникового знімання. У центрах прийому дані проходять декілька рівнів попередньої обробки й стають більш зручними для подальшого використання.

У багатьох випадках поглиблена попередня обробка супутникових даних, з одного боку полегшує їх використання для багатьох тематичних додатків, з другого – може істотно знижувати ефективність або навіть виключати саму можливість застосування деяких спеціалізованих алгоритмів. Тому користувач повинен вибирати між більш «сирими» і, отже, менш спотвореними даними, які йому доведеться доопрацьовувати власноруч, і готовими продуктами більш глибокого рівня попередньої обробки, якість яких у ряді випадків може бути посередньою.

Альтернативним джерелом отримання даних може виступити Центр прийому й обробки спеціальної інформації та контролю навігаційного поля (ЦПОСІ та КНП), який має архів даних ДЗЗ з космічних апаратів (КА) «NOAA», «Meteosat», «Океан-О», «Метеор-3М» тощо обсягом понад 300 ГГб.

Персонал Центру обчислює вегетаційні індекси та оцінює динаміку розвитку рослинності на території України за період року. Ці дослідження спрямовуються на визначення врожайності с.-г. культур за індексами NDVI, NDSI, NDMI. Однак такі дослідження носять поодинокий, тестовий характер, оскільки за даними не підготовлено жодної тематичної карти за будь-яким з індексів [7].

Для контролю якості та візуальної оцінки отримуваних результатів агроекологічного моніторингу за даними MODIS у ряді випадків варто використовувати вибіркові багатозональні зображення Landsat-TM/ETM+, оскільки відносно висока просторова розрізненість зазначених супутникових зображень (30 м) дозволяє впевнено розпізнавати с.-г. поля під час проведення візуальної інтерпретації.

Зображення високої розрізненості можуть бути отримані на сайті програми GLCF Університету Меріленд [9]. Для цих даних також може бути створена система збереження та каталогізації, веб-інтерфейс доступу до даних.

Більшість супутників, що проводять знімання земної поверхні постачають дані не у вигляді кольорового зображення, а у вигляді декількох (інколи декількох десятків) монохромних зображень – по одному на кожний спектральний канал. Це значно збагачує можливості застосування супутникової інформації та методи обробки супутникових зображень.

У таблицях 2 та 3 наведено характеристики сенсорів супутника Landsat 7.

Таблиця 2

Сенсор ETM+

Назва	ETM+ (Enhanced Thematic Mapper)
Тип	Багатоспектральний оптико-механічний скануючий радіометр
Країна	США
Розробник	Raytheon (Hughes) Santa Barbara Remote Sensing
Носій	Landsat 7
Смуга захвату, км	183
Можливість стереоскопічного знімання	ні
Точність геодезичної прив'язки, м	250
Призначення	Багатоцільове знімання загального призначення всієї поверхні Землі
Джерела даних	Global Land Cover Facility USGS Global Visualization Viewer (Glovis) USGS Earth Explorer International Ground Stations

Таблиця 3

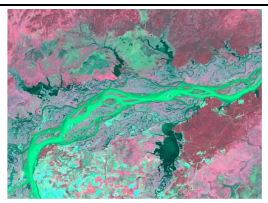
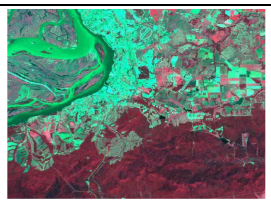
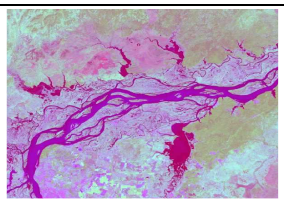
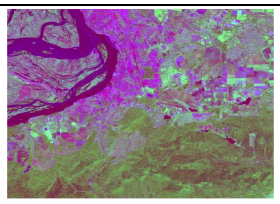
Розрізненість ETM+

Номер каналу	Розрізненість, м	Початок, нм	Кінець, нм
1	30	450	515
2	30	525	605
3	30	630	690
4	30	760	900
5	30	1550	1750
6	60	10400	12500
7	30	2080	2350
8	15	520	900

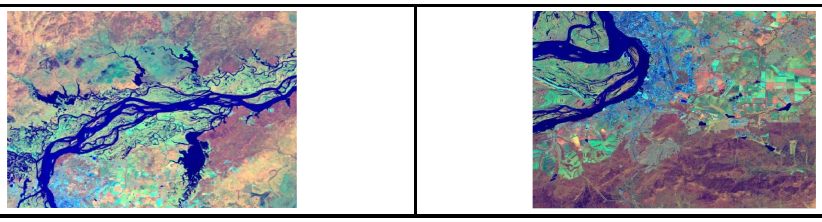
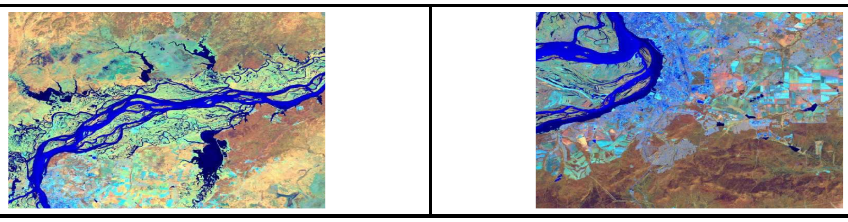
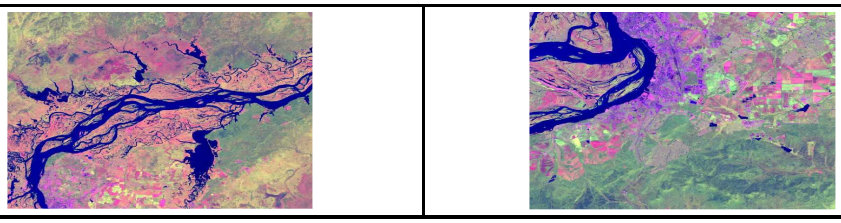
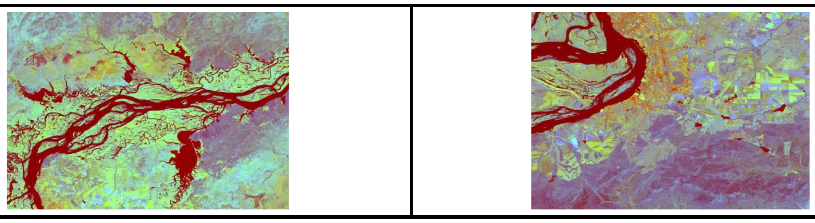
За допомогою характеристик розрізненості можна використовувати як окремі монохромні канали, так і комбінування їх будь-яким чином для отримання найбільш інформативної карти, не обов'язково у «природних» кольорах. У таблиці 4, взятої з [5] наведено інформацію про найбільш корисні комбінації каналів та їх призначення.

Таблиця 4

Інтерпретація комбінацій каналів даних Landsat TM / ETM+ [5]

Комбінація	Можлива інформація
1	**2**
4, 3, 2	Стандартна комбінація «штучні кольори». Рослинність відображається у відтінках червоного, міська забудова – зелено-блакитні, а колір ґрунту варіюється від темно- до світло-коричневого. Лід, сніг і хмари виглядають білими або світло-блакитними (по краях). Хвойні ліси будуть виглядати більш темно-червоними або навіть коричневими в порівнянні з листяними. Ця комбінація дуже популярна й використовується, переважно, для вивчення стану рослинного покриву, моніторингу дренажу й ґрунтової мозаїки, а також для вивчення агрокультур. У цілому, насичені відтінки червоного є індикаторами здорової й (або) широколистої рослинності, у той час як більш світлі відтінки характеризують трав'янисту або рідколісся/чагарникову рослинність
	Приклади (4, 3, 2)
	 
7, 4, 2	Ця комбінація дає зображення близьке до природних кольорів, але в той же час дозволяє аналізувати стан атмосфери й дим. Здорова рослинність виглядає яскраво-зеленою, рослинні співтовариства – зеленими, яскраво-рожеві ділянки детектують відкритий ґрунт, коричневі й жовтогарячі тони характерні для розрідженої рослинності. Сухостійна рослинність виглядає жовтогарячою, вода – блакитною. Пісок, ґрунт і мінерали можуть бути представлені більшим числом кольорів і відтінків. Може бути використана для вивчення сільськогосподарських земель і водно-болотних угідь. Міська забудова відображається у відтінках рожево-фіолетового, рослинні співтовариства – зеленими й світло-зеленими. Світло-зелені крапки всередині міських територій можуть бути парками, садами. Маслиново-зелений колір характерний для лісових масивів, а більш темний колір є індикатором домішок хвойних порід
	Приклади (7, 4, 2)
	 

Продовження таблиці 4

<table>
<tr><th>1</th><th>2</th></tr>
<tr><td rowspan="3">4, 5, 1</td><td>Здорова рослинність відображається у відтінках червоного, коричневого, жовтогарячого й зеленого. Ґрунти можуть виглядати зеленими або коричневими, урбанізовані території – білястими, сірими й зелено-блакитними, яскраво-блакитний колір може детектувати недавно вирубані території, а червонуваті – відновлення рослинності або розріджену рослинність. Чиста, глибока вода буде виглядати темно-синьою, майже чорною, якщо ж це мілководдя або у воді утримується велика кількість суспензій, то в кольорі будуть переважати більш світло-сині відтінки. Додавання середнього інфрачервоного каналу дозволяє домогтися гарного розрізнення віку рослинності. Здорова рослинність дає дуже сильне відбиття в 4 й 5 каналах. Ця комбінація малопридатна для детектування доріг і шосе</td></tr>
<tr><td>Приклади (4, 5, 1)</td></tr>
<tr><td>  </td></tr>
<tr><td rowspan="3">4, 5, 3</td><td>Ця комбінація ближнього, середнього ІЧ і червоного видимого каналів дозволяє розрізнити межу між водою й сушею й підкреслити сховані деталі погано видимі під час використання тільки каналів видимого діапазону. З великою точністю будуть детектуватись водні об’єкти всередині суші. Ця комбінація відображає рослинність у різних відтінках і тонах коричневого, зеленого й жовтогарячого, також дає можливість аналізу вологості й корисна під час вивчення ґрунтів і рослинного покриву. У цілому, чим вища вологість ґрунтів, тим темніше вона буде виглядати, що обумовлено поглинанням водою випромінювання ІЧ діапазону</td></tr>
<tr><td>Приклади (4, 5, 3)</td></tr>
<tr><td>  </td></tr>
<tr><td rowspan="3">5, 4, 1</td><td>Комбінація схожа на 7-4-2, здорова рослинність виглядає яскраво-зеленою, за винятком того, що ця комбінація краще для аналізу сільськогосподарських культур</td></tr>
<tr><td>Приклади (5, 4, 1)</td></tr>
<tr><td>  </td></tr>
<tr><td rowspan="3">7, 5, 4</td><td>Ця комбінація не включає жодного каналу з видимого діапазону і забезпечує оптимальний аналіз стану атмосфери. Берегові лінії чітко помітні. Може бути використаний для аналізу текстури й вологості ґрунтів. Рослинність виглядає блакитною</td></tr>
<tr><td>Приклади (7, 5, 4)</td></tr>
<tr><td>  </td></tr>
</table>

Висновки дослідження. Для ефективного агроекологічного моніторингу, на нашу думку, найбільш прийнятними є знімальні системи Landsat-TM/ETM+, MODIS, що встановлена на борту супутників Terra та Aqua і яка дозволяє отримувати багатоспектральні знімки земної поверхні до 10-12 разів на добу з просторовою розрізненістю 1,1×1,1 км. Така розрізненість повністю задовольняє вимоги щодо агроекологічного моніторингу. Варто зазначити, що для роботи з системою Landsat-TM/ETM+ потрібно обрати необхідну комбінацію спектральних каналів. У системі агроекологічного моніторингу дослідження проводитимуться, переважно, по комбінаціях каналів 4, 3, 2 – для аналізу стану рослинного покриву, моніторингу дренажу, ґрунтової мозаїки та вивчення агрокультур; 7, 4, 2, і 5, 4, 1 – що можуть бути використані для вивчення с.-г. земель і аналізу с.-г. культур, а також можливе залучення у роботі комбінації каналів 7, 5, 4 – що використовуватиметься для аналізу текстури і вологості ґрунтового покриву [5]. Для роботи з даними систем Landsat-TM/ETM+ і MODIS може бути використана методика [2] і [6]. Застосування таких методик дозволяє зберігати понад 12 Тб вихідних даних. Дані зберігаються на касетах DLT і на жорстких дисках. Цим забезпечується прийнятна вартість носіїв інформації й швидкість отримання даних з архіву. Система збереження також здійснюватиме архівацію й каталогізацію продуктів, отримуваних після попередньої обробки супутникових даних.

Список використаних джерел

1. Архів даних MODIS NASA –MODIS Rapid Response [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/realtime/2011061/.

2. Бурцев М. А. Построение архива спутниковых данных для анализа динамики растительности / М. А. Бурцев, А. А. Мазуров, И. А. Нейштадт [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: сб. науч. статей / под ред. Е. А. Лупяна, О. Ю. Лавровой. – М.: Азбука-2000, 2006. – Т. 1. – С. 170-174.

3. Зацерковний В. І. Використання геоінформаційних технологій в аналізі ґрунтового покриву / В. І. Зацерковний, С. В. Кривоберець, Ю. С. Сімакін // Інженерна геодезія. – К.: КНУБА, 2010. – № 56. – С. 162-168.

4. Зацерковний В. І. Обґрунтування вибору знімальної системи для моніторингу агроресурсів / В. І. Зацерковний, С. В. Кривоберець // Вісник Тернопільського національного технічного університету: науковий журнал. – Тернопіль: ТНТУ, 2011. – Том 16. № 2. – С. 139-149.

5. Интерпретация комбинаций каналов данных Landsat TM/ETM+ [Электронный ресурс]. – Режим доступу: http://gis-lab.info/qa/landsat-bandcomb.html.

6. Кривоберець С. В. Методи і алгоритми багатокористувацької обробки розподіленої просторової інформації на основі технологій геопорталів / С. В. Кривоберець, Ю. С. Сімакін // Вісник ЧДТУ: збірник. Серія «Технічні науки». – Чернігів: ЧДТУ, 2010. – № 42. – С. 213-221.

7. Можливості центру прийому й обробки спеціальної інформації та контролю навігаційного поля щодо надання інформації дистанційного зондування землі та співпраця у вирішенні проблем Донеччини [Електронний ресурс] / О. М. Глущенко, О. О. Ремпель, В. М. Стасюк, С. Д. Скубко. – Режим доступу: http://www.pryroda.gov.ua/ua/index.php?newsid=888.

8. Основи методології моніторингу агроресурсів та прогнозування врожайності сільськогосподарських культур за проектом MARS / В. Кравчук, Н. Сердюченко, О. Ковтуненко [та ін.] // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: зб. наук. пр. / Український науково-дослідний інститут прогнозування та випробування техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва імені Леоніда Погорілого (УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого). – Дослідницьке, 2009. – Вип. 13 (27). Кн. 2. – С. 3-14.

9. Програма GLCF Університету Меріленд [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp.

10. Huete, A., Justice C., and van Leeuwen W. Modis vegetation index (MOD 13) algorithm theoretical basis document. Version 3, 1999, 129 p. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http:// modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13. pdf.

УДК 621.391

Л.Л. Бортнік, ад'юнкт Військового інституту телекомунікацій та інформатизації
Національний технічний університет України „КПІ", м. Київ, Україна

МЕТОД ОБРОБКИ ШИРОКОСМУГОВИХ СИГНАЛІВ ПІД ЧАС ВПЛИВУ НЕГАУСІВСЬКИХ ЗАВАД

У роботі запропонований метод демодуляції широкосмугових сигналів у системах радіозв'язку з кодовим розділенням сигналів, які функціонують в умовах негаусівських завад. Метод забезпечує підвищення завадостійкості мобільних CDMA-систем у негаусівських каналах.

Вступ. У сучасних системах радіозв'язку широке застосування знаходить метод багатостанційного доступу з кодовим розділенням сигналів (CDMA – Code-Division Multiple Access). У таких системах передача інформації різними абонентами здійснюється сигналами, які перекриваються за спектром і в часі, але розрізняються за формою [1-5].

Ефективність систем радіозв'язку CDMA обмежена рядом факторів, основними з яких є вплив природних та навмисних завад, нестійкість і різноманіття ймовірнісних розподілів завадового комплексу, нестаціонарність каналу, випадкові флуктуації комплексних множників каналу, завмирання радіосигналів тощо.

Реальна ефективність CDMA-систем з негаусівськими каналами багато в чому визначається досяжними характеристиками завадостійкості, системної ємності та обчислювальній складності алгоритмів і пристроїв спільної обробки сигналів у складному завадовому комплексі, характерному для сучасних CDMA-систем.

Аналіз досліджень і публікацій. Дефіцит частотного, енергетичного та просторового ресурсу радіоканалів, а також особливості завадового комплексу CDMA-систем вимагають використання адекватних моделей імовірнісного опису реальних негаусівських завад, що забезпечують розробку і впровадження нових алгоритмічних та технічних рішень, спрямованих на підвищення ефективності CDMA-систем в інтересах надійної передачі інтегрального пакетного трафіку в складних і мінливих умовах інформаційної взаємодії користувачів.

Відомі методи підвищення ефективності функціонування CDMA-систем [2; 6-10] одержані для випадку передачі інформації по гаусівському каналу без пам'яті. Наявність у каналі селективних завмирань і навмисних завад не дозволяє при прийнятній складності реалізації відомих алгоритмів передачі дискретних повідомлень досягти тієї ж ефективності використання реальних каналів зв'язку, що й ідеального гаусівського півнеперервного каналу.

Формулювання цілей статті. *Метою* роботи є розробка методу обробки сигналів у системі CDMA, який дозволить підвищити завадостійкість і ємність системи під час впливу негаусівських завад.

Виклад основного матеріалу статті. У загальному випадку, у рамках багатопроменевої моделі каналу CDMA-системи, прийнятий на вході базової станції груповий сигнал має вигляд [2]:

$$Z(t)=\sum_{n=1}^{N}\sum_{l=1}^{L}\sum_{i=1}^{I}\dot{\mu}_{nl}(t)\dot{a}_{nl}c_{nl}^{(i)}\dot{A}_{nl}(t-i\tau_{\text{c}}-\tau_{nl})+B_{\text{з}}(t)+B_0(t), \qquad (1)$$

де N – кількість активних абонентів; L – кількість променів сигналу в багатопроменевому каналі зв'язку; $\dot{\mu}_{nl}(t)$ – комплексний канальний коефіцієнт, що відображує процеси завмирання сигналу на l-й траєкторії; $\tau_{\text{c}} = W\tau_0$ – тривалість інформаційного символу $c_{nl}^{(i)}$; τ_0 – тривалість елемента інформаційного символу; W – база широкосмугового сигналу; $\dot{A}_{nl}(t-i\tau_{\text{c}}-\tau_{nl})$ – сигнальна послідовність n-го користувача, що відпо-

відає *i*-му інформаційному символу із затримкою τ_{nl}; $\dot{a}_{nl}$ – комплексна амплітуда *l*-го променю; $B_з(t)$ – негаусівська випадкова завада, $B_0(t)$ – адитивний білий гаусівський шум (АБГШ).

У рамках поданої моделі кожний *n*-й абонент, $n \in \{1, 2, \ldots N\}$ у довільні моменти часу, передає на *i*-й позиції комплексний інформаційний символ $c_{nl}^{(i)}(t) = c_n(t) \in \{-1;+1\}^{NI}$, $(i - 1)\tau_c < t \le i\tau_c$ де I – довжина протокольного блоку даних, що передається радіоканалом. Дискретна модель групового сигналу може бути подана у вигляді:

$$\tilde{Z} = \mathrm{A}_{\mathrm{ac}} + B_з + B_o, \tag{2}$$

де A – вектор комплексних інформаційних символів сигналів користувачів, а – матриця комплексних амплітуд сигналів користувачів, с – матриця користувальницьких сигнальних векторів, узятих для кожного символу. Рішення про оцінку компонентів вектора прийнятих інформаційних символах користувачів виноситься на основі мінімуму метрики:

$$\hat{c}_n = \arg \min_{c \in \{-1;+1\}^N} d^2(\tilde{Z}, A_n), \tag{3}$$

де $\tilde{Z}, A_n$ – векторні еквіваленти прийнятого і переданого сигналу. Вектор первісних статистик, що обчислюють у *n*-х каналах кореляційного приймача, визначається, як:

$$x = \rho ac + \tilde{B}_0, \tag{4}$$

де ρ – матриця взаємної кореляції сигнатурних сигналів; $\tilde{B}_0$ – вектор гаусівського шуму з кореляційною матрицею $\sigma^2 \rho$; σ – дисперсія шуму. Відповідно, для довільного *i*-го бітового інтервалу проміжна статистика визначається у вигляді:

$$x_n^{(i)} = \left\langle \tilde{Z}, A_n \right\rangle_n^{(i)} = a_n^{(i)} c_n^{(i)} + \sum_{n \ne l}^{N} \sum_{i=0}^{I-1} a_l^{(i)} c_l^{(i)} \rho_{n,l}^{(i)} + \sigma B_n^{(i)}, \tag{5}$$

де другий доданок відображує внесок сигналів користувачів у каналі.

Оптимальна за критерієм максимальної правдоподібності оцінка € відповідає мінімальній нормі і максимізує функцію правдоподібності вибірки:

$$\hat{n} = \arg \max_{c \in \{-1;+1\}^N} \left\{ 2c^T x - c^T H c \right\}, \tag{6}$$

де $H = \{h_{ln} = \rho_{ln} a_l a_n\}$ – матриця, обумовлена взаємними кореляціями сигналів користувачів та їх комплексних амплітуд. Прийняттю рішень про символи передують оцінка інтенсивностей та інших неінформативних параметрів абонентських сигналів, які обчислюються блоком оцінки стану каналу зв'язку із заданою точністю.

Для підвищення ефективності роботи CDMA-систем у негаусівських каналах розроблений адаптивний метод багатоабонентського розділення широкосмугових сигналів, заснований на комбінованих рішеннях паралельного відсікання негаусівських завад з інкапсульованими процедурами адаптивної обробки сигналів і поканальної демодуляції-декодування на кожній ітерації.

У процесі роботи приймача на кожній стадії відсікання завад у кожному каналі рекурентно формується множина нових оцінок статистик у вигляді:

$$x = ac + \rho a(c - \hat{c}) + \tilde{B}_0, \tag{7}$$

або в більш загальному вигляді для *j*-го каскаду:

$$(j) = \frac{\left(\mathrm{J} - (\mathrm{J} - \rho)^{j+1}\right)\mathrm{x}}{\rho}. \tag{8}$$

Процес триває доти, поки всі передані інформаційні послідовності не будуть коректно демодульовані. У результаті вирахування оцінок негаусівських завад у кожному з каналів на (j + 1)-й стадії утворяться уточнені значення „очищеного" групового сигналу:

$$Z^{j+1} = \tilde{Z} - \sum_{n=1, n\neq l}^{N} A_l \mathrm{a}_l \hat{c}_l^j . \qquad (9)$$

Таким чином, принцип роботи алгоритму полягає в ітеративному формуванні на приймальному боці самостійних незалежних оцінок завад для кожного абонента для того, щоб відняти всі або деякі з них із прийнятого групового сигналу.

Для оцінки ефективності запропонованого методу у зазначених умовах виконане статистичне моделювання основних методів обробки сигналів у каналах з негаусівськими завадами. У процесі моделювання використовувалося квазикогерентне приймання сигналів з фазовою маніпуляцією у трипроменевому зворотному каналі з негаусівською завадою. Затримки променів вважаються відомими. Застосовувалось згорточне кодування зі швидкістю 1/2.

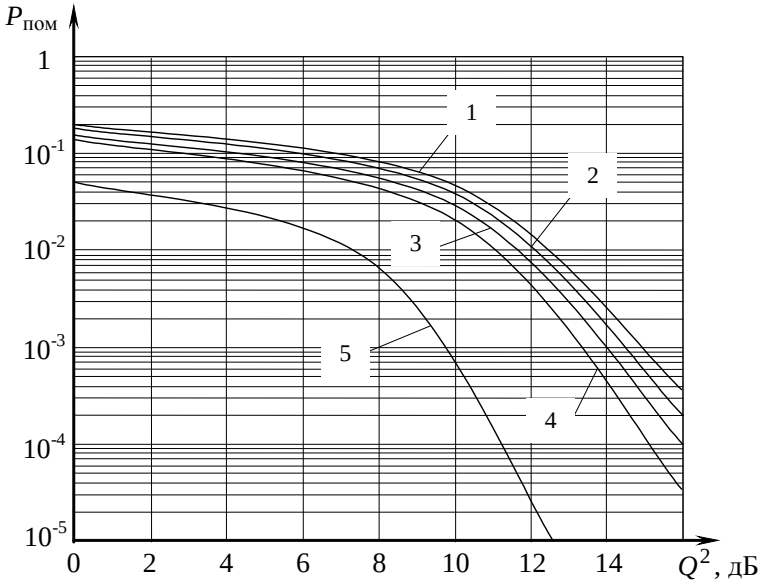


Рис. 1. Завадостійкість методів обробки сигналів у каналах з негаусівськими завадами

На рис. 1 зображено залежності ймовірності помилкового приймання сигналів $P_{пом}$ від відношення сигнал/завада Q^2 для різних методів обробки сигналів (крива 1 – традиційне детектування, 2 – метод приймання з мінімальною середньоквадратичною помилкою, 3 – метод приймання з послідовним подавленням завад, 4 – метод приймання з паралельним подавленням завад, 5 – запропонований у роботі метод).

Висновки. Отже, як видно з графіків, розроблений метод обробки сигналів забезпечує найкращі характеристики приймання в негаусівському каналі. Виграш у завадостійкості для ідентичних значень бітової помилки 10^{-3} і рівної спектральної ефективності становить 3-4 дБ.

Запропонований метод може бути застосований в адаптивних засобах радіозв'язку при реалізації механізму захисту від природних і навмисних завад.

Список використаних джерел

1. Невдяев Л. М. Мобильная связь 3-го поколения / Л. М. Невдяев. – М., 2000. – 208 с. – (Серия изданий «Связь и бизнес»).

2. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В. М. Вишневский, А. И. Ляхов, С. Л. Портной, И. В. Шахнович. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.

3. Григорьев В. А. Сети и системы радиодоступа / В. А. Григорьев, О. И. Лагутенко, Ю. А. Распаев. – М.: Око-Трендз, 2005. – 384 с.

4. Волков Л. Н. Системы цифровой радиосвязи: базовые методы и характеристики: учебное пособие / Л. Н. Волков, М. С. Немировский, Ю. С. Шинаков. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 392 с.

5. Теорія електричного зв'язку. Ч. 1: Основи теорії сигналів та розподілу інформації: підручник / О. В. Кувшинов, С. П. Лівенцев, О. П. Лежнюк [та ін.]. – К.: ВІТІ НТУУ „КПІ", 2008. – 331 с.

6. Кувшинов О. В. Аналіз способів підвищення ефективності систем рухомого радіозв'язку з кодовим розділенням сигналів / О. В. Кувшинов, С. П. Лівенцев // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ "КПІ". – 2004. – Вип. № 3. – С. 91-96.

7. Ільченко М. Ю. Телекомунікаційні системи широкосмугового радіодоступу / М. Ю. Ільченко, С. О. Кравчук. – К.: Наукова думка, 2009. – 312 с.

8. Wilton A. Deploying Wireless Networks / Wilton A., Charity T. – Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, Sao Paulo: Cambridge University Press, 2008. – 380 p.

9. Голдсмит А. Беспроводные коммуникации / А. Голдсмит. – М.: Техносфера, 2011. – 904 с.

10. IEEE Std 802.16f-2005: IEEE standard for local and metropolitan area networks. Part 16: air interface for fixed broadband wireless access systems. Amendment 1: management information base (Amendment to IEEE Std 802.16-2004). – New York: IEEE-SA Standards Board, 2005. – 257 p.

УДК 004.99:519.237

Е.В. Петров, магистр
С.А. Нестеренко, канд. техн. наук
Черниговский государственный технологический университет, г.Чернигов, Украина

ПОВЫШЕНИЕ СЕКРЕТНОСТИ СТЕГАНОГРАФИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В ИНТЕРНЕТ-ПОТОКЕ

Сформулировано основные причины, позволяющие по характеристикам интернет-потока, управляемого протоколом TCP, обнаружить факт передачи стегосообщения. Предложено модификация протокола передачи стегосообщения, способная нивелировать проявление упомянутых выше особенностей передачи, и, таким образом, повысить ее секретность.

Сформульовано основні причини, які дозволяють за характеристиками інтернет-потоку, керованого протоколом TCP, виявити факт передачі стегоповідомлення. Запропоновано модифікацію протоколу передачі стегоповідомлення, яка здатна нівелювати прояв згаданих вище особливостей передачі, і, таким чином, підвищити її секретність.

In the paper present the basic reasons which allow to detect the fact of stego message transmitting by analysis the statistical flow characteristics of Internet stream driven by TCP protocol. A modification of the transmission protocol which can reverse the expression of the above-mentioned singularities of transmission, and thus, increase the secrecy of the transfer is proposed.

Постановка проблемы. Предметом данной статьи является один из аспектов информационной безопасности, то есть такого состояния информационной системы, при котором обеспечивается сохранность, целостность и необходимая недоступность данных в ней [4].

Задача защиты информации от несанкционированного доступа является неизменно актуальной во многих областях человеческой деятельности: военном деле, государственном управлении, медицине, обеспечении конституционных прав граждан и т. п. Исторически выделились два основных направления решения этой задачи, существующие и по сегодняшний день: криптография и стеганография. Целью криптографии является скрытие содержимого наблюдаемых сообщений за счет их шифрования. В отличие от неё, при стеганографии скрывается не только содержание передаваемого секретного сообщения, но и сам факт его существования или передачи [3]. Назовем это требование «С-принципом».

Сегодня доминируют криптографические методы защиты информации, они весьма совершенны и их множество. Что касается стеганографии, то она развивалась значитель-

но медленнее. Значительный импульс ее развитию дала переживаемая в настоящий исторический период очередная технологическая революция, связанная с информатизацией всех сторон жизни общества. Уменьшается значимость многих традиционных способов и технологий коммуникации. К числу таковых можно отнести традиционную проводную телефонию, эфирное и кабельное телевизионное, радиовещание, а также обычную почту. Новые подходы в защите информации имеют в своей основе тот фундаментальный факт, что вся передаваемая и получаемая информация представляется в цифровом виде. Появилась возможность встраивать стеганографические сообщения в цифровые данные, которые изначально имели аналоговую природу – это речь, аудиозаписи, изображения, видео. Известны [1] также предложения по встраиванию информации в текстовые файлы и в исполняемые файлы программ. Нельзя не отметить также тот факт, что в настоящее время в ряде стран мира были введены законодательные ограничения на использование средств криптографии. С другой стороны, обострение борьбы за правовую охрану интеллектуальной собственности создает повышенный интерес к стеганографии, стимулирует исследования в области «водяных знаков» и т. п.

Учитывая быстрый рост коммуникаций через Интернет, которые все больше и больше начинают заменять собой все прочие, особый интерес представляют способы передачи стеганограмм в интернет-потоке данных. Учитывая потребность в соблюдении С-принципа, представляется перспективным применять для этого приемы, основанные на управлении количественными параметрами основного протокола интернет-коммуникаций, а именно – TCP (Transmission Control Protocol- протокола управления передачей).

Анализ исследований и публикаций. В работе А.Т. Алиева и А. Н. Щербакова [1] рассмотрен метод лингвистической стеганографии, основанный на синонимичной замене с учетом контекста. В предлагаемом там методе используется ограниченный словарь синонимов и специальная база контекстно-зависимого употребления слов, использование которой позволяет значительно снизить вероятность серьезного искажения структуры и смысла исходного текста.

В [2] рассматриваются основные принципы компьютерной стеганографии и области её применения, делается обзор известных стеганографических методов и приводятся сравнительные характеристики некоторых из них.

В статье W.Mazurczyk, M.Smolarczyk, и K.Szczypiorski [7] представлен метод стеганографии, названный авторами ретрансляционной стеганографией (RSTEG). Этот метод предназначен для широкого класса протоколов, в которых используется ретрансляция пакетов. Главное нововведение RSTEG в том, что для достижения целей передачи стегосообщения производится повторная передача части кадров. В статье также приводятся результаты моделирования, которые позволяют сравнить стеганографическую пропускную способность предложенного метода для различных механизмов ретрансляции, используемых в TCP.

Гендель и др. [8] описали метод стеганографии, который использует механизм повторной передачи после коллизии кадров. Если произошла коллизия кадров, то выдается сигнал, и отправителю возвращается кадр за определенный промежуток времени. Для отправки одного скрытого бита, инициализируются задержки различной длительности. Приемник извлекает стегоинформацию, анализируя порядок кадров прибытия после коллизии кадров.

Кратцер и др. [9] предложили метод стеганографии для стандартов связи группы IEEE 802.11, который передает скрытую информации с помощью ретрансляции кадров. Отправитель кодирует скрытые данные путем дублирования кадров, передаваемых приемнику. Приемник декодирует скрытые данные путем обнаружения дублирования.

В работах, описанных выше, есть ряд моментов, требующих дополнительного изучения и углубленной проработки для практического создания систем на основе описанных там алгоритмов. Например, в этих работах в качестве основы алгоритма часто используется ретрансмиссия – повторная передача кадров, вызванная либо тайм-аутом (кадр был послан, но за определенное время не дошел до адресата), либо адресатом. Ретрансмиссия является рутинной процедурой для протокола TCP, но при анализе трафика чрезмерная ретрансмиссия вызывает подозрение, и это приводит к обнаружению самого факта передачи, что нарушает постулированный выше С-принцип стеганографии. Поэтому необходимо учитывать количество передаваемой скрытой информации, которое в сообщении не может превышать некую предельную величину. Вместе с тем, ретрансмиссия может вызываться и естественными причинами, что усложняет алгоритм работы приемника сообщения в декодировании последнего. Чтобы вызвать ретранмиссию, необходимо программное вмешательство в работу сетевого контролера. Этот факт сразу указывает на специфичность программы, потому что необходимо либо применять специальный драйвер для сетевого контролера, либо создавать специальный программный модуль для контроля его работы. В закрытых операционных системах, подобных Microsoft Windows, этого достичь сложно. Очевидно также, что такая программа перестает быть кроссплатформенной и универсальной, что можно считать недостатком.

Наибольший интерес для нас представляет статья В.В. Орлова и А.П Алексеева [5], в которой рассматриваются принципы организации стеганографической системы (далее – «стегосистемы») в сети передачи данных на основе протоколов сетевого уровня. Предлагаемый метод скрытой передачи информации заключается в изменении длины сегмента таким образом, чтобы значение длины данных (число передаваемых символов), переносимых сегментом, содержало в себе информацию о секретном тексте. Коды символов секретного текста кодируются здесь значением длины данных, передаваемых очередным сегментом (L-кодирование). Часто для усиления защиты информации поверх стеганографии дополнительно используют еще и криптографию.

В качестве недостатка, описанного в [5] алгоритма, можно отметить то, что он ориентирован на кодирование только символов в кодировке ASCII, в силу чего им можно секретно передавать только текстовые сообщения. Кроме этого, чем больше по объему будут передаваемые скрытые сообщения, тем медленнее будет работать стеганографический алгоритм.

Цель статьи. Целью работы является анализ демаскирующих признаков стеганографической передачи информации в интернет-потоке и формирование приемов нивелирования их проявлений для повышения секретности канала передачи информации.

Реализация стегосистемы, использующей L-кодирование. Нами был реализован стеганографический алгоритм передачи секретных сообщений, в общих чертах подобный [5], но конкретизированный применением протокола TCP и расширенный введением дополнительной возможности передавать в потоке не только символы в кодировке ACSII, но также байты любого допустимого значения. Для данного алгоритма протокол TCP был выбран потому, что в отличие от UDP (User Datagram Protocol) он, во-первых, гарантирует целостность передаваемых данных и, во-вторых, в нем предусмотрено уведомление отправителя о результатах передачи.

Рассмотрим формат заголовка сегмента TCP и отметим важные поля для стегоалгоритма (табл. 1). Смещение данных определяет размер заголовка пакета TCP в 4-байтных (4-октетных) словах. Минимальный размер составляет 5 слов, а максимальный – 15, что составляет 20 и 60 байт соответственно. Смещение считается от начала заголовка TCP. Флаги – это поле содержит 6 битовых флагов, для данного алгоритма важен флаг со

смещением 2 PSH (Push function), который инструктирует отправителя вытолкнуть данные, накопившиеся в приемном буфере, в интернет-поток для передачи получателю.

Проиллюстрируем работу алгоритма на конкретном примере. Предположим, что секретное сообщение храниться в текстовом файле msg.txt, содержимое которого есть текст «Hello». Передаваемый файл, при помощи которого мы будем посылать скрытое сообщение, пусть называется File.txt, при этом содержимое файла может быть любым. Оба файла открываются для чтения, из msg.txt читаем первый байт, это символ «H», ASCII-код 72.

Таблиця 1

Заголовок сегмента TCP

Бит	**0–3**	**4–9**	**10–15**	**16–31**
0	Порт источника			Порт назначения
32	Номер последовательности			
64	Номер подтверждения			
96	Смещение данных	Зарезервировано	Флаги	Размер окна
128	Контрольная сумма			Указатель важности
160	Опции			
160/192	Данные			

Сервером передачи формируется TCP-сегмент, который должен перенести пользовательские (открытые, не содержащие секретных сведений) данные. Но длина сегмента передаваемых открытых данных делается равной значению ASCII-кода скрытно передаваемого байта. Поэтому в данном конкретном случае для передачи формируется блок открытых данных длиной именно 72 октета. Для этого побайтно считывается передаваемый файл File.txt во временный буфер. Как только объем буфера будет равен значению байта в секретном сообщении, информация в буфере отправляется принимающей стороне. Далее буфер очищается и описанные действия повторяются для следующего символа в секретном сообщении.

На принимающей стороне для извлечения скрытого символа требуется вычислить длину данных, переносимых TCP-сегментом. Для извлечения информации из общей длины IP-дейтаграммы (поле Total Length) вычитается длина IP-заголовка $112 - 5 \cdot 4 = 92$ байт. Из полученного значения общей длины TCP-сегмента вычитается значение смещения данных (поле Data Offset) $92 - 5 \cdot 4 = 72$ байт. Полученное значение длины открытого текста трактуется как значение байта принятого секретного файла, в данном случае – кода символа «H».

В соответствии с описанием RFC 793 [11], данные пользователя, подготовленные для передачи по сети, должны накапливаться в буфере. Когда буфер заполняется, происходит отправка подготовленного таким образом сегмента данных адресату, но при этом очевидно, что пользователь лишен возможности управлять длиной упомянутого сегмента. Однако спецификация протокола TCP [10] допускает возможность выталкивания сегмента в сеть путем управления флагом проталкивания PSH. Действительно, если в заголовке TCP-сегмента выставлен флаг PSH, то программа TCP должна немедленно отправить все имеющиеся в буфере данные. Аналогично, на удаленной стороне программа-обработчик TCP, встретив флаг проталкивания, должна передать принятые в буфер приема данные программам протоколов верхних уровней.

Даже поверхностный анализ данного алгоритма показывает, что он обеспечивает передачу одного L-закодированного байта стегосообщения путем передачи в среднем 100-200 байтов основного потока. Этот факт следует оценивать двояко. С одной стороны, это говорит о невысокой скорости передачи, но, с другой стороны, это положительно характеризует эту технологию как высоко скрытную. Поэтому при разработке критериев оценки эффективности этой технологии необходимо учитывать обе стороны этого вопроса.

Описанный алгоритм в практических испытаниях показал вполне устойчивую работу, но при этом проявился дополнительный нежелательный эффект, демаскирующий факт передачи стегосообщения, что является нарушением постулированного выше С-принципа.

Поясним суть обнаружившегося эффекта. Как было описано выше, во время работы программы, которая просто передает данные, размер TCP-сегментов чаще всего составляет 16384 байт, что обусловлено логикой функционирования TCP-стека [11]. В то же время, при передаче стегосообщений размер TCP-сегментов не может превысить максимальное для байта значение 255, а при передаче текстовой информации он еще меньше, порядка 100. В случае перехвата злоумышленником интернет-потока, направляемого получателю, будет заметно изменение в статистическом распределении размера TCP-сегментов. На рис. 1 и 2 показаны типичные распределения для двух случаев:

- когда стегосообщение передается (рис. 1);
- когда стегосообщение не передается (рис. 2).

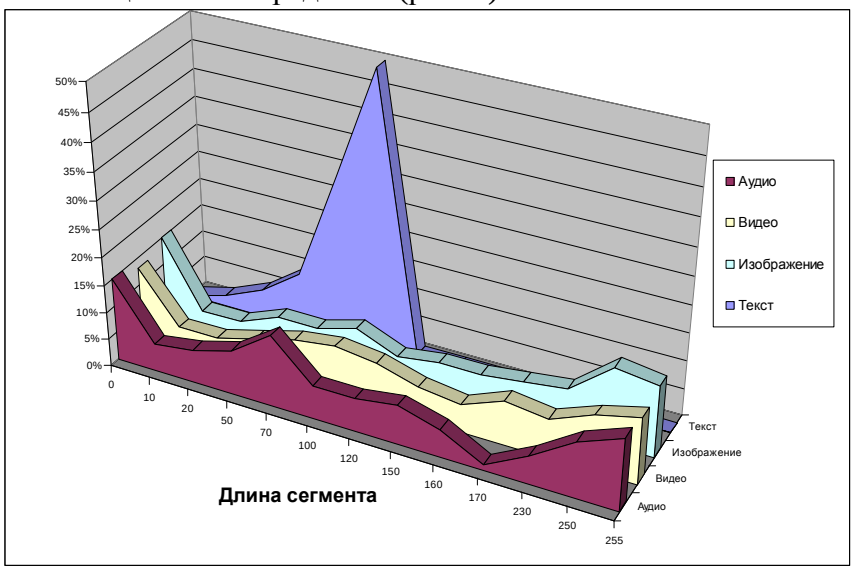


Рис. 1. Статистическое распределение длин TCP- сегментов при передаче стегосообщений различного типа

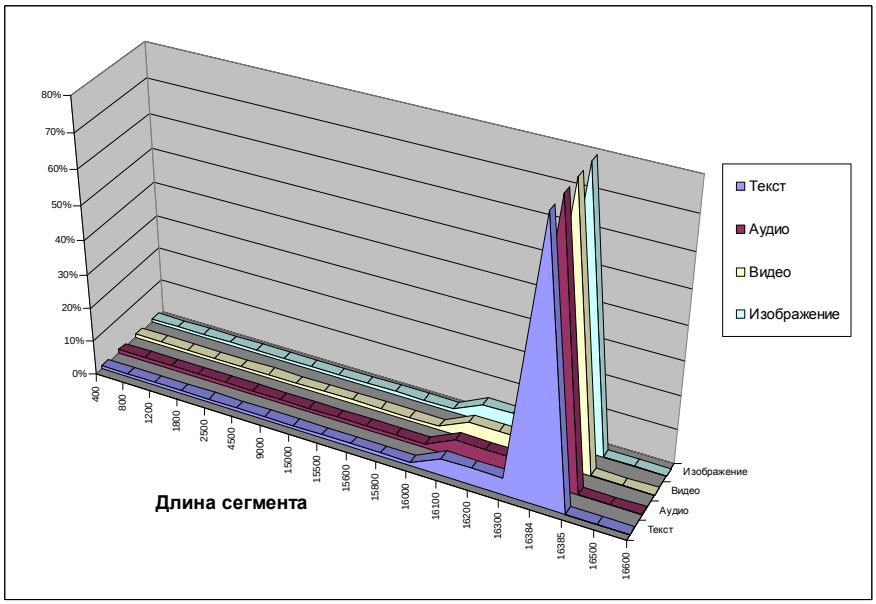


Рис. 2. Статистическое распределение длин TCP- сегментов при передаче обычных данных, без передачи стегосообщений

Это явление является демаскирующим и нарушает С-принцип стегостойкости системы. В связи с этим была предпринята попытка модернизировать алгоритм с целью изменить статистическое распределение длин TCP-сегментов при передаче стегосообщений в сторону максимального его приближения к таковому при отсутствии передачи.

Для этого было предпринято объединение блоков информации передаваемого файла в TCP-сегмент таким образом, чтобы его размер был как можно ближе к максимальному значению 16384. Поскольку в этом случае физический TCP-сегмент представляет собой объединение нескольких логических, возникла проблема выделения последних. Эта проблема была решена введением специальных разделителей логических субсегментов в общую последовательность байтов сегмента. Внешне статистическое распределение длин физических сегментов стало практически неотличимым от такового для случая отсутствия передачи, но потенциально демаскирующим теперь стало присутствие внутри физического сегмента разделителей. Учитывая тот факт, что отправитель и получатель могут динамически менять формат этих разделителей по заранее согласованным правилам, этой опасностью нарушения С-принципа можно пренебречь.

Результаты модификации алгоритма представлены на рис. 3:

а) статистическое распределение размера TCP-сегментов при передаче стегосообщения по модифицированному стегоалгоритму;

б) статистическое распределение размера TCP-сегментов при передаче основного интернет-потока без передачи стегосообщения.

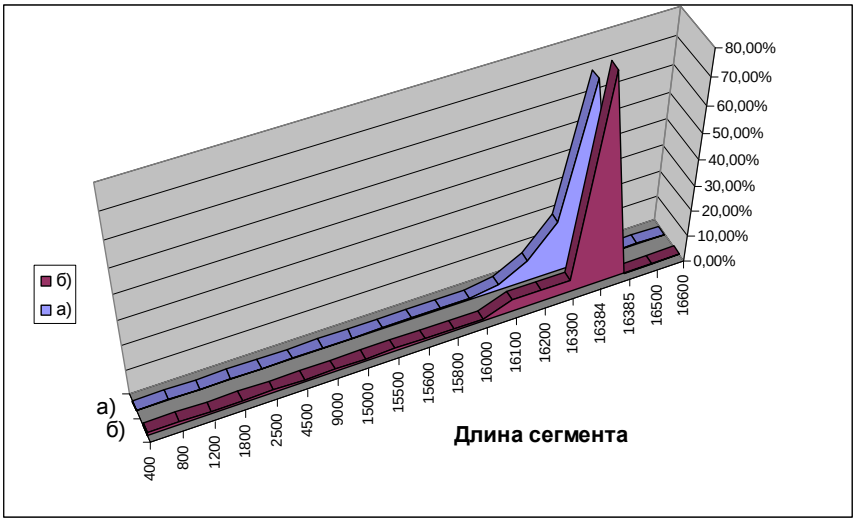


Рис. 3. Сравнение статистических распределений TCP-сегментов по их размеру при передаче стегосообщений по модифицированному алгоритму (а) и при обычной передаче потока без стегосообщений (б)

Выводы.

1. Управление числовыми параметрами процесса передачи данных в интернет-потоке под управлением протокола TCP следует признать перспективным методом стеганографии, имеющим практическую ценность.

2. Проявляющийся при этом демаскирующий эффект изменения статистического распределения длин TCP-сегментов может быть нивелирован применением объединения нескольких логических субсегментов в один физический.

3. Дальнейшее развитие работы возможно в сторону усовершенствования стеганографического алгоритма, алгоритма разбиения на фрагменты, использования криптографических методов, а также в направлении использования других характеристик протокола TCP для скрытой передачи данных.

Список использованных источников

1. Алиев А.Т. Стеганографический метод синонимичных преобразований открытого текста с учетом контекста / А.Т. Алиев, А. Н. Щербакова // Материалы III Международной научно-практической конференции / под общей ред. О. Н. Жданова, В. В. Золотарева; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2009. – 144 с.

2. Барсуков В. С. Компьютерная стеганография вчера, сегодня, завтра. Технологии информационной безопасности 21 века / В. С. Барсуков // Специальная техника. – 1998. – № 4-5.

3. Грибунин В. Г. Цифровая стеганография / В. Г. Грибунин [и др.]. – М.: СОЛОН-Пресс, 2002. – С. 2.

4. Информационная безопасность [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki.

5. Орлов В. В. Активная стеганография в сетях TCP/IP / В. В. Орлов, А. П. Алексеев // Инфокоммуникационные технологии. – 2009. – Т. 7. – № 2.

6. Стеганография [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki.

7. Mazurczyk W. Hiding Information in Retransmissions [Электронный ресурс] / Mazurczyk W., Smolarczyk M., Szczypiorski K. – Режим доступа: http://arxiv.org/abs/0905.0363.

8. Handel T., Sandford M. Hiding Data in the OSI Network Model, Proc. 1st International Workshop. Information Hiding, 1996. – P. 23-38.

9. Krätzer C., Dittmann J., Lang A., Kühne T. WLAN Steganography: a First Practical Review, Proc. 8th ACM Multimedia and Security Workshop., September 2006.

10. RFC 791 – Протокол IP (Internet Protocol) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://rfc2.ru/791.rfc.

11. Transmission Control Protocol. Программная спецификация протокола. (RFC 793) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.protocols.ru/files/RFC/rfc-793.pdf.

УДК 004.056.5:004.057.42

О.О. Фатіков, магістрант
В.В. Соломаха, ст. викладач
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ДЕТЕКТУВАННЯ НЕЯВНИХ МЕРЕЖЕВИХ АТАК

У статті розглянуто розробки архітектури комп'ютерної системи детектування й документування мережевих атак з використанням обманних методів.

Вступ. Одним з перспективних напрямків у побудові систем захисту інформації в наш час вважається застосування в системах захисту інформації обманної тактики [1; 2].

Обманна тактика захисту інформації дозволяє відвертати увагу порушників від основних цілей, заманюючи на неправильні інформаційні об'єкти, робити збір інформації щодо приймання, тактики й мотивації зловмисників, здійснювати їхню ідентифікацію й викриття.

Для виконання цих завдань можуть бути використані обманні системи, які називають також неправильними інформаційними системами, імітаторами інформаційних систем або системами-пастками. Основними функціями таких систем є залучення й утримання уваги зловмисників на неправильних інформаційних цілях, введення зловмисників в оману, виявлення й фіксація дій порушників, їх контроль, а також збір і агрегація даних про дії порушників з різних джерел.

Обманні системи являють собою програмно-апаратні засоби забезпечення інформаційної безпеки, що реалізують функції приховання й камуфляжу, що захищаються, інформаційних ресурсів, а також дезінформації порушників [1; 2; 3].

У цей час знаходять застосування два основні способи побудови обманних систем.

Системи, побудовані першим способом, називаються системами з низьким рівнем взаємодії. Ці системи емулюють програмно комп'ютери, операційні системи й сервіси.

Системи другого типа називаються системами з високим рівнем взаємодії. Вони являють собою фізичні сервери або віртуальні машини, з установленими ОС і прикладним програмним забезпеченням, злом якого може становити інтерес для зловмисника (веб-сервіси, СКБД і т. д.).

Кожний з підходів має свої недоліки й свої переваги.

Система з низьким рівнем взаємодії більш надійна, тому що вона не містить у собі реальних сервісів. Однак з цієї ж причини рівень реалізму такої системи досить низький. З іншої сторони, системи з високим рівнем взаємодії надають найвищий рівень реалізму, однак менш безпечні [2; 3].

Таблиця 1

Порівняльні характеристики двох типів облудних систем

	Системи з низьким рівнем взаємодії	Системи з високим рівнем взаємодії
Ступінь вірогідності	Низька	Висока
Реальна ОС	Немає	Так
Інформація, що збирається	Про з'єднання	Про всі дії зловмисника
Ступінь ризику	Низька	Висока

Для підвищення ефективності захисту інформації буда розроблена архітектура системи детектування неявних мережевих атак, яка об'єднує у собі способи захисту інформації, реалізовані в обманних системах низьким рівнем взаємодії й обманних системах з високим рівнем взаємодії. Такий підхід дозволяє об'єднати якості розглянутих типів систем.

Короткий опис методу. У ході дослідження були застосовані такі методи:

1. Аналіз проводився методом системного аналізу.

2. Під час розробки системи був застосований висхідний метод проектування: на основі відомих програмно-апаратних засобів була розроблена система детектування неявних мережевих атак.

3. Для моделювання використовувався метод імітаційного моделювання, який дозволяє оцінити параметри моделей залежно від часу. Результати моделювання підтвердили працездатність розробленої системи.

У результаті моделювання були отримані порівняльні результати роботи розробленої системи.

Розробка концепції комбінованої обманної системи. Системи з низьким рівнем взаємодії надають більше можливостей щодо створення розгалужених мереж. У той же час у них є вбудовані можливості щодо маршрутизації запитів до заданих мережевих адресів. Скориставшись цим функціоналом, можна побудувати систему, яка буде включати два рівні:

а) перший рівень. Обманна система з низьким рівнем взаємодії, яка емулює велику розгалужену мережу;

б) другий рівень. Обманна система з високим рівнем взаємодії, яка обробляє запити від зловмисника й збирає інформацію про його дії.

Для реалізації запропонованого способу побудови, система детектування неявних мережевих атак повинна містити у собі такі компоненти:

а) Легкі обманні системи з низьким рівнем інтерактивності. Вони виступають у ролі фільтра для наступного рівня – набору обманних систем з високим рівнем інтерактивності.

б) Обманні системи з високим рівнем інтерактивності. Набір віртуальних машин Vmware, на яких запущені відповідні операційні системи й служби. Відфільтрований трафік з «сенсорів» перенаправляється сюди для подальшого аналізу й збору інформації про погрозу.

в) Керування й контроль. Механізм, який надає уніфікована вистава про поточний стан системи, включаючи оберт трафіку, корисне навантаження і т. д. Він також надає інформацію про продуктивність віртуальних машин.

Усі адреси з адресного простору повинні бути оснащені облудними системами з низьким рівнем інтерактивності. Вони відіграють роль фільтрів трафіку, що не цікавить нас, відповідаючи на запити, локально й не передаючи трафік далі по мережі. Трафік, що цікавить, передається на віртуальні машини для подальшого аналізу. Нецікавий трафік можна класифікувати як усі пакети, які не належать існуючому з'єднанню, Syn-Пакети, які не роблять «потрійного рукостискання»; а також навантаження, яке неодноразово спостерігалося в минулому. Незважаючи на те, що цей механізм не дозволяє розрізняти всі погрози, він служить для ефективного оповіщення про нові погрози.

Як обманні системи з високим рівнем інтерактивності, пропонується використовувати віртуальні машини з необхідним ПЗ (операційні системи, служби і т. д.). Мережні настроювання сервера, на якому розташовані віртуальні машини, не дозволяють йому зв'язуватися із зовнішнім. Однак замість того, щоб блокувати вихідні з'єднання, вони перенаправляються назад на «важкі» обманні системи.

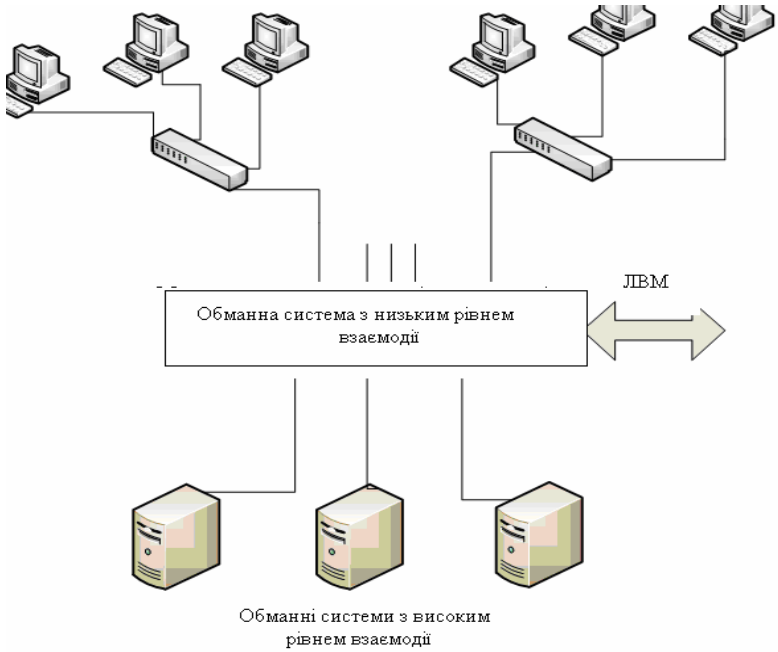


Рис. 1. Комбінована обманна система

Якщо «мережний хробак» заражає одну з машин, він може продовжувати заражати доти, поки є «чисті» ВМ. Такий механізм дозволяє спостерігати за поведінкою «хробака» і шлях його поширення в контрольованім середовищі. Як тільки буде виявлений такий тип поширення, функції роботи з контрольними крапками Vmware дозволять не тільки зберегти стани із зараженою системою й супутню інформацію, але й відкотитися до нормального стану для подальшого використання під час аналізу інформації. Для того щоб зрозуміти, що ВМ перейшла в стан відмінний від нормального, слід спостерігати за її мережевими з'єднаннями, а також змінами у файловій системі.

Останній компонент архітектури – це підсистема керування й журналювання. Вона повинна вести статистику трафіку з обманних систем з низьким рівнем взаємодії й здійснювати моніторинг навантаження на віртуальні машини. Підсистема керування відповідає за аналіз прийнятих даних на предмет аномальної поведінки, наприклад, поширення хробака. Це досягається за допомогою двох фаз аналізу, які поєднуються

наприкінці. На першій фазі перевіряється мережна активність «сенсорів». Якщо збільшується обсяг трафіку для певного порту, це швидше за все означає, що зловмисник намагається одержати доступ до сервісу, розташованого на цьому порту. На другій фазі перевіряється поведінка віртуальних машин. Якщо на віртуальних машинах створюються невідомі мережні з'єднання, це може означати інфікування мережевим хробаком.

Архітектура системи. Враховуючи всі блоки, розглянуті вище, розроблена остаточна архітектура системи захисту від мережевих атак.

Для побудови обманної мережі використовуються адреси з діапазону 192.168.0.0-255.255.255.255. Цей діапазон звичайно застосовується в локальних мережах середніх розмірів.

Як було сказано раніше, для відсівання непотрібних пакетів використовується програма Honeyd [1].

Honeyd самостійно обробляє порти, які використовуються службами, які не цікаві з погляду дослідження. Порти, на які приходять цікаві, з погляду безпеки, пакети перенаправляються на віртуальні машини, на яких установлені відповідні програми для журналювання подій в ОС.

Приклад конфігурації:

```
create default
set default default tcp action block
set default default udp action block
set default default icmp action block

create linux
set linux personality "Linux 2.4.20"
set linux ethernet "dell"
set linux default tcp action reset
add linux tcp port 80 scripts/web.sh
add linux tcp port 23 "/usr/share/honeyd/scripts/telnet.sh"
#add linux tcp port 23 "echo Welcome to telnet!"
add linux tcp port 443 proxy darkweb.portaone.com:443
add linux tcp port 22 proxy 192.168.1.8:22
add linux tcp port 3306 proxy 192.168.1.8:3306
dhcp linux on p2p1.
```

У цій конфігурації створюється віртуальний комп'ютер із установленою ОС Linux.

На ньому емулюються сервіси: веб-сервіс, сервер протоколу telnet, сервер протоколу ssh, а також СКБД mysql.

У цьому випадку веб-сервіс емулюється на рівні honeyd і не перенаправляється на відповідну віртуальну машину. За це відповідає спеціальний скрипт. Цей скрипт генерує стандартний http-відповідь просту html-сторінку:

```
add linux tcp port 80 scripts/web.sh.
```

Сервіси й ОС обрані для конфігурації, тому що є популярним розв'язком в області побудови серверів і роботи з базами даних.

При спробі підключення до сервісу Mysql з'єднання буде переспрямовано на віртуальну машину, де запущений справжній СКБД. Таким чином, можна буде відстежити подальші дії зловмисника за допомогою вбудованих засобів Mysql, таких як mysql bin log.

Також відкритий порт для ssh-з'єднання, який теж переспрямований на віртуальну машину:

```
add linux tcp port 22 proxy 192.168.1.8:22.
```

Для вивчення поведінки зловмисника в цьому випадку, використана програма відстеження натискання клавіш.

На рисунку 2 зображена схема взаємодії між компонентами.

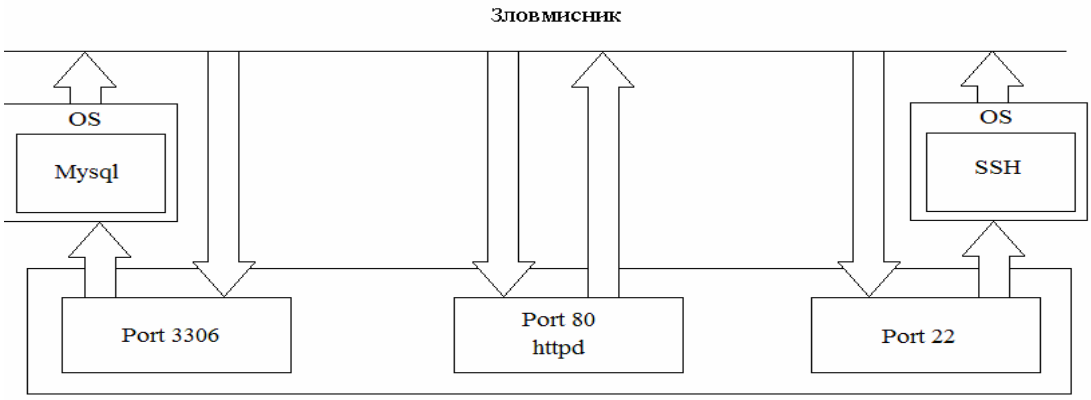


Рис. 2. Структура взаємодії між сервісами й зовнішнім світом

Таким чином, відповіді на запити по SSH і mysql зловмисник одержує від віртуальних машин. При цьому йому надається повна свобода дій, а інформація про його діяльність записується в текстовий файл.

Відповіді на запити з протоколу http генеруються прямо програмою honeyd. Тому окремої віртуальної машини для цього не потрібно.

На підставі всіх розглянутих блоків системи окремо розроблена результуюча архітектура системи – рисунок 3.

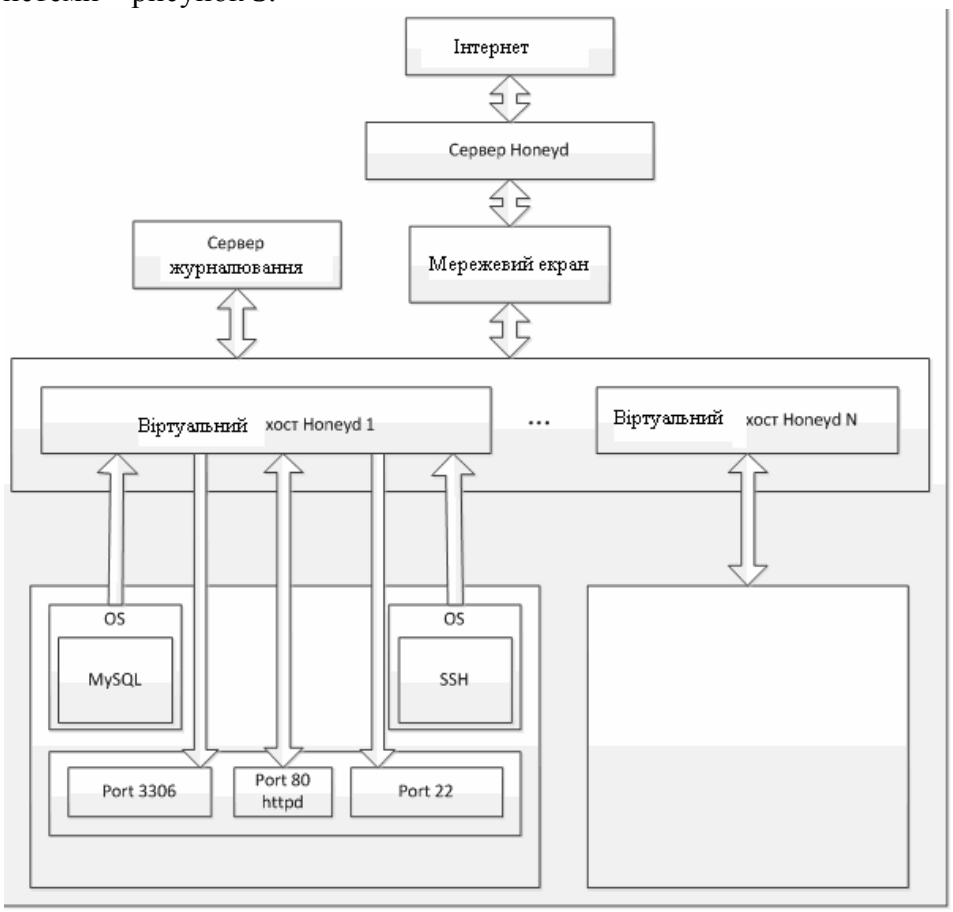


Рис. 3. Архітектура системи

Побудова моделі розробленої системи. Модель системи була створена на персональному комп'ютері з використанням віртуальних машин Vmware. Для тестування була обрана така конфігурація: 384 MB RAM, Host-Only Network Adapter. Таким чином, доступ у зовнішню мережу заблокований для обманних систем, які сконфігуровані на віртуальних машинах.

На віртуальній машині з honeyd була встановлена програма Snort.

Для перевірки працездатності була проведена проста bruteforce-атака з протоколу ssh (спроба створити більш 3-х з'єднань за одну хвилину).

Реакція snort на атаку з ssh-протоколу:

```
[**] [1:2003068:2] BLEEDING-EDGE Potential SSH Scan OUTBOUND
[**]
[Classification: Attempted Information Leak] [Priority: 2]
01/27-03:43:35.440897 192.168.17.132:40513 ->
192.168.17.131:22
TCP TTL:64 TOS:0x0 ID:42875 Iplen:20 Dgmlen:60 DF
******S* Seq: 0xe8F28737  Ack: 0x0  Win: 0x16D0  Tcplen: 40
TCP Options (5) => MSS: 1460 Sackok TS: 467020 0 NOP WS: 5.
```

Snort дає текстовий опис події, адреси комп'ютерів, між якими була спроба з'єднання, а також параметри отриманого мережевого пакета.

Зв'язок між системами з високим і низьким рівнем взаємодії:

```
set default default tcp action block
set default default udp action block
set default default icmp action block

create linux
set linux personality "Linux 2.4.20"
set linux ethernet "dell"
set linux default tcp action reset
add linux tcp port 80 scripts/web.sh
add linux tcp port 23 "/usr/share/honeyd/scripts/telnet.sh"
add linux tcp port 22 proxy 192.168.17.130:22
add linux tcp port 3306 proxy 192.168.17.130:3306

#dhcp linux on eth1
bind 192.168.1.11 linux
bind 192.168.1.10 linux.
```

Постійно створюються хости, які емулюють більшу локальну мережу. З'єднання, що приходять із зовнішньої мережі, перенаправляються на невелику кількість систем з високим рівнем взаємодії. У такий спосіб ресурси витрачаються більш ощадливо, ніж у випадку з використання тільки віртуальних машин або фізичних серверів.

Для перенапрямку використовується директива «proxy». У наведеній конфігурації використовується одна віртуальна машина, на якій установлена система з високим рівнем взаємодії.

Наведена в прикладі конфігурація може розширюватися практично нескінченно, додаванням хостів, служб і т. і.

Висновки дослідження. Ступінь вірогідності порівняна зі ступенем вірогідності систем з високим рівнем взаємодії досягнута при суттєво менших матеріальних витратах.

На рисунку 4 зображена порівняльна діаграма використання апаратних ресурсів системою з високим рівнем взаємодії й комбінованою системою.

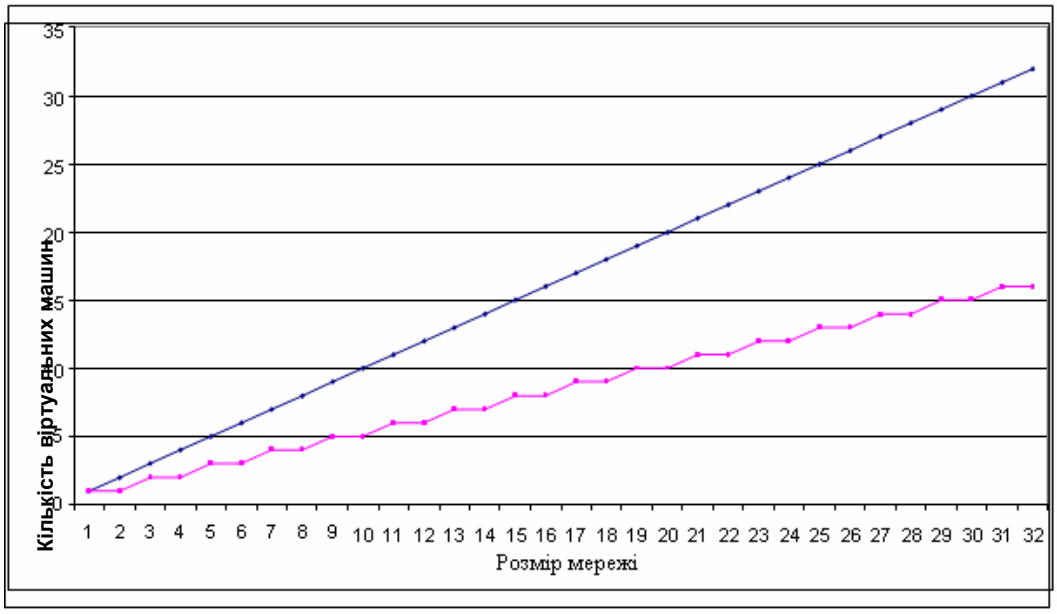


Рис. 4. Порівняльна діаграма двох систем

У цьому випадку на кожну віртуальну машину припадає по два віртуальних хоста. Можливе збільшення кількості віртуальних хостів.

За рахунок використання реальних сервісів і ОС розроблена система надає рівень вірогідності порівняний із системами з високим рівнем взаємодії. Це дає більш широкі можливості щодо відстеження дій і збору інформації про активність зловмисників.

На підставі аналізу розроблена структура облудної системи захисту інформації, яка поєднує у собі два типи захисних систем: з високим рівнем взаємодії й з низьким рівнем взаємодії. Це дозволяє зменшити витрати на установку системи захисту, тому що система з низьким рівнем взаємодії відфільтровує зайвий трафік і зменшує необхідну кількість систем з високим рівнем взаємодії. Запропонована архітектура обманної системи, на відміну від існуючих, надає новий спосіб зменшення навантаження на мережу, що емулюється й дозволяє створювати більші віртуальні мережі з високим рівнем вірогідності.

Список використаних джерел

1. Спитцнер Л. Honeynet Project: ловушка для хакеров / Л. Спитцнер // Открытые системы. – 2003. – № 7-8.

2. Лукацкий А. В. Обнаружение атак / А. В. Лукацкий. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003.

3. Котенко И. В. Прототип ложной информационной системы / И. В. Котенко, М. В. Степашкин // Методы и технические средства обеспечения безопасности информации: тезисы докладов XI Российской научно-технической конференции (по Северо-западному региону). – СПб.: Издательство СПБГПУ, 2003.

РОЗДІЛ VI. ЕНЕРГЕТИКА

УДК 621.311

В.І. Скоробогатова, д-р техн. наук, професор
Б.В. Ободовський, аспірант
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

РОЗРАХУНОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ З УРАХУВАННЯМ ФАКТОРА СТРУКТУРИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

Виконано аналіз залежності технологічних витрат електроенергії від структури діючої електричної мережі. Запропоновано метод розрахунку технологічних витрат електроенергії, який враховує тривалість перебування діючої електричної мережі в окремому режимі роботи.

Выполнен анализ зависимости технологических потерь электроэнергии от структуры действующей электрической сети. Предложен метод расчета технологических потерь электроэнергии, учитывающий продолжительность пребывания действующей электрической сети в отдельном режиме работы.

The analysis of the dependence of technological losses of electricity from the structure of existing electrical network was made. A method for the calculation of technical losses of electricity, taking into account the duration of the stay of the existing electrical network in a single mode was proposed.

Постановка проблеми. В умовах постійного дорожчання енергоносіїв в Україні питання ефективного використання потенціалу діючих електричних мереж (ЕМ) є пріоритетним. Одним з основних критеріїв оцінки ефективності роботи діючих ЕМ є величина технологічних витрат електроенергії (ТВЕ) в них, яка залежить від багатьох факторів. Одним із найважливіших факторів, які впливають на величину ТВЕ, є структура ЕМ, відтак питання аналізу залежності величини ТВЕ від структури діючої ЕМ є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемою розрахунку ТВЕ в ЕМ займається багато українських і закордонних учених, таких як: Дерзський В.Г., Железко Ю.С., Салліван Р.Л., Сафарян В., Усов І.Ю. та інші. Праці цих авторів присвячені аналізу причин виникнення ТВЕ в розподільчих ЕМ напругою 10-0,4 кВ та розробці технічних і організаційних заходів щодо зниження величини ТВЕ. Проте серед учених проблема залежності величини ТВЕ в діючих ЕМ від структури ЕМ мало досліджена.

Постановка завдання. Аналіз залежності технологічних витрат електроенергії від структури діючої електричної мережі напругою 10/0,4 кВ. Врахування під час розрахунку технологічних витрат електроенергії тривалості перебування діючої електричної мережі в окремому режимі роботи.

Викладення основного матеріалу. На сьогодні для розрахунку ТВЕ в ЕМ використовуються різні методи та підходи, які використовують у процесі розрахунку різноманітні математичні моделі і прийоми та різні початкові умови розрахунку, у тому числі параметри режиму роботи ЕМ [1; 2]. Аналіз цих методів показує, що більшість існуючих методів розрахунку використовують для розрахунків заздалегідь визначені параметри режиму роботи ЕМ, які мають бути задані до початку розрахунків. Насправді ж параметри режиму роботи ЕМ змінюються у часі за випадковими законами і залежать від структури ЕМ в окремо взятий момент часу. У більшості випадків параметри режиму для розрахунку ТВЕ у ЕМ визначаються шляхом оцінювання інформації про параметри режиму роботи ЕМ для певної її структури, тим самим у результати розрахунку вноситься значна методична похибка, яка може суттєво спотворювати дані про розподіл втрат електроенергії в ЕМ, що розраховується. Більш того, такий підхід до розрахунку ТВЕ є недоцільним відносно ЕМ, у яких може змінюватися структура, а відтак і параметри режиму роботи. Метою цієї роботи є дослідження впливу структури ЕМ на параметри режиму роботи ЕМ, а відтак і на величину ТВЕ в цій ЕМ.

Сьогодні для моделювання електричної мережі використовуються різні математичні методи, однак одним з найбільш поширених є метод моделювання ЕМ з використанням

теорії графів. Особливістю такого методу є те, що електрична мережа моделюється у вигляді графу, що складається з *m* вузлів та *n* віток, а розрахунок параметрів режиму ведеться шляхом розв'язання нелінійних рівнянь [3; 4]. У той же час цей метод має кілька суттєвих недоліків, таких як: надлишковість змінних під час використання ненаправленого графу пасивної схеми ЕМ, не відображення на граф-схемі елементів схеми, рівних нулю [5]. Останній недолік є суттєвим у випадку розрахунку параметрів режиму ЕМ, структура якої може змінюватися, тому для розрахунку параметрів режиму ЕМ більш доцільним є використання методу моделювання ЕМ з використанням теорії графів та розрахунок параметрів режиму роботи ЕМ з використанням методу Ньютона для системи нелінійних рівнянь [6; 7].

Дослідження впливу структури ЕМ на величину ТВЕ проводилося на прикладі діючих розподільчих ЕМ напругою 10/0,4 кВ, оскільки в діючих ЕМ напругою 10/0,4 кВ здійснюється значно більше оперативних перемикань, ніж в ЕМ інших класів напруги, відповідно і структура таких ЕМ змінюється частіше.

Об'єкт дослідження – ділянка ЕМ напругою 10/0,4 кВ, структура якої може змінюватися в процесі роботи відповідно до режимів роботи I і II.

Зміна структури досліджуваної ділянки наочно продемонстрована шляхом порівняння однолінійної структурної схеми досліджуваної ділянки у режимі роботи I (рис. 1) та однолінійної структурної схеми досліджуваної ділянки у режимі роботи II (рис. 2).

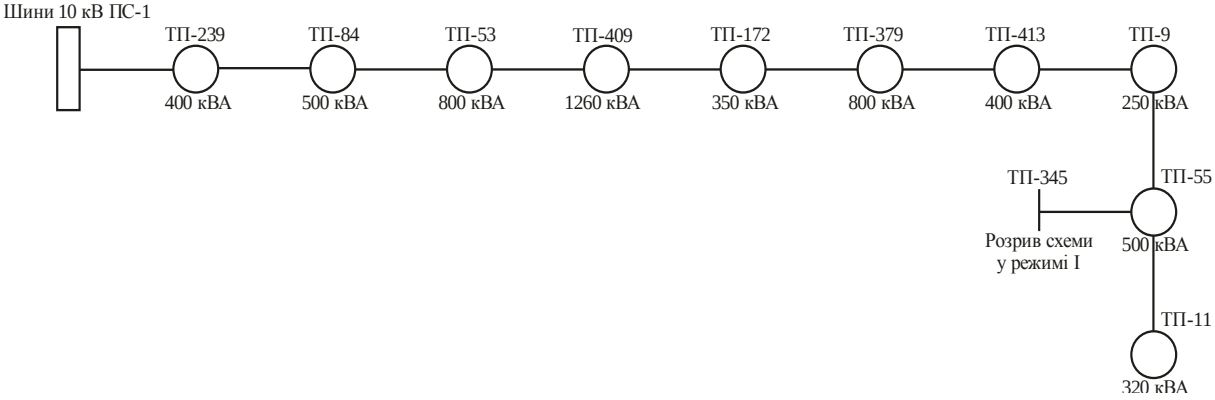


Рис. 1. Однолінійна структурна схема досліджуваної ділянки у режимі роботи I

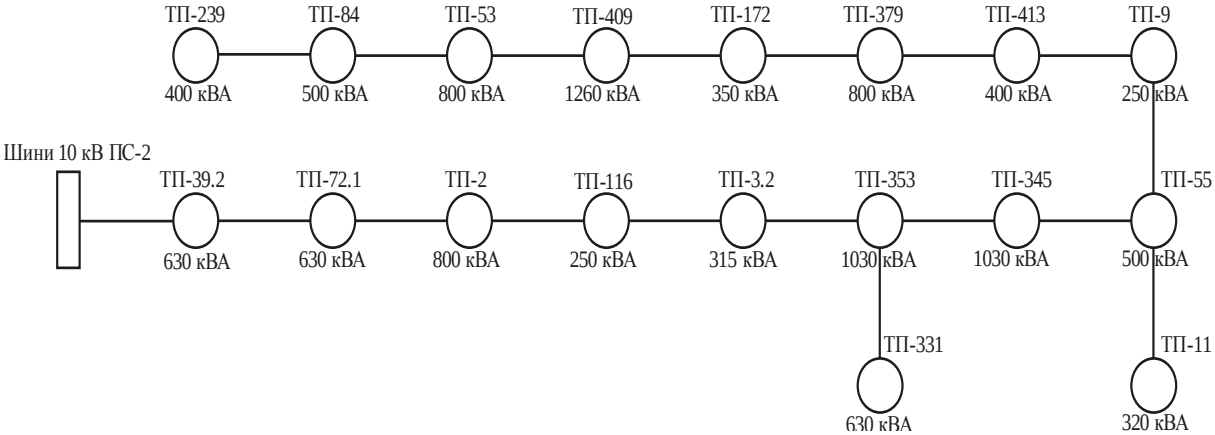


Рис. 2. Однолінійна структурна схема досліджуваної ділянки у режимі роботи II

Час роботи досліджуваної ділянки у режимах роботи I і II протягом 2010 року представлений у таблиці 1.

Таблиця 1

Час роботи досліджуваної ділянки у режимах роботи I і II протягом 2010 року

Місяць	Загальний час роботи	Час роботи у режимі I		Час роботи у режимі II	
	годин	годин	%	годин	%
Січень	744	744,00	100,00	0,00	0,00
Лютий	672	672,00	100,00	0,00	0,00
Березень	744	744,00	100,00	0,00	0,00
Квітень	720	720,00	100,00	0,00	0,00
Травень	744	744,00	100,00	0,00	0,00
Червень	720	720,00	100,00	0,00	0,00
Липень	744	744,00	100,00	0,00	0,00
Серпень	744	656,52	88,24	87,48	11,76
Вересень	720	540,32	75,04	179,68	24,96
Жовтень	744	369,65	49,68	374,35	50,32
Листопад	720	0,00	0,00	744,00	100,00
Грудень	744	156,52	21,04	587,48	78,96
Усього за рік:	**8760**	**6811,01**	**77,75**	**1972,99**	**22,25**

Розрахунок ТВЕ досліджуваної ділянки виконувався за допомогою методу Ньютона для системи нелінійних рівнянь з урахуванням наступних особливостей рівнянь режиму роботи ЕМ:

– багатовимірність системи нелінійних рівнянь для діючої ЕМ з можливістю зміни структури мережі;

– високий ступінь нелінійності рівнянь зумовлений нелінійним характером залежностей параметрів режиму роботи ЕМ від структури ЕМ;

– недостатня визначеність матриці вузлових провідностей $\det Y \approx 0$, яка виявляється в тому, що навіть при незначній зміні структури ЕМ незначна зміна відомих параметрів режиму роботи ЕМ зумовлює значні зміни параметрів режиму роботи ЕМ, що розраховуються.

З вузлових рівнянь (1), (2) з урахуванням вищесказаного матимемо рівняння (3):

$$Y \cdot U_{\Delta} = J_Y, \tag{1}$$

$$U_{\Delta} = Y^{-1} \cdot J_Y, \tag{2}$$

$$Y^{-1} = \frac{1}{\det Y}\left[A_{iJ_Y}\right], \tag{3}$$

де Y – матриця провідностей віток графу; U_{Δ} – матриця падінь напруги у вузлах графу відносно базисного вузла; J_Y – матриця струмів, що протікають у вітках графу; $\left[A_{iJ_Y}\right]$ – матриця-доповнення до матриці Y, яка складається з алгебраїчних доповнень елементів вихідної матриці Y.

У випадку зміни структури ЕМ, коли $\det Y \approx 0$, значення елементів матриці Y^{-1} у формулі (3) будуть сильно змінюватися навіть при незначних змінах елементів матриці Y, відповідно значення падіння напруги та втрат потужності у елементах ЕМ, отримані з рівняння (2), також суттєво зміняться. Тобто має місце вплив структури ЕМ на параметри режиму роботи ЕМ, а значить і на величину ТВЕ.

У таблиці 2 наведено розраховані за вищенаведеним принципом значення ТВЕ для режимів роботи I і II досліджуваної ділянки за місяцями 2010 року.

Таблиця 2

Розраховані значення ТВЕ досліджуваної ділянки для режимів роботи I і II у 2010 році

Місяць	Результати розрахунку для режиму роботи I				Результати розрахунку для режиму роботи II			
	Час роботи		Втрати електроенергії		Час роботи		Втрати електроенергії	
	год	%	кВт*год	%	год	%	кВт*год	%
Січень	744,00	100,00	55654	100,00	0,00	0,00	0	0,00
Лютий	672,00	100,00	44652	100,00	0,00	0,00	0	0,00
Березень	744,00	100,00	38956	100,00	0,00	0,00	0	0,00
Квітень	720,00	100,00	33648	100,00	0,00	0,00	0	0,00
Травень	744,00	100,00	27546	100,00	0,00	0,00	0	0,00
Червень	720,00	100,00	28568	100,00	0,00	0,00	0	0,00
Липень	744,00	100,00	35521	100,00	0,00	0,00	0	0,00
Серпень	656,52	88,24	28754	84,04	87,48	11,76	5462	15,96
Вересень	540,32	75,04	23568	59,94	179,68	24,96	15753	40,06
Жовтень	369,65	49,68	16521	39,48	374,35	50,32	25324	60,52
Листопад	0,00	0,00	0	0,00	744,00	100,00	51514	100,00
Грудень	156,52	21,04	14755	24,23	587,48	78,96	46147	75,77
Усього:	**6811,01**	**77,75**	**348143**	**70,71**	**1972,99**	**22,25**	**144200**	**29,29**

Залежність величини ТВЕ від структури ЕМ наглядно у графічному вигляді показана на рис. 3.

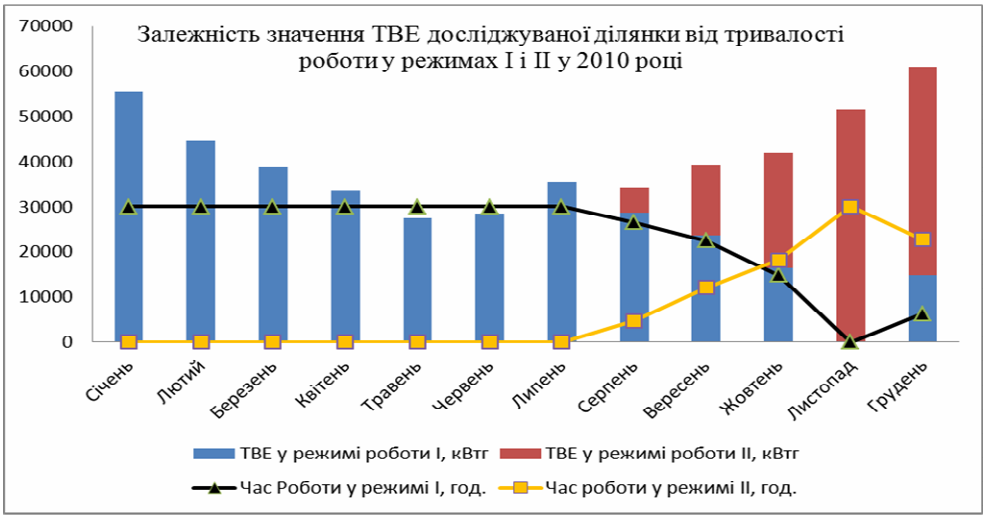


Рис. 3. Графічна ілюстрація залежності значення ТВЕ досліджуваної ділянки від тривалості роботи у режимах I і II у 2010 році

З рис. 3 видно, що величина ТВЕ досліджуваної ділянки залежить від тривалості роботи у тому чи іншому режимі, тобто підтверджується твердження про те, що має місце вплив структури ЕМ на параметри режиму роботи ЕМ, а значить і на величину ТВЕ.

Висновки. Виконано аналіз впливу структури ЕМ на величину ТВЕ в діючих ЕМ напругою 10/0,4 кВ. Виявлено залежність величини ТВЕ від параметрів режиму роботи ЕМ, які, у свою чергу, залежать від структури ЕМ. Цей факт слід враховувати під час розрахунків ТВЕ у ЕМ, структура яких може змінюватися впродовж розрахункового періоду, а також під час вибору інтервалу осереднення інформації.

Запропоновано метод для розрахунку параметрів режиму діючої ЕМ, залежних від структури ЕМ, який враховує тривалість перебування діючої електричної мережі в окремому режимі роботи.

Список використаних джерел

1. Железко Ю. С. Расчёт, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях / Ю. С. Железко, А. В. Артемьев, О. В. Савченко. – М.: Изд. НЦ ЭНАС, 2005. – 278 с.

2. Фурсанов М. И. Методология и практика расчётов потерь электроэнергии в электрических сетях енергосистем / М. И. Фурсанов. – Минск: Технология, 2001. – 247 с.

3. Бурков В. Н. Прикладные задачи теории графов / В. Н. Бурков, И. А. Георгидзе, С. Е. Ловецкий. – Тбилиси: Мецниереба, 1974. – 234 с.

4. Робишо Л. Направленные графы и их приложение к электрическим цепям и машинам / Л. Робишо, М. Буавер, М. Робер. – М.; Л.: Энергия, 1964. – 248 с.

5. Lin P. M. Symbolic network analysis. – Amsterdam – Oxford – New York – Tokyo: Elsevier, 1991. – 319 p.

6. Вержбицкий В. М. Численные методы. Линейная алгебра и нелинейные уравнения / В. М. Вержбицкий. – М.: Высшая школа, 2000. – 266 с.

7. Дудкевич А. Т. Практична реалізація методів розв'язання нелінійних рівнянь і систем: навч.-метод. посіб. / А. Т. Дудкевич, С. М. Левицька, С. М. Шахно. – Львів, 2007. – 78 с.

УДК 621.316.1.017

В.В. Зорин, д-р техн. наук
Национальный технический университет Украины «КПИ», г. Киев, Украина

Р.А. Буйный, канд. техн. наук,
А.В. Красножон, канд. техн. наук
Черниговский государственный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ПОВЫШЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ПО РЯДУ КРИТЕРИЕВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Рассмотрено возможные пути повышения пропускной способности линий электропередачи и определена их эффективность по условиям нагрева, режима напряжения, снижению потерь мощности и надежности.

С ростом электрических нагрузок и присоединением новых потребителей электрической энергии параметры электрической сети и соответственно параметры режимов должны периодически изменяться для повышения пропускной способности. Эти изменения должны выполняться таким образом, чтобы в пределах рассматриваемого периода обеспечить наиболее эффективное использование денежных средств, материалов и трудовых ресурсов. Снижение технологического расхода электроэнергии на ее транспорт в линиях электропередач (ЛЭП) и в трансформаторах подстанций (ТП) является частью общей задачи повышения экономичности работы электрической сети и энергосистемы в целом. Следует стремиться на протяжении всего срока эксплуатации оборудования электрической сети поддерживать экономически оправданные режимы.

Обычно при решении задач повышения пропускной способности сети рассматривают две группы мероприятий. Первая – организационные мероприятия, как правило, беззатратные или малозатратные мероприятия эксплуатационного характера. И вторая группа – это технические мероприятия, для реализации которых требуются дополнительные капиталовложения. Естественно, в первую очередь, должны быть использованы организационные мероприятия, и в случае необходимости – технические.

К техническим мероприятиям по повышению эффективности режимов распределительных электрических сетей могут быть отнесены следующие [1; 2]:

1. Установка и ввод в работу устройств компенсации реактивной мощности в сети 0,38 кВ и 6-10 кВ. Компенсация реактивной мощности с помощью конденсаторных батарей поперечного включения является комплексным, высокоэффективным средством повышения качества электроснабжения, решая задачи энергосбережения, качества электрической энергии, надежности.

2. Использование установок продольной емкостной компенсации, включаемые в рассечку ЛЭП. Применение продольной емкостной компенсации позволяет существенно повысить пропускную способность сети по режиму напряжения. Особенно эффективны такие установки в воздушных ЛЭП и при значительных колебаниях напряжения.

3. Замена проводов перегруженных воздушных ЛЭП и кабельных, проложенных в открытых каналах на большие сечения. Это приводит к повышению пропускной способности ЛЭП по нагреву, улучшению режима напряжения, повышению надежности электроснабжения.

4. Разделение перегруженной, протяженной линии на две части. Такое мероприятие по повышению пропускной способности может обеспечить на 2/3 снижение потерь мощности и величину потерь напряжения, а также сократить величину недоотпущенной электроэнергии.

5. Сооружение дополнительных трансформаторных подстанций и некоторых участков новых линий.

В качестве примера рассмотрим эффективность повышения пропускной способности по ряду критериев путем замены существующего сечения провода F_1 на новое F_2 ($F_2 > F_1$) на одну стандартную ступень n = 1 и на две стандартных ступени n = 2.

1. По условиям нагрева.

По условиям нагрева допустимым током I_{g1} при сечении F_1 предельная пропускная способность по активной мощности составит:

$$P_1 = \sqrt{3}UI_{g1}\cos\varphi.$$

Также при переходе на сечение F_2, где $F_2 > F_1$ имеем:

$$P_2 = \sqrt{3}UI_{g2}\cos\varphi.$$

Увеличение пропускной способности δP при замене сечения F_1 на F_2 составит:

$$\delta P = P_2 - P_1 = \sqrt{3}U\cos\varphi(I_{g2} - I_{g1}) \times \frac{P_1}{\sqrt{3}U\cos\varphi I_{g1}} = P_1\left(\frac{I_{g2}}{I_{g1}} - 1\right).$$

Для воздушных линий с сечением провода АС-50 будем иметь:

$$\text{n=1, } F_1 = 50,\ F_2 = 70, I_{g1} = 210A,\ I_{g2} = 265A,\ \delta P = \left(\frac{265}{210} - 1\right) = 0{,}26P_1,$$

т. е. увеличение пропускной способности на 26 %.

$$\text{n=2, } F_1 = 50,\ F_2 = 95, I_{g1} = 210A,\ I_{g2} = 330A,\ \delta P = \left(\frac{265}{210} - 1\right) = 0{,}57P_1,$$

т. е. увеличение пропускной способности на 57 %.

2. По условиям режима напряжения.

Оценим увеличение пропускной способности линии по активной мощности при замене сечения провода F_1 на большее F_2 по условиям режима напряжения, когда потери напряжения ΔU в линии до и после замены сечения провода остаются постоянными $\Delta U_1 = \Delta U_2$.

При F_1 $\Delta U_1 = \sqrt{3}I_1(r_1\cos\varphi + x_1\sin\varphi)$, при F_2 $\Delta U_2 = \sqrt{3}I_2(r_2\cos\varphi + x_2\sin\varphi)$. Приравняв оба выражения и решив полученное уравнение относительно I_2, будем иметь:

$$I_2 = I_1\frac{(r_1\cos\varphi + x_1\sin\varphi)}{(r_2\cos\varphi + x_2\sin\varphi)} = aI_1, \text{ где } a = \frac{(r_1\cos\varphi + x_1\sin\varphi)}{(r_2\cos\varphi + x_2\sin\varphi)}.$$

Пропускная способность линии по активной мощности P при сечениях проводов F_1 и F_2 равна соответственно:

$$P_1 = \sqrt{3}UI_1\cos\varphi \text{ и } P_2 = a\sqrt{3}UI_1\cos\varphi.$$

Тогда увеличение пропускной способности δP по режиму напряжения:

$$\delta P = P_2 - P_1 = \sqrt{3}UI_1\cos\varphi(a-1) = P_1(a-1).$$

n = 1, $F_1 = 50, F_2 = 70$, $\cos\varphi = 0{,}8$, $a = \dfrac{0{,}62 \cdot 0{,}8 + 0{,}4 \cdot 0{,}6}{0{,}44 \cdot 0{,}8 + 0{,}4 \cdot 0{,}6} = 1{,}24$, $\delta P = p_1(1{,}24 - 1) = 0{,}24P_1$,

т. е. увеличение пропускной способности на 24 %.

n = 2, $F_1 = 50, F_2 = 95, \cos\varphi = 0{,}8$, $a = \dfrac{0{,}62 \cdot 0{,}8 + 0{,}4 \cdot 0{,}6}{0{,}326 \cdot 0{,}8 + 0{,}4 \cdot 0{,}6} = 1{,}47$, $\delta P = p_1(1{,}47 - 1) = 0{,}47P_1$,

т. е. увеличение пропускной способности на 47 %.

3. По условиям снижения потерь мощности ΔP.

Потери активной мощности в линиях при сечениях F_1 и F_2 будут равны:

$$\Delta P_1 = 3I_{g1}^2 l \frac{\rho}{F_1},\ \Delta P_2 = 3I_{g1}^2 l \frac{\rho}{F_2},\ I_2 = I_{g1}.$$

Тогда снижение потерь мощности $\delta\Delta P$ при замене сечения F_1 на F_2:

$$\delta\Delta P = \Delta P_1 - \Delta P_2 = 3\rho l\left(\frac{I_{g1}^2}{F_1} - \frac{I_{g1}^2}{F_2}\right) \times \frac{\Delta P_1 F_1}{3I_{g1}^2 \rho l} = \Delta P_1\left(1 - \frac{F_1}{F_2}\right).$$

$$\text{n = 1, } F_1 = 50,\ F_2 = 70,\ \delta\Delta P = \Delta P_1\left(1 - \frac{F_1}{F_2}\right) = \Delta P_1\left(1 - \frac{50}{70}\right) = 0{,}29\Delta P_1,$$

т. е. снижение потерь активной мощности на 29 %.

$$\text{n = 2, } F_1 = 50,\ F_2 = 95,\ \delta\Delta P = \Delta P_1\left(1 - \frac{50}{95}\right) = 0{,}47\Delta P_1,$$

т. е. снижение потерь активной мощности на 47 %.

В таблицах 1, 2 показаны возможности повышения пропускной способности перегруженных ЛЭП путем замены существующих сечений проводов на большие для всей шкалы стандартных сечений.

Таблица 1

Показатели эффективности повышения пропускной способности ЛЭП при замене существующего сечения провода на новое на одну стандартную ступень

Сечения	Увеличение пропускной способности по нагреву допустимым током, о.е.		Снижение потерь активной мощности, о.е.	Увеличение пропускной способности по условиям режима напряжения, о.е.
	вне помещения	внутри	вне помещения, внутри	вне помещения, внутри
35-50	0,20	0,22	0,30	0,20
50-70	0,26	0,27	0,29	0,24
70-95	0,25	0,24	0,26	0,18
95-120	0,18	0,20	0,21	0,13
120-150	0,15	0,17	0,20	0,12
150-185	0,16	0,18	0,19	0,10

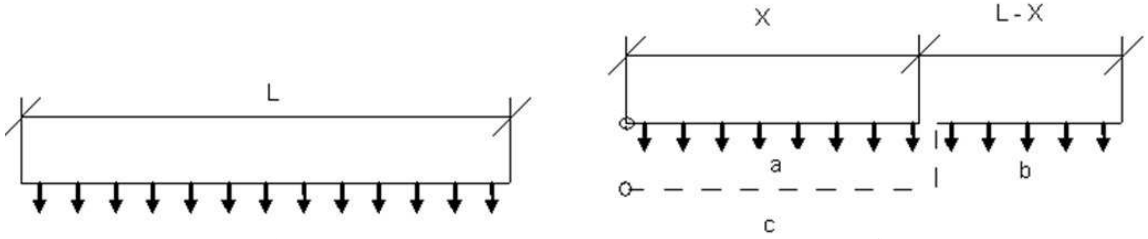
Таблица 2

Показатели эффективности повышения пропускной способности ЛЭП при замене существующего сечения провода на новое на две стандартных ступени

Сечения	Увеличение пропускной способности по нагреву допустимым током, о.е.		Снижение потерь активной мощности, о.е.	Увеличение пропускной способности по условиям режима напряжения, о.е.
	вне помещения	внутри	вне помещения, внутри	вне помещения, внутри
35-70	0,514	0,556	0,500	0,49
50-95	0,571	0,576	0,474	0,46
70-120	0,472	0,490	0,417	0,33
95-150	0,364	0,404	0,367	0,26
120-185	0,333	0,374	0,351	0,23

Как видно из таблиц 1 и 2, эффективность мероприятий по повышению пропускной способности элементов сети с увеличением сечений проводов снижается.

Рассмотрим еще один из возможных способов повышения пропускной способности существующей протяженной линии по ряду критериев (потерь мощности, режиму напряжения и надежности). Пусть имеется существующая распределительная линия электропередачи с равномерно распределенной нагрузкой и плотностью нагрузки P_0 кВт/км, длиной L км и удельным сопротивлением провода r_0 Ом/км (рис. 1, а). Стоит задача снизить потери активной мощности ΔP, улучшить режим напряжения ΔU и повысить надежность электроснабжения $W_{нед}$, путем разделения существующей линии на части и сооружение участка новой линии (рис. 1, б). При этом необходимо выбрать оптимальную величину места разреза существующей линии (протяженность участка X), при котором обеспечивается минимум потерь мощности схемы $\Delta P = \min$, или равенство потерь напряжения в образованных двух линиях $\Delta U_1 = \Delta U_2$ или наименьшую величину недоотпущенной электроэнергии $W_{нед} = \min$ [3].



а) *б)*

Рис.1. Существующая линия до реконструкции (а) и после реконструкции (б)

Потери активной мощности в существующей исходной линии составляют:

$$\Delta P_{исх} = \frac{1}{3}\frac{P_0^2}{U^2} r_0 L^3 = AL^3,$$

а потери напряжения:

$$\Delta U_{исх} = \frac{1}{2}\frac{P_0 r_0}{10U_н^2} L^2 = BL^2.$$

Недоотпуск электрической энергии в исходной линии $W_{нед} кВт \times ч$ оценивается параметром потока отказов $w_0\, 1/км \cdot год$, средним временем восстановления электроснабжения $\tau_{час}$, удельной плотностью нагрузки $P_0 \dfrac{кВт}{км}$ и длиной участка линии L км.

$$W_{исх} = w_0 \cdot P_0 \cdot \tau \cdot L^2 = CL^2.$$

1. Разделение линии на части при условии $\Delta U_1 = \Delta U_2$.

Определяем потери напряжения на участках “a”, “b” и “c” преобразованной линии, выполненной на участке “c” проводом АС-50:

$$\Delta U_a = Bx^2 = \Delta U_{исх} X^2,$$

$$\Delta U_b = B(L-x)^2 = B\left(L^2 - 2Lx + x^2\right) = \Delta U_{исх}\left(1 - 2X + X^2\right),$$

$$\Delta U_c = 2 \cdot B(L-x)x = 2B\left(Lx - x^2\right) = \Delta U_{исх}\left(2X - 2X^2\right),$$

где X – относительная длина участков линий $X = x/L$.

Записав равенство $\Delta U_a = \Delta U_b + \Delta U_c$ найдем значение X:

$$\Delta U_{исх} X^2 = \Delta U_{исх}\left(1 - 2X + X^2 + 2X - 2X^2\right) \rightarrow X^2 = 1 - X^2 \rightarrow 2X^2 = 1 \rightarrow X = 0{,}71.$$

При этом потери напряжения до концов участков линий составят:

$$\Delta U_a = \Delta U_{исх} X^2 = 0{,}5\Delta U_{исх},\ \Delta U_b + \Delta U_c = \Delta U_{исх}\left(1 - X^2\right) = 0{,}5\Delta U_{исх}.$$

Таким образом, потери напряжения уменьшились в два раза.

Определим оптимальное место разделения линии при условии, что на новом участке "c" принимается большее сечение. Вместо АС-50 $r_0 = 0{,}62\ Ом/км$ устанавливается сечение АС-95 $r_0 = 0{,}326\ Ом/км$. При этом соотношение удельных сопротивлений составит $0{,}62/0{,}326 = 1{,}9$. В этом случае потеря напряжения на участке "c" составит:

$$\Delta U_c = \frac{2}{1{,}9} B(L-x)x = 1{,}05B\left(Lx - x^2\right) = 1{,}05B\left(X - X^2\right) = \Delta U_{исх}\left(1{,}05X - 1{,}05X^2\right).$$

Приравнивая потерю напряжения на участке "a" – ΔU_a к потере напряжения на участках "b+c" – $(\Delta U_b + \Delta U_c)$ получим:

$$X^2 = 1 \cdot 2X + X^2 + 1{,}05X + 1{,}05X^2,\ X^2 + 0{,}9X - 0{,}95 = 0,$$

откуда находим искомое значение X = 0,62.

При этом потеря напряжения будет равна $\Delta U = 0{,}38\Delta U_{исх}$.

Аналогично поступаем в случае замены на участке "c" АС-50 на сечение АС-150 $r_0 = 0{,}206\ Ом/км$. Соотношение их удельных сопротивлений составит $0{,}62/0{,}206 = 3$. Тогда потеря напряжения на участке "c" будет равна:

$$\Delta U_c = \frac{2}{3} B(L-x)x = \Delta U_{исх}(0{,}67X - 0{,}67X^2).$$

Приравняв потерю напряжения на участке "a" – ΔU_a к потере напряжения на участках "b+c" – $(\Delta U_b + \Delta U_c)$ получим:

$$X^2 = 1 - 2X + X^2 + 0{,}67X - 0{,}67X^2,\ X^2 + 1{,}98X - 1{,}49 = 0,$$

откуда находим искомое значение X = 0,58.

При этом потери напряжения до концов участков линий составят:

$$\Delta U_a = \Delta U_{исх} X^2 = 0{,}34\Delta U_{исх},$$

$$\Delta U_b + \Delta U_c = \Delta U_{исх}(1 - 2X + X^2 + 0{,}67X - 0{,}67X^2) = 0{,}34\Delta U_{исх}.$$

2. Разделение линии на части по критерию $\Delta P = \min$.

Определяем потери мощности на участках "a", "b" и "c" преобразованной линии, на которых выбрано сечение АС-50, $r_0 = 0{,}62\ Ом/км$.

$$\Delta P_a = Ax^3 = \Delta P_{исх} X^3,$$

$$\Delta P_b = A(L-x)^3 = A\left(L^3 - 3L^2x + 3Lx^2 - x^3\right) = \Delta P_{исх}\left(1 - 3X + 3X^2 - X^3\right),$$

$$\Delta P_c = 3A(L-x)^2 x = 3A\left(L^2x - 2Lx^2 + x^3\right) = \Delta P_{исх}\left(3X - 6X^2 + 3X^3\right).$$

Тогда суммарные потери мощности на участках "a", "b" и "c" составят:

$$\Delta P_\Sigma = \Delta P_a + \Delta P_b + \Delta P_c = \Delta P_{исх}\left(3X^3 - 3X^2 + 1\right).$$

Берем первую производную выражения ΔP_Σ по X, приравниваем нулю и решаем уравнение относительно X:

$$\frac{\partial \Delta P_\Sigma}{\partial X} = 3X^2 - 2X = 0 \to X2 - 0{,}67X = 0 \to X = 0{,}67.$$

Таким образом, оптимальное место разделения линии составляет $x = 0{,}67L$, что обеспечивает $\Delta P_\Sigma = \min$ (рис. 2).

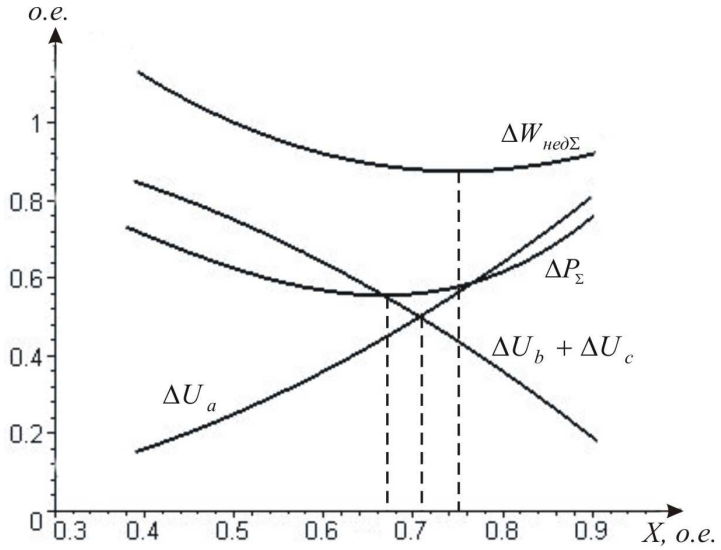


Рис. 2. Зависимости параметров режима от места разреза существующей линии

При этом потери активной мощности составят:

$$\Delta P_\Sigma = \Delta P_{исх}\left(3 - 0{,}67^3 - 3 \cdot 0{,}67^2 + 1\right) = 0{,}55\Delta P_{исх} = \Delta P_{\min}.$$

Таким образом, потери мощности уменьшились почти в два раза.

Определим оптимальное место разделения линии при условии, что на новом участке "с" принимается сечение АС-95 $r_0 = 0{,}326$ *Ом/км*, вместо АС-50, при этом соотношение удельных сопротивлений составит $0{,}62/0{,}326 = 1{,}9$. В этом случае потеря активной мощности на участке "с" будет равна:

$$\Delta P_c = \frac{3}{1{,}9} B(L - x)^2 x = \Delta P_{исх}\left(1{,}58X^3 - 3{,}16X^2 + 1{,}58X\right).$$

Тогда суммарные потери мощности на участках "а", "b" и "с" составят:

$$\Delta P_\Sigma = \Delta P_a + \Delta P_b + \Delta P_c = \Delta P_{исх}\left(1{,}58X^3 - 0{,}16X^2 - 1{,}42X + 1\right).$$

Возьмем первую производную выражения ΔP_Σ по X, приравняем нулю и решаем уравнение относительно X:

$$\frac{\partial \Delta P_\Sigma}{\partial X} = 4{,}74X^2 - 0{,}32X - 1{,}42 = 0 \rightarrow X^2 - 0{,}07X - 0{,}3 = 0 \rightarrow X = 0{,}58.$$

При этом минимальные потери активной мощности составят:

$$\Delta P_\Sigma = \Delta P_{исх}\left(1{,}58 \cdot 0{,}58^3 - 0{,}16 \cdot 0{,}58^2 - 1{,}42 \cdot 0{,}58 + 1\right) = 0{,}44\Delta P_{исх} = \Delta P_{\min}.$$

Определим оптимальное место разделения линии при условии, что на новом участке "с" принимается сечение АС-150 $r_0 = 0{,}206$ *Ом/км*, вместо АС-50, при этом соотношение удельных сопротивлений составит $0{,}62/0{,}206 = 3$. Поступая аналогично предыдущему случаю получим:

X=0,55,

а оптимальные потери мощности будут равны:

$$\Delta P_\Sigma = \Delta P_{исх}\left(1{,}58X^3 - 0{,}16X^2 - 1{,}42X + 1\right) = 0{,}434\Delta P_{исх}.$$

3. Разделение линии на части при условии $\Delta W_{нед\Sigma} = \min$.

Определяем значения недоотпущенной электроэнергии на участках линий $\Delta W_{нед(a)}$, $\Delta W_{нед(b)}$ и $\Delta W_{нед(c)}$ в преобразованной схеме:

$$\Delta W_{нед(a)} = Cx^2 = W_{нед(a)}^{исх} X^2,\ \Delta W_{нед(b)} = C(L - x)^2 = W_{нед(b)}^{исх}\left(1 - 2X + X^2\right),$$

$$\Delta W_{нед(c)} = C(L - x)L = W_{нед(c)}^{исх}(1 - X).$$

Тогда суммарная величина недоотпущенной электроэнергии на участках “a”, “b” и “c” составит:

$$\Delta W_{нед\Sigma} = W^{исх}_{нед(a)} + W^{исх}_{нед(b)} + W^{исх}_{нед(c)} = \left(2X^2 - 3X + 2\right)W^{исх}_{нед\Sigma}.$$

Берем первую производную выражения $\Delta W_{нед\Sigma}$ по X приравниваем нулю и решаем уравнение относительно X:

$$\frac{\partial W_{нед\Sigma}}{\partial X} = 4X - 3 = 0 \rightarrow X = 0{,}75.$$

Таким образом, оптимальное место разделения линии составит X = 0,75, что обеспечивает $\Delta W_{нед\Sigma} = \min$ (рис. 2). При этом величина недоотпущенной электроэнергии будет равна:

$$\Delta W_{нед\Sigma} = W^{исх}_{нед\Sigma}\left(2 \cdot 0{,}75^2 - 3 \cdot 0{,}75 + 2\right) = 0{,}875.$$

Дополнительный эффект по снижению потерь мощности и потерь напряжения может быть получен, если на участке “c” новой линии использовать сечения больше, чем до реконструкции (табл. 3), а длина нового участка линии может быть сокращена почти на половину.

Таблица 3

Эффект от снижения потерь мощности ΔP и потерь напряжения ΔU

Линии электропередачи	Сечение проводов	r0, Ом/км	По критерию ΔP		По критерию ΔU	
			Длина линии “c”, о.е.	Уровень снижения ΔP, о.е.	Длина линии “c”, о.е.	Уровень снижения ΔU, о.е.
Существующая линия	АС 3×50	0,62	1	1	1	1
Новый участок “c”	АС 3×50	0,62	0,67	0,55	0,71	0,5
	АС 3×95	0,326	0,58	0,44	0,62	0,38
	АС 3×150	0,206	0,55	0,43	0,58	0,34

Окончательное решение по выбору того или иного мероприятия по повышению пропускной способности линии электропередачи, рассмотренные в данной статье, может быть получено на основании технико-экономического расчета.

Выводы.

1. В связи с ростом электрических нагрузок и присоединением новых потребителей электрической энергии возникают ограничения по пропускной способности электрических сетей (нагреву, потерям мощности, режиму напряжения, надежности). В связи с этим возникает необходимость осуществления мероприятий по улучшению режимов.

2. В соответствии с требованиями ПУЭ [4] сечения проводников должны быть проверены по экономической плотности тока (по экономическим интервалам). Данными указаниями следует руководствоваться также при замене существующих проводников проводами большего сечения. При этом должна учитываться полная стоимость всех работ по демонтажу и монтажу оборудования ЛЭП.

3. В результате проведенных расчетов показано, что при замене существующего сечения F_1 на новое F_2 ($F_2 > F_1$) на одну стандартную ступень и на две стандартных ступени позволяет повысить пропускную способность линии по нагреву, по потере напряжения, потере мощности соответственно в среднем на 25 % и на 50 %.

4. Мероприятие по повышению пропускной способности перегруженных линий электропередачи по ряду критериев путем разделения существующей линии на две части позволяет снизить потери активной мощности и потери напряжения вдвое. Дополнительный эффект по снижению потерь может быть получен, если на участке новой линии использовать сечение провода больше, чем на линии до реконструкции. При этом удается снизить потери в три раза, а протяженность новой линии уменьшить наполовину.

5. Окончательный выбор мероприятий по повышению пропускной способности линий следует сделать на основании соответствующего технико-экономического расчета.

Список использованных источников

1. Зорин В. В. Системы электроснабжения общего назначения / В. В. Зорин, В. В. Тисленко. – Чернигов: ЧГТУ, 2005. – 341 с.

2. Экономическое обоснование технических решений в системах электроснабжения общего назначения в рыночных условиях / В. В. Зорин, Б. Н. Сердюк, Е. А. Боркунова, Р. А. Буйный // Мировая экономика и бизнес-администрирование малых и средних предприятий: сб. трудов. – Минск: БНТУ, 2011. – С.181-192.

3. Зорин В. В. К вопросу о выборе параметров линий электропередачи / В. В. Зорин // Энергетика: экономика, технологии, экология. – 2008. – № 2. – С.61-67.

4. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. – 6-е изд., перераб. и дополн. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.

УДК 621.341.572

О. В. Будьонний, канд. техн. наук
Є.Ю. Коваленко, магістрант
М.А. Прокопець, магістрант
Національний технічний університет України «КПІ», м. Київ, Україна

ДРАЙВЕР ДЛЯ КЕРУВАННЯ СИЛОВИМИ MOSFET ТА IGBT ТРАНЗИСТОРАМИ

Зроблено опис та принципову схему драйвера для керування силовими IGBT та MOSFET транзисторами. Розроблений прилад має значно нижчу вартість та кращі технічні показники, ніж існуючі драйвери, та не має моточних елементів, що дозволяє інтегрувати його в одну ІМС.

Вступ. На сьогодні в багатьох пристроях перетворювальної техніки необхідні ключі, здатні комутувати струми в десятки ампер та напруги в сотні вольт [1]. Для таких транзисторів потрібні системи керування, які б дозволили отримати достатньо круті фронти на високих частотах та захистити транзистор у випадку перевищення його номінального струму. Більшість драйверів, що випускає промисловість, не повністю задовольняють ці вимоги [2]. Тому метою цієї роботи є розробка драйвера, який би не мав недоліків існуючих уже аналогів, мав низьку ціну, міг би бути виготовлений у корпусі однієї ІМС та мав широкий діапазон застосування: зварювальні інвертори, перетворювачі частоти і т. д. (табл. 1).

Таблиця 1

Порівняльна таблиця характеристик розробленого драйвера та аналогів

Тип	**Максимальний вихідний струм**	**Час спрацьовування інтегрального захисту**	**Час спрацьовування швидкодіючого захисту**	**Драйвер витримує коротке замикання на виході**	**Довжина фронтів (C=9nF)**	**Кількість елементів у схемі**	**Ціна**
IR2101	0,2A	-	-	-	2,5 мкс	3	1,5$
IR2125	1,5A	від 20 мкс	-	-	1 мкс	5	3$
Драйвери модулів SEMICRON	10A	від 10 мкс	від 1 мкс	+	100 нс	близько 100, 5 трансформаторів	150$
Розроблений драйвер	10A	від 300 нс	від 300 нс	+	100 нс	27, без моточних виробів	2$

Вихідний каскад драйвера. Вихідний каскад (рис. 1) необхідний для підсилення сигналів керування. Він виконаний за схемою емітерного повторювача на транзисторах Q2 та Q3. Резистори R4 та R5 призначені для обмеження струмів заряду та розряду затвору силового транзистора. Каскад на транзисторі Q1 слугує для узгодження рівнів сигналу. Особливістю використання емітерного повторювача є те, що затвор силового транзистора не розряджається повністю при його вимиканні, а лише до напруги близько 1В (напруга насичення транзистора Q3). У більшості силових транзисторів значення порогової напруги знаходиться в діапазоні 3-5 В, тому такий режим роботи драйвера є допустимим. У крайньому випадку, вихідний каскад можна живити від двополярного джерела, проте, це виключає можливість використання бутстрепної ланки для живлення драйвера верхнього транзистора у напівмостовій та мостовій схемах перетворювача.

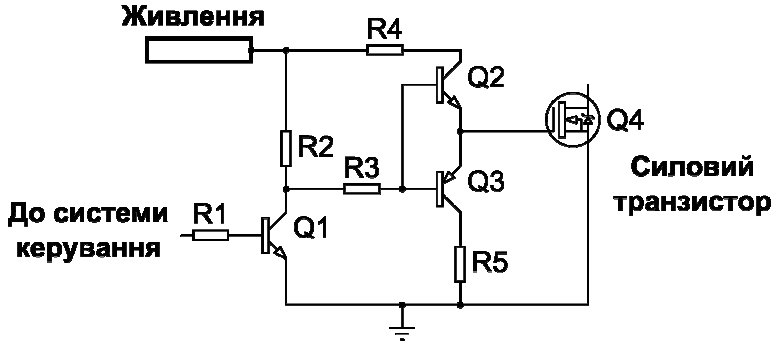


Рис. 1. Вихідний каскад драйвера

Вхідний тригер. Вхідний тригер (рис. 2) необхідний для покращення фронтів сигналу та вимикання вихідного каскаду під час спрацювання системи захисту. Він побудований на трьох логічних елементах АБО-НІ (NOR). Два з них (U1:B та U1:C) утворюють сам тригер, третій (U1:A) використовується для інверсії сигналу керування. Диференціююча ланка (C2, R1) необхідна для подавання короткого імпульсу, що переводить тригер у стан логічної «1». В стан логічного «0» він переводиться сигналом керування, поданим через діод D1, або сигналом від системи захисту. Діоди D1та D2 необхідні для розв'язки керуючого сигналу та сигналу захисту. На четвертому логічному елементі (U1:D) побудована система, яка під час зниження напруги живлення подає логічну «1» на вхід R, тим самим блокуючи імпульси керування.

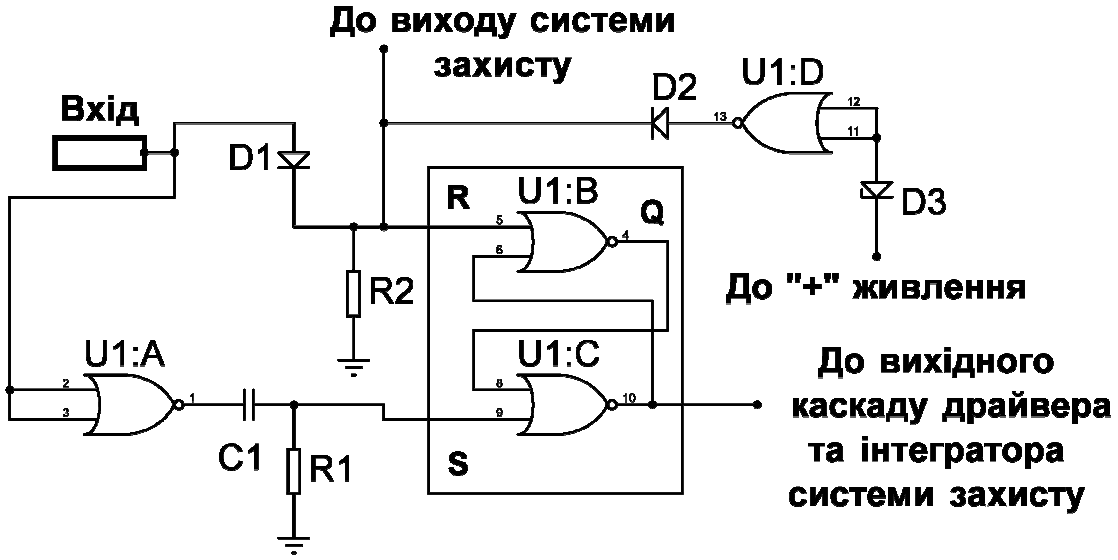


Рис. 2. Вхідний тригер

Система захисту. Система захисту може бути виконана у двох варіантах: тільки з швидкодіючим захистом, або з швидкодіючим та інтегральним захистом (рис. 3). Швидкодіючий захист запобігає перевищенню максимального струму силового транзистора, а інтегральний захист, оцінюючи час ввімкненого стану силового транзистора та струм через нього, запобігає перегріву кристала. У системі захисту були використані польові транзистори з керуючим p-n переходом (JFET) з включенням по схемі генератора струму. Два таких генератора (Q2, Q3, R2 та Q4, Q5, R3) налаштовані на однаковий струм, включені послідовно. Відповідно, в середній точці напруга буде складати половину напруги живлення. Проте зміна напруги на шунті R5, включеного в силове коло, або інтегруючій ланці (RV2, C1) змінює напругу на затворах нижніх транзисторів (Q4, або Q5), в результаті чого напруга в середній точці теж буде змінюватись. Через еміттерний повторювач, виконаний на транзисторі Q1, вона потрапляє на вхід “R” тригера, та під час перевищення струму, або досягненні порогової напруги на конденсаторі C1 блокує тригер. Стабілітроном D1 задається поріг спрацьовування захисту. Транзистор Q6 потрібен для скидання інтегратора на етапі вимкнутого стану силового транзистора.

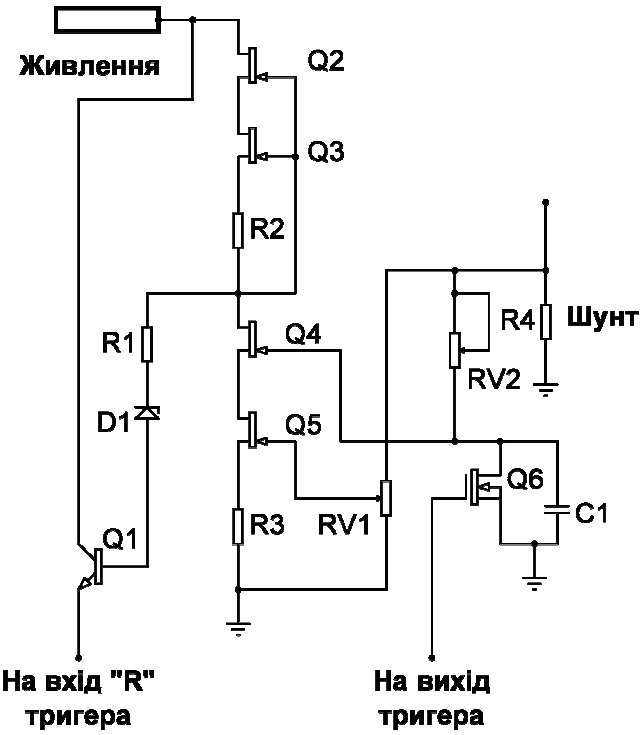


Рис. 3. Система захисту (швидкодіючий та інтегральний захист)

Загальна схема драйвера. Загальна схема драйвера (рис. 4) представлена разом з понижуючим ШІПом. Останній зібраний на елементах Q10, L1, D5, C4 та RV3 як навантаження. Під час перевантаження схема переходить у режим стабілізації струму, формуючи таким чином спадаючу ВАХ. Ця властивість схеми може бути використана в зварювальних інверторах для формування падаючої вольт-амперної характеристики, або у перетворювачах частоти для запобігання кидка струму під час пуску двигуна.

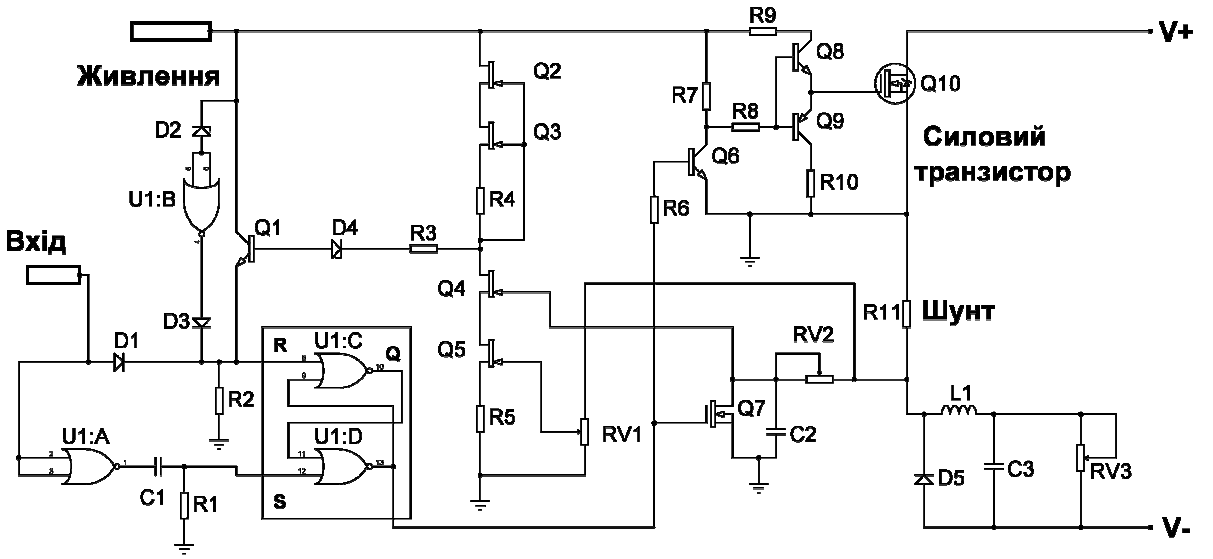


Рис. 4. Загальна схема драйвера з понижуючим ШПом як навантаження

Висновки. Враховуючи потреби сучасної силової електроніки, було розроблено драйвер, що реалізує швидкий захист ключових транзисторів, має невелику кількість елементів та низьку вартість. Крім того, він не містить моточних елементів, а отже, може бути реалізований у вигляді однієї ІМС.

Список використаних джерел

1. Рогачёв К. Д. Силовые биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT) [Электронный ресурс] / К. Д. Рогачёв. – Режим доступа: http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/publ/igbt/transistor.htm.

2. Колпаков А. И. Обеспечение защиты от перегрузки в MOSFET драйверах [Электронный ресурс] / А. И. Колпаков. – Режим доступа: http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/publ/igbt/protect.htm.

УДК 621.383.51

О.А. Велігорський, канд. техн. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ АЛГОРИТМІВ ОРІЄНТАЦІЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Розглянуто основні типи сонячних трекерів, для яких побудовані залежності вихідної потужності фотоелектричної системи від часу доби, отримані за результатами аналітичних розрахунків та експерименту. Розраховано математично та перевірено експериментально ефективність одно- та двоосьових сонячних трекерів у порівнянні з фіксованою сонячною панеллю, встановлено, що одноосьовий трекер зі слідкуванням за азимутом Сонця є найбільш оптимальним за співвідношенням ефективності роботи та затрат на реалізацію.

***Ключові слова**: фотоелектричний перетворювач, ефективність, сонячний трекер.*

Рассмотрены основные типы солнечных трекеров, для которых построены зависимости выходной мощности фотоэлектрической системы от времени суток, полученные по результатам аналитических расчетов и эксперимента. Рассчитано математически и проверено экспериментально эффективность одно- и двухосевых солнечных трекеров в сравнении с фиксированной солнечной панелью, установлено, что одноосевой трекер со слежением за азимутом Солнца является наиболее оптимальным в соотношении эффективности работы и затрат на реализацию.

The main types of solar trackers have been considered, the dependence of output power of photovoltaic systems on time of day have been obtained from the results of analytical calculations and experiment. The efficiency of single- and dual-axis solar trackers in comparison with a fixed solar panel calculated mathematically and verified by experiment. The result is shows that the single-axis tracker with azimuth-tracking of the Sun is the best in the ratio of efficiency and implementation costs.

Постановка проблеми. Однією з найбільш важливих проблем сучасної енергетики є проблема її джерел, так як споживання енергії у світі постійно зростає. Станом на кінець 2010 року загальна кількість споживаної енергії за рік склала 12 мільярдів тон у нафтовому еквіваленті [1]. Найбільш розповсюдженими на сьогодні постачальниками енергії є

викопні джерела, які складають до 81 % від загальної кількості енергії та до 67 % – електроенергії. Використання такої енергії призводить до екологічних проблем та змін клімату із-за збільшення рівня CO_2 в атмосфері. Крім того, вартість цих джерел постійно збільшується за рахунок того, що легкодоступні родовища вже використовуються, а нові є більш складними з точки зору видобутку. Значну складову вартості викопних джерел становить геополітична складова, яка призводить до різких змін вартості (як правило – у бік збільшення) за рахунок локальних конфліктів у місцях видобутку (Іранська революція, вторгнення Іраку в Кувейт і т. п.) [1]. Насамкінець, невідновлювальний характер таких джерел з часом призведе до того, що вони закінчаться на нашій планеті.

Зазначені вище проблеми викликали значний інтерес щодо питання відновлювальних та альтернативних джерел енергії. Станом на кінець 2009 року, відновлювальні джерела становили до 16 % від загального рівня видобутку. Одним із найбільш розповсюджених і дешевих серед них на сьогодні є гідроенергія, яка займає до 8 % світового ринку. Однак цей вид енергії використовується лише в певних країнах з потужною річковою системою і вже майже дійшов до насичення [2].

Найбільш швидкозростаючою відновлювальною технологією видобутку енергії нині є сонячна енергія, яка може використовуватись як для перетворення сонячного випромінювання в тепло (сонячні колектори), так і для прямого перетворення в електроенергію (пристрої, які позначають загальним терміном – фотовольтаїка). Сонячна електроенергія має велику кількість переваг, серед яких – легке поєднання з традиційними джерелами, гнучкість у монтуванні (пересувні пристрої, змонтовані на землі або на дахах чи стінах будівель), екологічність у роботі (не генерують шум та не забруднюють атмосферу), легкість та мінімальна необхідність в обслуговуванні.

Густина потужності сонячного випромінювання на поверхні землі, яка падає на поверхню, перпендикулярну до променів, становить приблизно 1000 Вт/м^2. Однак в електроенергію перетворюється лише частина, яка визначається коефіцієнтом корисної дії фотоелектричного перетворювача – сонячної панелі (СП), який, у свою чергу, залежить від матеріалу СП і становить приблизно 20 % для найбільш розповсюджених, кремнієвих панелей.

Ефективність роботи фотоелектричної системи загалом залежить від таких складових.

1. Коефіцієнта корисної дії (ефективності) фотоелектричного перетворювача – СП, який визначається матеріалом.

2. Від положення робочої точки на вольт-амперній характеристиці сонячної панелі, яка визначається приведеним до виходу сонячної панелі опором навантаження.

3. Від кута між поверхнею сонячної панелі та променями Сонця. Максимальна ефективність буде в тому випадку, коли промені падають перпендикулярно до поверхні панелі.

Відповідно, покращення ефективності можливе за рахунок розроблення нових матеріалів для фотовольтаїки, слідкування за точкою максимуму потужності на вольт-амперній характеристиці [3], а також – орієнтуючи сонячну панель за Сонцем, що реалізується в так званих “сонячних трекерах” (СТ) [4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зростання інтересу до відновлювальних джерел енергії загалом та сонячної енергії зокрема викликало значний інтерес до досліджень серед науковців по всьому світу. На рис. 1 показана загальна встановлена потужність усіх сонячних електростанцій (СЕС) у світі у порівнянні з кількістю статей у наукових журналах видавництва IEEE з проблематики ефективності використання фотовольтаїки за роки з 1996 по 2011.

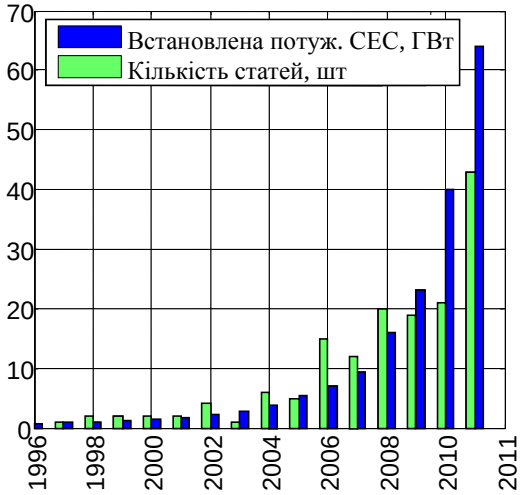


Рис. 1. Порівняння сумарної встановленої потужності СЕС у світі та кількості наукових статей у наукових журналах видавництва IEEE з проблематики ефективності використання фотовольтаїки

Досить велика кількість наукових досліджень спрямована на дослідження систем слідкування за точкою максимуму потужності (ССТМП), які дозволяють суттєво підвищити ефективність використання СП. У відомих публікаціях детально розглянуті класичні методи ССТМП (постійної напруги [5], збурення та спостереження [6], інкрементної провідності [7]), які мають високу ефективність у випадку постійних або таких, що повільно змінюються залежно від погодних умов. В інших випадках, а також в умовах часткового затінення СП класичні методи можуть неточно визначати положення точки максимуму потужності. Більшу ефективність у таких умовах мають методи, які базуються на принципах штучного інтелекту (нечітка логіка [8; 9], нейронні мережі та комбіновані нейро-нечіткі системи).

Друга група наукових досліджень у галузі ефективності фотовольтаїки пов’язана з використанням СТ, які забезпечують постійну орієнтацію нормалі до поверхні СП на Сонце. Одними з перших практично доведених результатів про підвищення ефективності СП за рахунок використання СТ були дослідження радянських учених у Казахстані [10] на сонячній електростанції, потужність якої за рахунок використання трекерів збільшилась з 375 до 500 Вт. Подальші дослідження в цій галузі проводились за декількома напрямками:

– аналіз різноманітних способів підвісу СП (одноосьове зі змінним азимутом [11], одноосьове зі змінним кутом нахилу [12], двоосьове [13]) та їх вплив на ефективність вироблення електроенергії;

– точний розрахунок положення Сонця та використання отриманих даних для програмного слідкування за світилом (сонячні трекери без зворотного зв’язку) [14-16];

– встановлення оптимальних з точки зору ефективності кутів нахилу фіксованих СП за відсутності трекеру [17-21];

– використання датчиків для орієнтації СП за Сонцем (трекери зі зворотним зв’язком) [22].

Окремо в кожному з напрямків розглядались випадки роботи у хмарну погоду, коли відсутні чітко направлені промені, а освітленість СП йде за рахунок розсіяного сонячного світла. В цьому випадку, як показали дослідження, найбільш ефективним є не слідкування за “уявним” положенням Сонця, а орієнтація СП на зеніт, що приведе до збільшення ефективності до 40-50 % при хмарних погодних умовах [23, 24].

Однією з найбільш важливих наукових проблем у сфері дослідження сонячних трекерів є оцінка ефективності роботи фотоелектричної системи, на яку будуть впливати

погодні умови для цієї місцевості (як миттєві – протягом дня, так і усереднені за місяць та рік), тип трекеру, географічні координати місцевості (довгота). У відомих наукових дослідженнях [11-13, 17-22] проводився аналіз впливу типу трекеру на кількість електроенергії, яку виробляє фотоелектрична система протягом дня для певних регіонів Землі (Китай, Туреччина, Іспанія й т. п.). Тому завдання оцінки впливу типу трекеру (одноосьовий зі слідкуванням за азимутом Сонця, зі слідкуванням за зенітним кутом Сонця, двохосьовий) на ефективність фотоелектричної системи для географічих координат і погодних умов, притаманних Україні, на сьогодні є актуальною.

Цілі статті. Відповідно, метою роботи є порівняння ефективності різних типів СТ для погодних умов, притаманних Україні, а також розробка рекомендацій на їх основі з використання трекерів.

Сонячне випромінювання. Кількість енергії, виробленої фотоелектричним перетворювачем чи сонячним колектором, у першу чергу, залежить від кількості сонячного випромінювання, яке потрапляє на фоточутливу поверхню. Наше світило створює постійну освітленість E_0 = 135000 лк на відстані від Сонця, яка дорівнює 1 астрономічній одиниці. Сонячне випромінювання, яке проходить через атмосферу Землі, містить три складові: пряме випромінювання, розсіяне атмосферою й відбите від поверхні Землі.

$$E = E_{пр} + E_{диф} + E_{відб}, \quad (1)$$

де E – загальна освітленість, лк; $E_{пр}$, $E_{диф}$, $E_{відб}$ – пряма, дифузна і відбита освітленість, лк.

У сонячні дні пряма складова досягає до 80 % від загальної кількості [25] й може бути розрахована за такою загальною формулою (для випадку, коли СП паралельна до поверхні Землі):

$$E_{пр} = E_0 \cdot p^m \cdot \cos\Theta, \quad (2)$$

де $E_{пр}$ – пряма освітленість, лк; E_0 = 135000 – освітленість на відстані 1 а.о. від Сонця (за межами атмосфери Землі), лк; $p = 0…1$ – коефіцієнт прозорості атмосфери (середнє значення – 0,8, димка – 0,6, густі хмари – 0); m – "маса" атмосфери; Θ – кут між сонячними променями та нормаллю до СП, °.

"Маса" атмосфери враховує збільшення товщини атмосфери, яку проходять сонячні промені при куті падіння більше 0°, за найбільш простою методикою вона розраховується за формулою $m = 1/\cos\Theta$.

Розсіяне (дифузне) випромінювання створюється за рахунок дисперсії на молекулах повітря та хмарах. У сонячні дні відносна частка дифузної складової освітленості складає до 20 % від загальної, в той час як у хмарну погоду – наближається до 100 % [25]. Як і для прямої складової, дифузне випромінювання залежить від "маси" атмосфери, і приблизно опівдні буде в декілька разів більшим ніж зранку та увечері, так як сонячні промені проходитимуть меншу товщу атмосфери й менше поглинатимуться.

Так як дифузне випромінювання створюється не точковим джерелом, а всією небесною напівсферою, максимальна ефективність його освоєння буде для сонячної панелі, нормаль до якої направлена в зеніт. Дифузна освітленість може бути розрахована за такою формулою:

$$E_{диф} = k_{диф} \cdot E_0 \cdot p^m \cdot (\theta + 90)/180, \quad (3)$$

де $k_{диф}$ – коефіцієнт рівня дифузного випромінювання, $k_{диф}$ = 0,1…0,2; $E_{диф}$ – дифузна освітленість, лк; θ – кут між нормаллю до СП та зенітом, °.

Відбите випромінювання буде залежати від багатьох факторів, які досить важко врахувати (альбедо поверхні в місці розташування ФЕП, будівлі й т. п.), тому, як правило, в розрахунках ця складова не враховується.

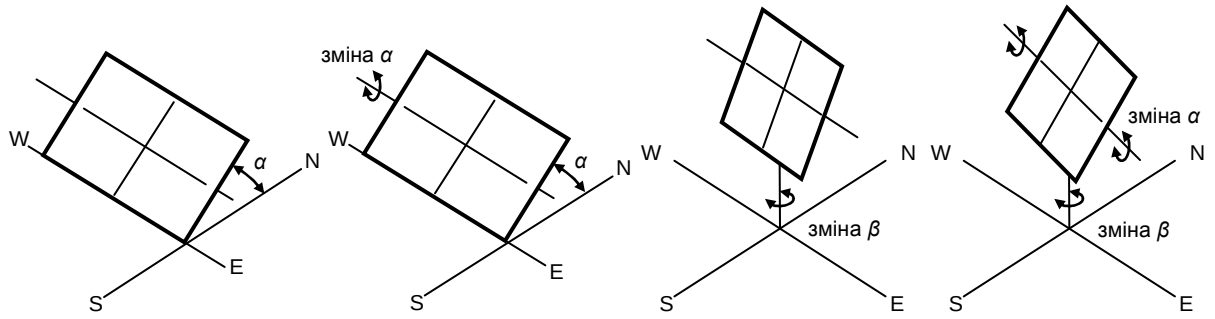
Для математичного розрахунку ефективності фотоелектричної системи будемо вважати, що:

– коефіцієнт прозорості атмосфери p = 0,8 (відсутність хмар) протягом усього дня;

– геометричні координати місця розташування ФЕП відповідають координатам м. Чернігова (широта – 51°30′00″ пів.ш., довгота – 31°18′00″ с.д.);

– сонячне випромінювання має пряму й розсіяну складову, які розраховуються за формулами (2) та (3) відповідно.

Типи сонячних трекерів. Сонячні трекери, основні типи яких наведені на рис. 2, виконують орієнтацію нормалі до поверхні СП у напрямку Сонця. Вони відрізняються кількістю осей обертання (одноосьові та двохосьові) та способом орієнтації за Сонцем (з розрахунком положення Сонця – без зворотного зв'язку, або з використанням фотоелектричних датчиків – зі зворотним зв'язком). Одноосьові трекери мають лише один двигун і за конструкцією суттєво простіші двохосьових, крім того, мають менші затрати потужності на роботу (обертання СП), і залежно від типу можуть бути зі слідкуванням за зенітним кутом α (рис. 2, б) чи за азимутом Сонця β (рис. 2, *в*).



а) *б)* *в)* *г)*

Рис. 2. Типи сонячних трекерів: фіксована СП (а), одноосьовий трекер зі слідкуванням за зенітним кутом Сонця (б), одноосьовий трекер зі слідкуванням за азимутом Сонця (в), двохосьовий трекер

Перевагою двохосьових трекерів (рис. 2, *г*) є вища ефективність, так як вони можуть забезпечити точне слідкування СП за Сонцем.

Математичний розрахунок ефективності сонячних трекерів. Основою для розрахунку ефективності використання СТ є розрахунок положення Сонця над горизонтом, який може бути виконаний за декількома методиками, найбільш простою з яких є використання описаної в [15]. Крім того, саме ця методика реалізована у вигляді m-файлу для пакету обчислень Matlab [26], який і буде використовуватись для подальших розрахунків.

Найпростішим є визначення ефективності двохосьового трекеру, так як різниця зенітних кутів та азимутів СП й Сонця в цьому випадку буде нульовою. Відповідно, для цього випадку вихідна потужність може бути розрахована за такою формулою:

$$P_{вих} = \left(E_{пр} + E_{диф}\right) \cdot P_{max} / E_{баз}, \qquad (4)$$

де P_{max} – максимальна вихідна потужність ФЕП, Вт при базовій потужності сонячного випромінювання 1000 Вт/м^2 (базовій освітленості $E_{баз}$ = 100000 лк).

Побудована за (4) залежність вихідної потужності для ФЕП з P_{max} = 1 Вт та двохосьовим трекером залежно від часу дня та номера місяця наведена на рис. 3, а. Максимальна потужність, яку вироблятиме ФЕП у листопаді-січні буде суттєво меншою, ніж у травні-липні. Це пов'язано з тим, що взимку Сонце в Україні буде дуже низько над горизонтом, і навіть за умови сонячної погоди в полудень "маса" атмосфери буде значно більшою, ніж у полудень улітку, коли сонце знаходиться значно вище.

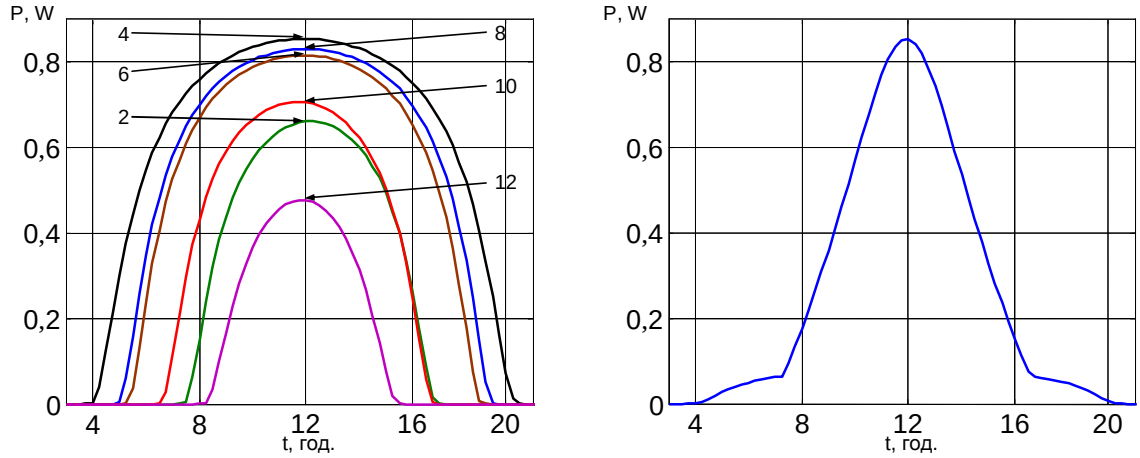
У випадку, коли використовується одноосьовий СТ зі слідкуванням за зенітним кутом Сонця, СП за азимутом орієнтується в південному напрямку (180°). Вихідна потужність для такого типу трекеру СП визначається таким чином:

$$P_{вих} = \left(E_{пр} + E_{диф}\right) \cdot P_{max} \cdot cos\left(\beta - 180\right), \text{ при } \beta = [90°...270°] \quad (5)$$

$$P_{вих} = E_{диф} \cdot P_{max} \cdot cos\left(\beta - 180\right), \text{ при інших } \beta,$$

де β – азимут Сонця, °.

У (5) враховано, що на поверхню СП будуть потрапляти лише розсіяні сонячні промені у випадку, коли азимут Сонця менший 90° і більше 270°, що буде в ті періоди, коли тривалість сонячного дня більше 12 годин.



а) *б)*

Рис. 3. Залежність вихідної потужності СП з двохосьовим трекером (а) та з одноосьовим трекером зі слідкуванням за зенітним кутом Сонця для червня (б), 2, 4, 6, 8, 10, 12 – номер місяця

Залежність вихідної потужності ФЕП від часу доби для одноосьового трекера зі слідкуванням за азимутом Сонця для червня місяця показана на рис. 3, б. Як видно з залежності, влітку такий трекер буде неефективним, так як частину ранку і частину вечора прямі сонячні промені не потраплятимуть на СП.

Для одноосьового СТ зі слідкуванням за азимутом Сонця, СП за зенітним кутом може бути орієнтована на будь-який кут, від 0° до 90°. Вихідна потужність СП для такого типу трекеру визначатиметься таким чином:

$$P_{вих} = \left(E_{пр} + E_{диф}\right) \cdot P_{max} \cdot cos\left(\alpha - \theta_{СП}\right), \quad (6)$$

де α – зенітний кут Сонця, °; $\theta_{СП}$ – зенітний кут СП, °.

Для повністю фіксованої СП панель за азимутом орієнтується в південному напрямку (180°), а за зенітним кутом може бути орієнтована на будь-який кут, від 0° до 90°), який залишається незмінним. Вихідна потужність для такого типу трекеру СП визначається таким чином:

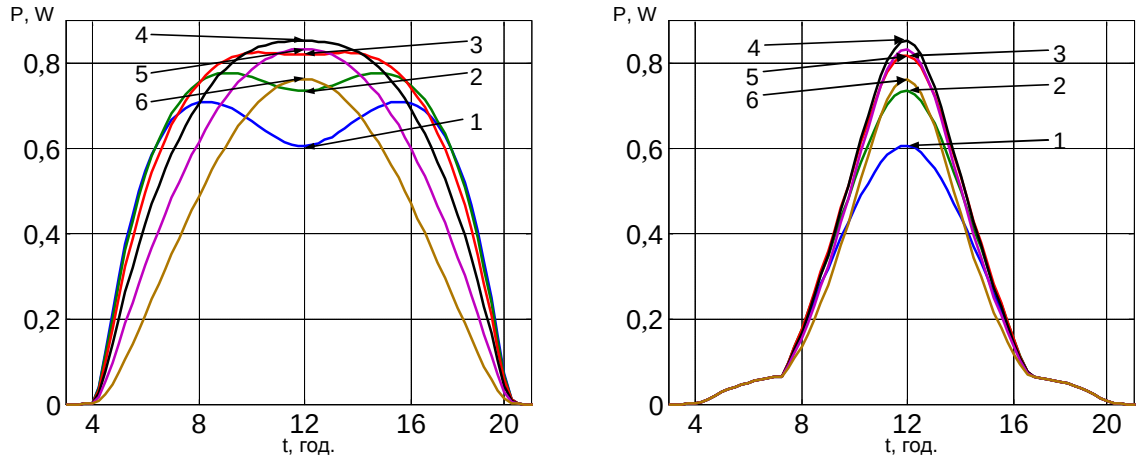
$$P_{вих} = \left(E_{пр} + E_{диф}\right) \cdot P_{max} \cdot cos\left(\beta - 180\right) \cdot cos\left(\alpha - \theta_{СП}\right), \text{ при } \beta = [90°...270°], \quad (7)$$

$$P_{вих} = E_{диф} \cdot P_{max} \cdot cos\left(\beta - 180\right) \cdot cos\left(\alpha - \theta_{СП}\right), \text{ при інших } \beta.$$

Побудовані за формулами (6) та (7) залежності вихідної потужності для різних зенітних кутів нахилу панелі показані на рис. 4, *а* та *б*, відповідно.

На основі побудованих часових залежностей максимальної вихідної потужності (рис. 3, *а*) можна розрахувати сумарну потужність $P_Д$, вироблену ФЕП за день для різних місяців року. Максимальну кількість електроенергії вироблятиме двохосьовий трекер, дані для нього залежно від номеру місяця (1 – січень, … 12 – грудень) наведені в таблиці 1. Як видно, максимальна кількість енергії за день вироблятиметься в червні, в той час як у зимові місяці ефективність фотоелектричної системи буде досить низькою.

Сумарна денна потужність для одноосьових типів трекерів та для фіксованої панелі для червня, як найбільш сприятливого для ФЕП місяця зведена в таблицю 2.



а) *б)*

Рис. 4. Залежність вихідної потужності СП для червня: з одноосьовим трекером зі слідкуванням за азимутом Сонця (а), для фіксованої панелі (б), кут нахилу панелі 1-15°, 2-30°, 3-45°, 4-60°, 5-75°, 6-90°

Таблиця 1

Потужність, вироблена СП за день сонячною панеллю з двохосьовим трекером

Місяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$P_Д$, Вт	2,74	4,46	6,34	8,23	9,62	**10,3**	10,0	8,90	7,20	5,25	3,32	2,28
$P_Д^{від}$,%	26,6	43,2	61,4	79,7	93,2	**100**	97,3	86,2	69,7	50,9	32,2	22,1

Таблиця 2

Потужність, вироблена СП за день з одноосьовим трекером та без нього

Кут нахилу СБ, °		15	30	45	60	75	90
$P_Д$, Вт	зі слідкуванням за азимутом Сонця	8,96	9,75	**9,94**	9,52	8,51	6,99
	зі слідкуванням за зенітним кутом Сонця	**4,76**					
	для фіксованої СБ	3,82	4,36	4,67	**4,72**	4,52	4,07

Як видно з даних таблиці 2, трекер зі слідкуванням за зенітним кутом Сонця й фіксованим азимутом 180° виробляє енергії лише на 0,8 % більше, ніж фіксована панель, кут нахилу якої β оптимальний для цього місяця, і для червня становить приблизно 60°. У той же час, порівнюючи ефктивність двохосьового трекеру з одноосьовим зі слідкуванням за азимутом Сонця, видно, що останній, у випадку оптимального кута нахилу СБ (біля 45 % для червня), виробляє енергії менше лише на 3,5 %. Тобто, найбільш оптимальним з точки зору співвідношення затрат на реалізацію та ефективності за результатами математичного розрахунку є саме одноосьовий трекер зі слідкуванням за азимутом Сонця.

Експериментальне дослідження ефективності сонячних трекерів. Для перевірки отриманих шляхом математичних розрахунків результатів було проведено експериментальне дослідження трьох основних типів сонячних трекерів та фіксованої панелі з точки зору їх ефективності. В експерименті використовувалась СП YH116*116-12A/B250 з параметрами: максимальна потужність P_{MAX} = 1,5 Вт, максимальний струм короткого замикання I_{K3} = 0,275 А, максимальна напруга холостого ходу U_{XX} = 7,2 В. Для реалізації сонячного трекеру використовувались два двигуни: для орієнтації за азимутом – кроковий двигун ДШИ-200-1, для орієнтації за зенітним кутом Сонця – сервопривід Corona SC-929MG. Використання сервоприводу обумовлене тим, що в двохосьовому трекері завжди присутній обертальний момент, викликаний масою СП. Відповідно, не-

бхідно забезпечити фіксацію вала двигуна в ті моменти, коли відсутній сигнал управління, що можливо для сервопривода. Враховуючи те, що математично розрахована ефективність одноосьового сонячного трекеру була низькою, в експериментальному дослідженні цей тип трекеру не перевірявся.

Система управління експериментальної установки виконана на на базі мікроконтролера Atmel AVR, який виконував розрахунок положення Сонця, формував сигнали управління для орієнтації СП за заданим алгоритмом, вимірював поточні значення напруги та струму на виході СП та зберігав їх у внутрішню пам'ять. Після завершення експерименту, який тривав увесь день 20.06.2011 р. при сонячній погоді, дані з пам'яті мікроконтролера передавались до персонального комп'ютера й оброблялись.

Експериментально отримані залежності миттєвої потужності на виході СБ від часу представлені на рис. 5.

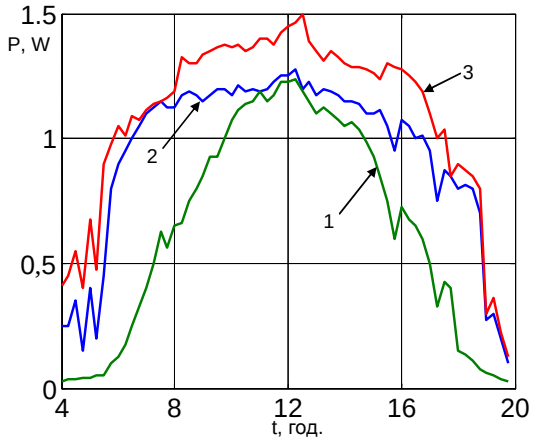


Рис. 5. Експериментальна залежність P=f(t) для СП протягом дня: 1 – фіксована, 2 – з одноосьовим трекером, слідкуванням за азимутом Сонця, 3 – з двохосьовим трекером

За результатами обробки експериментальних даних була розрахована середня потужність, яку виробляла СП протягом дня, значення P_{CEP} та різниці в ефективності між основними трекерами за результатами математичного розрахунку та експерименту наведені в табл. 3.

Як видно з рис. 5 та табл. 3, експериментальні дані свідчать про підтвердження аналітичних результатів щодо ефективності основних сонячних трекерів.

Таблиця 3

Середня потужність, вироблена за день сонячною панеллю з P_{max} = 1,5 Вт

Тип трекеру СП	P_{CEP}, Вт	$\Delta P_{EKCП}$, %	$\Delta P_{POЗР}$, %
СП фіксована	0,675	0,0	0,0
СП з одноосьовим трекером, слідкуванням за азимутом	1,004	+48,7	+110,5
СП з двохосьовим трекером	1,166	+72,7	+118,2

Висновки і пропозиції.

1. Визначено оптимальний кут нахилу СП для червня місяця, який складає 45º для трекеру зі слідкуванням за азимутом Сонця й 60º для фіксованої панелі.

2. Аналітично розраховано ефективність трьох основних типів сонячних трекерів у порівнянні з фіксованою панеллю, встановлено, що двохосьовий трекер дозволяє підвищити ефективність фотоелектричної системи на 118,2 % у порівнянні з фіксованою СП у червні місяці.

3. За результатами аналітичного розрахунку й експериментальної перевірки встановлено, що найбільш ефективим з точки зору співвідношення затрат та ефективності є одноосьовий трекер зі слідкуванням за азимутом Сонця.

4. Сонячний трекер зі слідкуванням за азимутом Сонця має ефективність, яка більше ефективності фіксованої СБ з оптимальним кутом нахилу лише на 0,8 %, і не може бути рекомендованим для використання у порівнянні з трекером зі слідкуванням за азимутом.

Список використаних джерел

1. BP Statistical Review of World Energy 2011. – 49 p.
2. Renewable energy: RD&D Priorities Insights from IEA Technology Programme. 2006 – 224 p.
3. Esram T. Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques / T. Esram, P.L. Chapman // IEEE Transaction Energy Conversion. – 2007. – Vol. 22. – №2. – P. 439–449.
4. Hossein Mousazadeha. A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output / Hossein Mousazadeha, Alireza Keyhania, Arzhang Javadib, Hossein Moblia, Karen Abriniac, Ahmad Sharifib // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2009. – Vol. 13. – №8. – P. 1800-1818.
5. G.J.Yu. A Novel Two-Mode MPPT Control Algorithm Based on Comparative Study of Existing Algorithms / G.J.Yu, Y.S.Jung, J.Y.Choi, I.Choy, J.H.Song, G.S.Kim // Proc. Photovoltaic Specialists Conference. – 2002. – P. 1531-1534.
6. Youngseok Jung. Improved perturbation and observation method (IP&O) of MPPT control for photovoltaic power systems / Youngseok Jung, Junghun So, Gwonjong Yu, Jaeho Choi // Conference Record of the Thirty-first IEEE Photovoltaic Specialists Conference. – 2005. – P. 1788-1791.
7. M. Qiang. A Novel Improved Variable Step-Size Incremental-Resistance MPPT Method for PV Systems / M. Qiang, S. Mingwei, L. Liying, J.M. Guerrero // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2011. – Vol. 58. – №6. – P. 2427-2434.
8. T. Senjyu. Maximum power point tracker using fuzzy control for photovoltaic arrays / T. Senjyu, K. Uezato // Proc. IEEE Int. Conf. Industrial Technology. – 1994. – P. 143-147.
9. J.L. Agorreta. Fuzzy switching technique applied to PWM boost converter operating in mixed conduction mode for PV systems / J. L. Agorreta, L. Reinaldos, R. Gonzalez, M. Borrega, J. Balda, L. Marroyo // IEEE Trans. Ind. Electron. – 2009. – Vol. 56. – №11. – P. 4363-4373.
10. K.A. Akhmedyarov. Economic efficiency of the FV-500 solar photoelectric station with automatic tracking of the sun / K.A. Akhmedyarov, B.A. Bazarov, B. Ishankuliev, K.E. Karshenas, G. Schaimerdangulyev // Appl. Solar Energy. – 1986. – №22. – P. 44-47.
11. İbrahim Sefa. Application of one-axis sun tracking system / İbrahim Sefa, Mehmet Demirtas, İlhami Çolak // Energy Conversion and Management. – 2009. – Vol. 50. – №11. – P. 2709-2718.
12. Ahmet Şenpinara. Evaluation of power output for fixed and two-axis tracking PV arrays / Ahmet Şenpinara, Mehmet Cebec // Applied Energy. – 2012. – Vol. 92. – P. 677-685.
13. Salah Abdallah. The effect of using sun tracking systems on the voltage–current characteristics and power generation of flat plate photovoltaics // Energy Conversion and Management. – 2004. – Vol. 45. – №11-12. – P. 1671-1679.
14. Roberto Grena. An algorithm for the computation of the solar position // Solar Energy. – 2008. – Vol. 82. – №5. – P. 462-470.
15. Ibrahim Reda. Solar position algorithm for solar radiation applications / Ibrahim Reda, Afshin Andreas // Solar Energy. – 2004. – Vol. 76. – №5. – P. 577-589.
16. Roberto Grena. Five new algorithms for the computation of sun position from 2010 to 2110 // Solar Energy. – 2012. – Vol. 86. – №5. – P. 1323-1337.
17. Tian Pau Chang. The Sun's apparent position and the optimal tilt angle of a solar collector in the northern hemisphere // Solar Energy. – 2009. – Vol. 83. – №8. – P. 1274-1284.
18. Yaow-Ming Chen. Calculation of the optimum installation angle for fixed solar-cell panels based on the genetic algorithm and the Simulated-annealing method / Yaow-Ming Chen, Chien-Hsing Lee, Hsu-Chin Wu // IEEE Transactions on Energy Conversion. – 2005. – Vol. 20. – №2. – P. 467-473.
19. Chang Ying-Pin. Effects of the Solar Module Installing Angles on the Output Power / Chang Ying-Pin, Shen Chung-Huang // ICEMI'07. 8th International Conference on Electronic Measurement and Instruments. – 2007. – №1. – P. 278-282.

20. Runsheng Tang. Installation Design of Solar Panels with Seasonal Adjustment of Tilt-Angles / Runsheng Tang, Xinyue Liu // Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference. – 2010. – P. 1-4.

21. Murat Kaciraa. Determining optimum tilt angles and orientations of photovoltaic panels in Sanliurfa, Turkey / Murat Kaciraa, Mehmet Simsekb, Yunus Baburc, Sedat Demirkolc // Renewable Energy. – 2004. – Vol. 29. – №8. – P. 1265-1275.

22. Lee C.-Y. Sun Tracking Systems: A Review / Lee C.-Y., Chou P.-C., Chiang C.-M., Lin C.-F.// Sensors. – 2009. – Vol. 9. – №5. – P. 3875-3890.

23. Nelson A. Kelly. Increasing the solar photovoltaic energy capture on sunny and cloudy days / Nelson A. Kelly, Thomas L. Gibson // Solar Energy. – 2011. – Vol. 85. – №1. – P. 111-125.

24. Nelson A. Kelly. Improved photovoltaic energy output for cloudy conditions with a solar tracking system / Nelson A. Kelly, Thomas L. Gibson // Solar Energy. – 2009. – Vol. 83. – №11. – P. 2092-2102.

25. Mila Pucar. The effect of diffuse/indirect light on the energy gain of solar thermal collectors / Mila Pucar, Aleksandar Despic // Renewable Energy. – 2005. – Vol. 30. – №11. – P. 1749-1758.

26. Sun_position.m: MatlabCentral / V. Roy // Режим доступу: http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/4605.

УДК 621.317.35

А.О. Ковтун, канд. фіз.-мат. наук
О.В. Рогоза, канд. фіз.-мат. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ВИМІРЮВАННЯ ФАЗОВИХ І ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРИЧНИХ КОЛИВАНЬ

Запропоновано новий підхід до визначення фазового зсуву між сигналами, що надходять від одного джерела чи різних джерел і подаються на входи осцилографа.

Вступ. Методи оцінки фазових зсувів в електричних колах і пристроях та вимірювання частоти за допомогою електронного осцилографа до цього часу розроблені достатньо. Але неоднозначність трактувань деяких понять, їх невизначеність у різних літературних джерелах змушує звернутись до обговорення й уточнення окремих методів осцилографічних вимірювань з метою підвищення їх ефективності.

Звернемось до найбільш поширеного методу вимірювань частоти і зсуву фаз коливань за допомогою фігур Ліссажу. Для одержання таких фігур на екрані електронно-променевої трубки осцилографа, як відомо, на його входи «x» і «y» подають окремі сигнали, що можуть походити або від одного джерела, або від різних джерел.

Розглянемо особливості осцилографічних вимірювань для кожного з випадків. Нехай маємо гармонічні коливання:

$$U = U_1 \sin(\omega_1 t + \alpha_1); \quad (1)$$

$$U = U_2 \sin(\omega_2 t + \alpha_2). \quad (2)$$

1. Сигнали на входи осцилографа надходять від одного джерела, $\omega_1 = \omega_2 = \omega$.

Регулюванням підсилення у каналах осцилографа на його екрані утворюється стійке зображення еліпса, вписаного у квадрат із стороною 2r (рис. 1), де r – амплітудні відхилення променя на екрані по горизонталі і вертикалі.

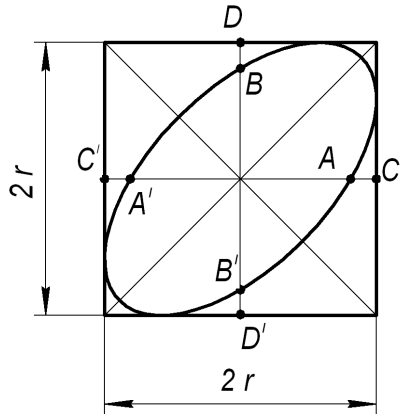


Рис. 1. Еліпс, вписаний у квадрат

Співвідношення між осями еліпса і нахил великої осі до горизонталі визначається різницею повних фазових кутів першого і другого коливань:

$\Psi_1 - \Psi_2 = (\omega t + \alpha_1) - (\omega t + \alpha_2) = \alpha_1 - \alpha_2 = \varphi$.

Рівняння еліпса у прямокутній системі координат:

$$y = x\cos\varphi + \sqrt{r^2 - x^2}\,\sin\varphi, \tag{3}$$

де x і y – координати точок еліпса.

Аналіз рівняння (3) дозволяє обчислювати фазовий зсув між коливаннями за виразами:

$$\varphi = \arcsin\frac{AA'}{CC'}, \tag{4}$$

$$\text{або } \varphi = \arcsin\frac{BB'}{DD'}. \tag{5}$$

Для оперативного визначення фазових зсувів можна використати прозору сітку з нанесеними поділками вздовж координатних осей (рис. 2).

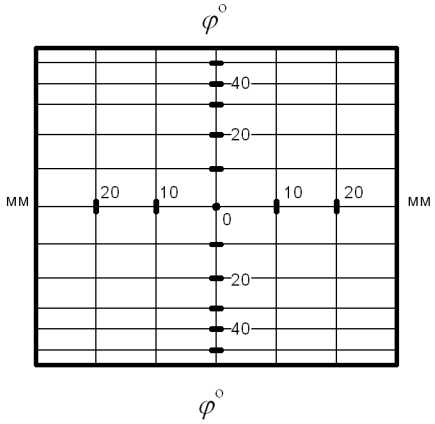


Рис. 2. Вигляд прозорої сітки для накладання на екран осцилографа

На горизонтальній осі нанесені міліметрові поділки, на вертикальній осі – поділки, що відповідають кутам φ і які розраховані на основі виразу (5). Обмежимося кутами $0 \le \varphi \le \frac{\pi}{2}$. Сітка накладається на екран. Розмір і положення еліпса регулюються так, щоб він вписувався у квадрат, як показано на рис. 1. Кут φ наближено можна визначити за точками перетину еліпса з вертикальною віссю сітки. Для більш точного розрахунку фазового зсуву користуються виразом (4).

При кутах $\frac{\pi}{4} \le \varphi \le \frac{\pi}{2}$ точність визначення кута різко знижується.

Методи та результати. Більш ефективним, на наш погляд, є інший варіант визначення кута φ. Для цього зробимо поворот осей на кут 45 °. Виконаємо перетворення виразу (3) для переходу в іншу систему координат x_1, y_1. Маємо канонічне рівняння еліпса:

$$\frac{x_1^2}{2r^2\cos^2\frac{\varphi}{2}} + \frac{y_1^2}{2r^2\sin^2\frac{\varphi}{2}} = 1. \qquad (6)$$

Велика вісь еліпса 2a = $2\sqrt{2}$ r $\cos\frac{\varphi}{2}$, мала вісь еліпса 2b = $2\sqrt{2}$ r $\sin\frac{\varphi}{2}$. Звідси:

$$\mathrm{tg}\frac{\varphi}{2} = \frac{b}{a}, \text{ або } \varphi = 2arctg\frac{b}{a}. \qquad (7)$$

Як і у попередньому випадку можна використати раніше виготовлену сітку (рис. 3).

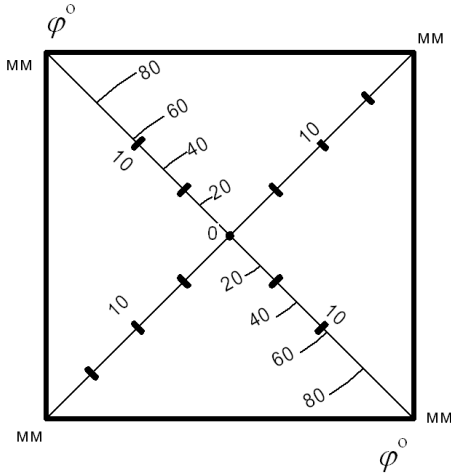


Рис. 3. Вигляд прозорої сітки з осями, повернутими на кут 45 °

Вздовж діагоналі квадрата, на якій відкладається мала вісь еліпса, поділки наносяться в міліметрах і у градусах, на другій діагоналі – поділки у міліметрах.

Правила встановлення сітки також, як і у попередньому випадку. Кут φ відлічується за точкою перетину еліпса з діагоналлю квадрата, по якій відкладається мала вісь еліпса. Для більш точного визначення кута фазового зсуву слід користуватись виразом (7).

2. Сигнали надходять від різних джерел.

У певний момент часу $\omega_1 = \omega_2 = \omega$. Внаслідок зміни температури джерел сигналів, зміни або стрибків напруги джерел та ін., частоти досліджуваних сигналів можуть мати відхилення у часі від середнього значення частоти ω:

$\omega_1 = \omega + \Delta\omega_1$,

$\omega_2 = \omega + \Delta\omega_2$,

де $\Delta\omega_1$ і $\Delta\omega_2$ – величини миттєвих відхилень частот сигналів від частоти ω.

Різниця повних фазових кутів у будь-який момент часу:

$$\psi_1 - \psi_2 = [(\omega + \Delta\omega_1)\, t + \alpha_1] - [(\omega + \Delta\omega_2)\, t + \alpha_2] = \varphi + \Delta\varphi, \qquad (8)$$

де $\Delta\varphi$ є функція часу і приймає значення у межах від нуля до $(\omega_{1max} + \omega_{2max})\, t$.

Це приводить до трансформації еліпса під час досліджень, яка буде тим більша, чим більші значення $\Delta\omega_1$ і $\Delta\omega_2$. Визначення фазового зсуву в такому випадку практично неможливою. Для прикладу наводимо форми фігур для деяких значень $\psi_1 - \psi_2$ (рис. 4). Фігури можна використовувати для порівняння частот сигналів.

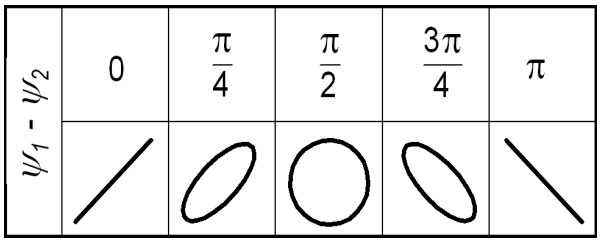


Рис. 4. Форми фігур для деяких значень повних фазових кутів

3. Сигнали значно відрізняються за частотою, $\omega_1 \neq \omega_2$.

Якщо частоти досліджуваних коливань відносяться як цілі числа, то на екрані осцилографа виникають більш складні фігури, деякі з них для різних співвідношень частот $f_x : f_y$ наведені на рисунку 5.

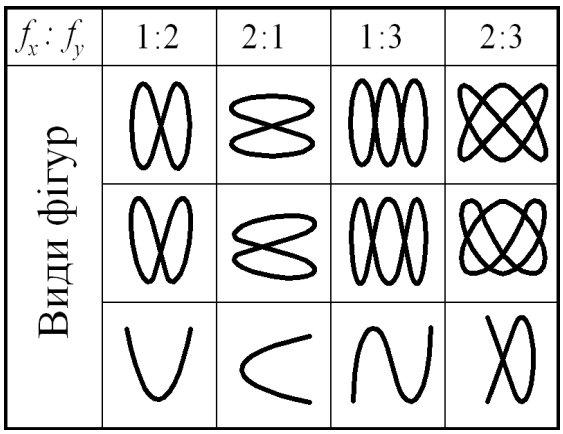


Рис. 5. Вигляд деяких фігур Ліссажу для різних співвідношень частот

Ці фігури, з вищезазначених причин, не стійкі. Швидкість зміни форми фігури визначається діапазоном частот сигналів і коефіцієнтом їх нестабільності $\gamma = \Delta f / f$.

Про вимірювання фазових зсувів для таких коливань говорити не можна, так як фазові зсуви можна визначити як різницю повних фазових кутів коливань, яка у будь-який момент часу залишається постійною. Все ж, у деяких навчальних посібниках, наприклад, [1], [2], [3], приводяться фігури Ліссажу для різних співвідношень частот і вказується кут зсуву фаз, що відповідає певній фігурі.

Список використаних джерел

1. Кучерук І. М. Загальний курс фізики: навч. посіб.: у 3 т. Т. 1: Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка / І. М. Кучерук, І. Т. Горбачук, П. П. Луцик; за ред. І. М. Кучерука. – К.: Техніка, 2006. – 532 с.: іл.

2. Трофимова Т. И. Курс физики: учебное пособие для вузов / Т. И. Трофимова. – 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: Высш. шк., 1990. – 478 с.: ил.

3. Савельев И. В. Курс общей физики: учеб. пособ.: в 3-х т. Т. 1: Механика. Молекулярная физика / И. В. Савельев. – 3-е изд., испр. – М.: Наука, 1986. – 432 с.: ил.

ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАЧІ РУКОПИСІВ НАУКОВИХ СТАТЕЙ ДО "ВІСНИКА ЧЕРНІГІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ" СЕРІЯ "ТЕХНІЧНІ НАУКИ"

Вимоги щодо підготовки рукописів статей для публікації у "Віснику Чернігівського державного технологічного університету" (далі Вісник ЧДТУ) (внесено до Переліку наукових фахових видань ВАК України, затвердженого Постановою Президії ВАК України від 10 березня 2010 р. № 1-05/2, бюлетень ВАК України № 4, 2010), розроблені з урахуванням Постанови Президії ВАК від 15.01.2003 р. № 7-05/1.

Шановні дописувачі!

Спочатку просимо надіслати Вашу статтю, оформлену за наведеними нижче вимогами, для попереднього розгляду редакційною колегією "Вісника Чернігівського державного технологічного університету". Серія "Технічні науки". Після отримання позитивного відгуку прохання сплатити вартість статті і надсилати весь пакет документів до науково-дослідної частини ЧДТУ.

1. Для публікації статті у "Віснику Чернігівського державного технологічного університету". Серія "Технічні науки" до науково-дослідної частини ЧДТУ необхідно в обов'язковому порядку подати:

– заяву на ім'я ректора з проханням опублікувати наукову статтю (для науковців з інших ВНЗ) за встановленою формою (додаток А);

– зовнішню (підписану не працівниками ЧДТУ) рецензію на статтю за підписом доктора наук;

– витяг із протоколу засідання кафедри чи лабораторії або наукового підрозділу, що рекомендує статтю до друку;

– довідку про авторів, складену за наведеною формою (додаток Б);

– роздрукований текст статті, оформленої за зразком (додаток Д);

– електронний варіант статті;

– реферат на трьох мовах (українська, російська, англійська) (додаток В);

– квитанцію про сплату вартості публікації наукової статті (додаток Г).

2. Вимоги до наукової статті. Наукова стаття повинна відповідати тематичному спрямуванню збірника і бути завізована власноручно на першій сторінці підписом автора.

Обсяг статті повинен бути такими: мінімум – 5 повних сторінок, максимум – 10 сторінок (остання сторінка має бути заповнена не менш ніж на 3/4).

Стаття подається у роздрукованому вигляді. Разом з текстом статті, який набирається з використанням комп'ютерних текстових редакторів Word for Windows 97/2000/XP, подається її електронна версія на оптичному диску CD (DVD) або надсилається електронною поштою на адресу: nachbm@mail.ru.

3. Структура статті. До друку у "Віснику Чернігівського державного технологічного університету". Серія "Технічні науки" приймаються лише наукові статті, які мають такі необхідні елементи: УДК; Автори; Назва наукової або освітньої установи, де працюють автори; Назва статті; Анотація; Постановка проблеми; Аналіз останніх досліджень і публікацій; Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми; Мета статті; Виклад основного матеріалу; Висновки і пропозиції; Список використаних джерел.

4. Параметри сторінки повинні бути такими:

Формат А4 (210 мм×297 мм).

Поля верхнє, нижнє та бокові – 25 мм.

Відступ від верхнього та нижнього колонтитула – 25 мм.

Верхній і нижній колонтитули, а також номери сторінок не вводити. Текст повинен бути вирівняний по ширині аркуша.

5. Вимоги до анотації. В анотації має бути чітко сформульована головна ідея статті та коротко обґрунтована її актуальність (обсяг до 8-10 рядків). У статті подаються анотації трьома мовами: українською, російською, англійською.

КАТЕГОРИЧНО ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ У СТАТТІ ВИКОРИСТАННЯ АВТОМАТИЧНОЇ РОЗТАНОВКИ ПЕРЕНОСІВ ТА АВТОМАТИЧНИХ СПИСКІВ. ВСІ СПИСКИ ПРОСТАВЛЯЮТЬСЯ У РУЧНОМУ РЕЖИМІ!

6. Вимоги до оформлення структурних елементів статті.

6.1. *УДК* – шрифт Times New Roman (кегель 12), курсив, вирівнювання по лівому краю без абзацу.

Автори – ***ініціали та прізвище*** кожного автора починати з нового рядка (шрифт Times New Roman (кегель 12), розміщення по лівому краю, без абзацного відступу, напівжирний), ***науковий ступінь і посада*** (шрифт Times New Roman (кегель 12), звичайний). Скорочення наукових ступенів подавати згідно з ДСТУ 3582-97 “Скорочення слів в українській мові у бібліографічному описі. Загальні правила та вимоги”.

Назва організації – місце (я) роботи автора (-ів) (вирівнювання по лівому краю без абзацного відступу, шрифт Times New Roman (кегель 10)). Після назви організації через кому вказуються місто та країна розміщення організації.

Назва статті – шрифт Times New Roman (кегель 12). Подається прописними напівжирними літерами, вирівнювання по центру без абзацу.

Анотація – шрифт Times New Roman (кегель 10), курсив, вирівнювання по ширині, абзацний відступ 0,63 см, одинарний інтервал.

Ключові слова – шрифт Times New Roman (кегель 10), вирівнювання по ширині, абзацний відступ 0,63 см, одинарний інтервал.

Основний текст – текст статті з заголовками (вирівнювання по ширині, абзац – 0,63 см, шрифт Times New Roman (кегель 12), одинарний інтервал) (додаток Д).

Розділи статті (Постановка проблеми; Аналіз останніх досліджень і публікацій; Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми; Мета статті; Виклад основного матеріалу; Висновки і пропозиції) зазначаються таким шрифтом: Times New Roman, кегель 12, напівжирний, звичайний. Після назви розділу статті ставиться крапка і продовжується текст самої статті.

6.2. Інтервали між елементами статті такі:

– УДК – автори – 1;

– автори – назва організації – 1

– назва організації – назва статті – 2;

– назва статті – анотація – 1;

– анотація – ключові слова – 1;

– ключові слова – основний текст – 1;

– основний текст – назва таблиці (верхній край рисунка, схеми, діаграми) – 1;

– назва таблиці – її верхній край (нижній край рисунка, діаграми – їхні назви) – 1;

– нижній край таблиці (назва рисунка, діаграми, схеми) – основний текст – 1;

– основний текст – список використаних джерел – 1;

– список використаних джерел – перелік літератури – 1.

Приклад оформлення статті:

УДК 621.3.05

О.В. Будьонний, канд. техн. наук
М.А. Прокопець, магістрант
Є.Ю. Коваленко, магістрант

НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна

БЕЗКОНТАКТНА ЗАРЯДКА АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ

Пропонується використання безконтактного заряду акумуляторних батарей на основі теорії теслівських процесів для передачі енергії без дротів на невеликі відстані. Розрахунок енергетичних параметрів схеми передачі енергії проводився методом часткових ємностей між передавальними та приймальними антенами з урахуванням крайових ефектів. Проведено аналіз залежності струму та напруги навантаження від таких факторів: зміщення розташування пристрою, який заряджається, відносно центру блоку підзарядки; відстані між передавальними та приймальними антенами; значення індуктивності в навантаженні; робочої частоти.

Ключові слова: безконтактна зарядка, батареї, процеси, енергія.

7. Цитати, таблиці, статистичні дані, цифрові показники, що підвищують рівень аналітичних матеріалів, подаються з посиланням на джерела. Таблиці мають бути пронумеровані й мати заголовок. Відповідальність за наведені показники несе автор.

Рисунки і таблиці необхідно подавати в статті безпосередньо після тексту, де вони згадані вперше, або на наступній сторінці.

7.1. Ілюстрації (рисунки та чорно-білі фотографії)

Під час виконання рисунків рекомендується використання Microsoft Visio 2007 (2003). За умови використання закладеної графіки Microsoft Word рисунки повинні бути згрупованими. Шрифт рисунків Times New Roman, кегель 12, курсив.

Рисунки позначають словом “Рис.” і нумерують послідовно в межах статті. Номер рисунку, його назва і пояснювальні підписи розміщують послідовно під ілюстрацією.

Наприклад: *Рис. 1. Робоча характеристика екструдера*

7.2. Таблиці

Цифровий матеріал, що наводиться в статті, як правило, повинен оформлятися у вигляді таблиць.

Розмір тексту таблиць – кегель 12. Усі таблиці повинні мати заголовки. Нумераційний заголовок таблиць (кегель 12) вирівнюють по правому краю таблиці, тематичний заголовок таблиці (по центру, кегель 12, курсив).

Наприклад:

Таблиця 1

Граничні значення режимів різання

№ досл.	$V_к$, м/с	$V_{дет}=V_к/60$	t, мм	$Q_{гр}$, мм^2/с	a_z, мкм	$a_{z\ max}$	$n/n_{різ}$
1	20	333	0.033	11	5,32	10.17	10/6
2	40	667	0,033	13	3.04	5.83	11/7
3	60	1000	0,028	18	2.01	3.78	15/10
4	80	1333	0,026	26	1.64	3.07	19/12
5	90	1500	0,025	38	1.59	2.84	25/16

Якщо таблиця не вміщується на одній сторінці, всі її колонки нумерують, а над перенесеною частиною таблиці зліва надписують: “Продовження таблиці 1”.

7.3. Формули

Використовуючи формули, необхідно дотримуватися певних правил.

Найбільші, а також довгі і громіздкі формули, котрі мають у складі знаки суми, добутку, диференціювання, інтегрування, розміщують на окремих рядках. Це стосується також і

всіх нумерованих формул. Для економії місця кілька коротких однотипних формул, відокремлених від тексту, можна подати в одному рядку, а не одну під одною. Невеликі і нескладні формули, що не мають самостійного значення, вписують усередині рядків тексту.

Стиль формул: хімічні формули набирають прямим шрифтом. Формули, на які є посилання, нумерують арабськими цифрами в круглих дужках праворуч. Обов'язково подають розшифровку літерних позначень величин у формулах. Для набору позначень фізичних величин використовують редактор формул Microsoft Equation для WINDOWS: 1) змінні, латинські літери – курсив, Times New Roman; 2) функції, цифри, українські літери – курсив, Times New Roman; 3) матриці, вектори – курсив, Times New Roman; 4) грецькі літери, символи – курсив, Symbol; 5) розміри: звичайний 11 пт, великий індекс 7 пт, малий індекс 6 пт, великий символ 14 пт, малий символ 11 пт.

Номер формули проставляється справа в кінці рядка, в круглих дужках, не виходячи на поле. Формули необхідно розташовувати по центру сторінки. Між ними та текстом витримується інтервал в один рядок.

Наприклад:

Пропонується зношення круга визначати пропорційним кількості зрізів більших граничного значення $(a_z)_{max}$:

$$Q_a(a_z) = C_1 \cdot a_z^{k_1} \cdot F(a_z) + C_2 \cdot a_z^{k_2} (1 - F(a_z)), \quad (4)$$

де $k_1<1$, $k_2>1$ – показники ступенів при товщині зрізу.

$F(a_z)$, $(1–F(a_z))$ – значення інтегральної функції розподілення розрахункової товщини зрізів, котрі визначають частку товщини зрізів, менших та більших вказаного граничного значення a_z. Інтегральна функція розподілу ймовірностей товщини стружок була знайдена за моделлю процесу шліфуваня в роботі [7].

8. Список використаних джерел необхідно складаєти за ДСТУ ГОСТ 7.1:2006 "Система стандартів з інформації, бібліотечної та видавничої справи. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання (ГОСТ 7.1–2003, IDT)".

Заголовок "Список використаних джерел" слід розміщувати посередині рядка, шрифт Times New Roman, кегель 10, напівжирний.

НЕ ДОЗВОЛЯЄТЬСЯ У СПИСКУ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ЗАЗНАЧАТИ ЛИШЕ АДРЕСУ САЙТІВ, ВОНИ ПОВИННІ БУТИ ОФОРМЛЕНІ ЗГІДНО З ГОСТом.

9. Оплата публікації. Опублікування наукових статей у "Віснику Чернігівського державного технологічного університету". Серія "Технічні науки" є платним. Вартість публікації 1 сторінки наукової статті складає **30 грн** (прохання обов'язково уточнювати вартість публікації). Оплата підтверджується квитанцією, зразок якої наведений у додатку Г.

10. Контактна інформація.

Матеріали необхідно надсилати за адресою: 14027, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95, корп. 1, к. 242 (науково-дослідна частина). Всі документи, що містять підписи та печатки, повинні бути відсканованими.

Контактні особи:

Подимова Людмила Анатоліївна.

Робочий тел.: 0462-34244.

E-mail: nachbm@mail.ru

Відповідальність за матеріали, наведені у статті, несе автор. Неправильно оформлені автором стаття та супровідні документи, що не відповідають зазначеним вимогам, розглядатися не будуть.

Додаток А

Зразок заяви на ім'я ректора

Реквізити установи

Ректору Чернігівського державного технологічного університету,
д-ру екон. наук, проф. Шкарлету С.М.

Заява

Прошу Вас надати можливість опублікувати статтю "(назва статті)" авторів (зазначаються вчені ступені, вчені звання, прізвища та ініціали авторів) у "Віснику Чернігівського державного технологічного університету". Серія "Технічні науки".

Посада керівника наукового або навчального закладу, науковий ступінь, наукове звання	підпис м. п.	ініціали та прізвище

Додаток Б

Форма для оформлення довідки про автора

ДОВІДКА ПРО АВТОРІВ

Прізвище		
Ім’я		
По батькові		
Науковий ступінь		
Вчене звання		
Почесне звання		
Місце роботи		
Посада		
Назва статті		
Обсяг статті		
Поштова адреса		
Контактна інформація	роб. тел.	
	дом. тел.	
	моб. тел.	
	e-mail	
Дата і підпис автора		

Додаток В

Приклад оформлення реферату до статті

УДК 621.3.05

О.В. Будьонний, М.А. Прокопець, Є.Ю. Коваленко. БЕЗКОНТАКТНА ЗАРЯДКА АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ.

Пропонується використання безконтактного заряду акумуляторних батарей на основі теорії теслівських процесів для передачі енергії без дротів на невеликі відстані. Розрахунок енергетичних параметрів схеми передачі енергії проводився методом часткових ємностей між передатними та приймальними антенами з урахуванням крайових ефектів. Проведено аналіз залежності струму та напруги навантаження від таких факторів: зміщення розташування пристрою, який заряджається, відносно центру блоку підзарядки; відстані між передавальними та приймальними антенами; значення індуктивності в навантаженні; робочої частоти.

Ключові слова: безконтактна зарядка, батареї, процеси, енергія.

УДК 621.3.05

А.В. Буденный, М.А. Прокопец, Е.Ю. Коваленко. БЕСКОНТАКТНАЯ ЗАРЯДКА АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ.

Предлагается использование бесконтактного заряда аккумуляторных батарей на основе теории тесловских процессов для передачи энергии без проводов на небольшие расстояния. Расчет энергетических параметров схемы передачи энергии проводился методом частичных емкостей между передаточными и приемными антеннами с учетом краевых эффектов. Проведен анализ зависимости тока и напряжения нагрузки от таких факторов: смещение расположения устройства, которое заряжается, относительно центра блока подзарядки; расстояния между передаточными и приемными антеннами; значение индуктивности в нагрузке; рабочей частоты.

Ключевые слова: бесконтактная зарядка, батареи, процессы, энергия.

УДК 621.3.05

A.V. Budenny, M.A. Prokopets, E.U. Kovalenko. NONCONTACT CHARGING OF STORAGE BATTERIES.

The use of noncontact charge of storage batteries is offered on the basis of theory of Tesla processes for the transmission of energy without wires on small distances. The calculation of power parameters of chart of transmission of energy was conducted the method of partial capacities between transmission and receiving aerials taking into account edge effects. The analysis of dependence of current and tension of loading is conducted from such factors: displacement of location of device, what recharging, in relation to the center of subcharging block; distances are between transmission and receiving aerials; a value of inductance is in loading; working frequency.

Keywords: noncontact charge, batteries, processes, energy.

Додаток Г

Бланк квитанції для оплати публікації

Заява на переказ готівки

Дт **1002** Ідентифікаційний код 05460798

Кт 31250273210037

Одержувач платежу Чернігівський державний технологічний університет

Дата здійснення операції _____

Дата валютування _____

Код установи банку 853592

Найменування установи банку ГУДК. Укр. в Чернігівській області

Прізвище, ім'я, по-батькові платника _____

Адреса платника _____

Призначення платежу за видання у збірнику 25010200

Сума _____

Загальна сума _____

(словами)

Підпис платника _____

Касир

Квитанція

Дт **1002** Ідентифікаційний код 05460798

Кт 31250273210037

Одержувач платежу Чернігівський державний технологічний університет

Дата здійснення операції _____

Дата валютування _____

Код установи банку 853592

Найменування установи банку ГУДК. Укр. в Чернігівській області

Прізвище, ім'я, по-батькові платника _____

Адреса платника _____

Призначення платежу за видання у збірнику 25010200

Сума _____

Загальна сума _____

(словами)

Підпис платника _____

Касир

Додаток Д

Приклад оформлення статті

УДК 621.3.05

О.В. Будьонний, канд. техн. наук
М.А. Прокопець, магістрант
Є.Ю. Коваленко, магістрант
НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна

БЕЗКОНТАКТНА ЗАРЯДКА АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ

Пропонується використання безконтактного заряду акумуляторних батарей на основі теорії теслівських процесів для передачі енергії без дротів на невеликі відстані. Розрахунок енергетичних параметрів схеми передачі енергії проводився методом часткових ємностей між передавальними та приймальними антенами з урахуванням крайових ефектів. Проведено аналіз залежності струму та напруги навантаження від таких факторів: зміщення розташування пристрою, який заряджається, відносно центру блоку підзарядки; відстані між передавальними та приймальними антенами; значення індуктивності в навантаженні; робочої частоти.

Ключові слова: *безконтактна зарядка, батареї, процеси, енергія.*

Предлагается использование бесконтактного заряда аккумуляторных батарей на основе теории тесловских процессов для передачи энергии без проводов на небольшие расстояния. Расчет энергетических параметров схемы передачи энергии проводился методом частичных емкостей между передаточными и приемными антеннами с учетом краевых эффектов. Проведен анализ зависимости тока и напряжения нагрузки от таких факторов: смещение расположения устройства, которое заряжается, относительно центра блока подзарядки; расстояния между передающими и приемными антеннами; значение индуктивности в нагрузке; рабочей частоты.

Ключевые слова: *бесконтактная зарядка, батареи, процессы, энергия.*

The use of noncontact charge of storage batteries is offered on the basis of theory of Tesla processes for the transmission of energy without wires on small distances. The calculation of power parameters of chart of transmission of energy was conducted the method of partial capacities between transmission and receiving aerials taking into account edge effects. The analysis of dependence of current and tension of loading is conducted from such factors: displacement of location of device, what recharging, in relation to the center of subcharging block; distances are between transmission and receiving aerials; a value of inductance is in loading; working frequency.

Keywords: *noncontact charge, batteries, processes, energy.*

Постановка проблеми. …
Аналіз останніх досліджень і публікацій. …
Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. …
Мета статті. Головною метою цієї роботи є …
Виклад основного матеріалу. …
Висновки і пропозиції. …

Список використаних джерел

1. Режим доступу: http://www.guardian.co.uk/technology/2006/nov/02/news.egovernment.
2. Ландау Л. Д. Электродинамика сплошных сред / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц // Теоретическая физика. Том 8. – М.: Наука, 1982. – 622 с.
3. Пентегов И. В. О возможности беспроводной передачи энергии с помощью тесловских процессов / И. В. Пентегов, А. Л. Приступа // Техническая электродинамика. – 2005. – № 3. – С. 11-15.
4. ….
5. ….

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ВІСНИК

ЧЕРНІГІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

СЕРІЯ «ТЕХНІЧНІ НАУКИ»

НАУКОВИЙ ЗБІРНИК

№ 2 (57)

Головний редактор	В.В. Казимир
Відповідальний за випуск	О.І. Пилипенко
Літературний редактор	Л.М. Сила
Коректор	О.С. Смєлова
Комп'ютерна верстка і макетування	В.М. Олефіренко
	Т.В. Коваленко
	С.В. Козловський

Підписано до друку 02.07.2012 р. Формат 60х84/8. Друк різограф.
Гарнітура Tames New Roman. Умов. друк. арк. – 26,39. Обл.-вид. арк. – 14,15.
Тираж 300 пр. Замовлення № 74/12.

Редакційно-видавничий відділ Чернігівського державного технологічного університету
14027, Україна, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців, виготовників і розповсюджувачів видавничої продукції серія ДК № 840 від 04.03.2002 р.