

КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТІТУТ

На правах рукопису



ХАЛІМОВСЬКИЙ ОЛЕКСІЙ МОДЕСТОВИЧ

УДК 621.867.2:62-52

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОЇ БАГАТОМІРНОЇ САК СТРІЧКОВИМ КОНВЕЙЕРОМ
З ПРОМІЖНИМ ПРИВОДОМ

Спеціальність: 05.13.07 - автоматизація технологічних процесів
та виробництв

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

Київ-1994

АВ 29. 192

Дисертація є рукопис.

Робота виконана в Київському політехнічному інституті на кафедрі електропривода та автоматизації промислових установок

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор,
академік Академії інженерних наук,
Лауреат Державної премії України,
Попович М. Г.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Клепиков В. В.
кандидат технічних наук, доцент,
Данильчук Г. І.

Провідна організація: Київський інститут УкрНДІпроект


Захист відбудеться 21 Серезня 1994 р. у 15 годин на засіданні спеціалізованої Ради Д 068.14.07 у Київському політехнічному інституті.

Відгуки у двох екземплярах, завірені гербовою печаткою, просимо надсилати за адресою: 252056, м. Київ-56, пр. Перемоги, 37, Київський політехнічний інститут, Вченому секретарю.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Київського політехнічного інституту.

Автореферат розіслано 17.02 1994 р.

Вчений секретар
спеціалізованої Ради Д 068.14.07

 — В. Д. Романенко

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00756716 (W)

В ім. В. Стефаніка
АН України

АНОТАЦІЯ

Мета дисертаційної роботи полягає у розробці оптимальної системи автоматичного керування (САК) швидкістю руху стрічкового конвейера з проміжним приводом (СКПП), яка дозволяє ефективно використати тяглову можливість проміжного приводу.

Для досягнення поставленої мети вирішені такі основні задачі:

- на основі аналізу особливостей руху СКПП розроблено математичну модель об'єкта;
- запропоновано новий спосіб керування швидкістю руху СКПП, який забезпечує сталі відношення швидкостей руху стрічок основного та проміжного конвейерів на визначеному рівні;
- проведено синтез дискретного закону оптимального керування швидкістю руху СКПП та спостерігача зниженого порядку;
- розроблені алгоритм керування та програмне забезпечення, які дозволяють реалізувати отримані закони керування;
- на підставі порівняльного техніко-економічного аналізу визначені умови ефективного використання електромагнітного фрикційного приводу.

Автор захищає:

1. Математичні моделі САК швидкістю руху СКПП.
2. Алгоритм керування швидкістю руху СКПП, який дозволяє ефективно використовувати тяглову можливість проміжного приводу.
3. Структуру САК СКПП.
4. Дискретні закони керування швидкістю руху СКПП та відповідне програмне забезпечення.
5. Результати теоретичних та експериментальних досліджень.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність вирішуваної задачі. Сучасні тенденції розвитку конвейерного транспорту характеризуються підвищенням об'ємів та відстані транспортування. Вирішення цих задач зв'язано з розробкою високопродуктивних конвейерних установок, а також із збільшенням їх довжини. Зростання довжини конвей-

ерних ліній вимагає підвищення міцності конвейерних стрічок, що веде до збільшення витрат. При цьому треба мати на увазі, що вартість стрічки сучасного конвейера може досягати (50 - 60)% його загальної вартості. Використання стрічкових конвейерів із проміжними приводами дозволяє без підвищення міцності стрічки збільшити довжину безперевантажувального транспортування.

Важливими питаннями, що виникають при використанні СКПП, є обмеження динамічних навантажень у механічних вузлах конвейера та конвейерній стрічці, запобігання виникненню автоколивальних режимів та найвигідніше використання тягової можливості проміжного конвейера. Вирішення цих питань передбачає розробку відповідної системи автоматичного керування, що потребує виконання необхідних теоретичних досліджень і визначає актуальність роботи.

Робота виконувалась у відповідності з планами науково-дослідних робіт кафедри електроприводу та автоматизації промислових установок Київського політехнічного інституту, а також із планом АН України по комплексній проблемі "Наукові основи електроенергетики на 1986-1990 роки."

Загальна методика досліджень. Сформульовані в дисертації наукові положення та висновки обґрунтовані математично з залученням: основних положень теорії автоматичного керування; законів механіки та електродинаміки; чисельних методів обрахунку і узгоджуються із теоретично одержаними висновками та результатами експериментальних досліджень.

Наукова новизна. Розроблено математичний опис явищ, що виникають при роботі стрічкового конвейера з проміжним приводом та математичні моделі відповідних електромеханічних систем. На основі виконаного аналізу запропоновано спосіб керування та структуру САК швидкістю руху СКПП. Синтезовано оптимальний дискретний закон керування.

Практична цінність. Впровадження розробленої САК дозволяє ефективно використовувати тягову можливість проміжного конвейера та виключає виникнення електромеханічних коливань в цих системах. Визначені умови ефективного використання електромагнітного фрикційного приводу.

Впровадження результатів роботи. Отримані результати прийняті Інститутом ВДЦІПмаш для використання в роботах інституту по розробці нових ефективних систем конвейер-



ного транспорту.

А п р о б а ц і я р о б о т и . Наукові та практичні результати дисертаційної роботи доповідалися на засіданнях кафедри ЕПА та семінарі "Регульовані електродвигуни та автоматизовані електроприводи змінного струму" Наукової Ради АН України по комплексній проблемі " Наукові основи електроенергетики. "

П у б л і к а ц і ї . По темі дисертаційної роботи опубліковано 5 друкованих праць.

С т р у к т у р а т а о б ' є м р о б о т и . Дисертація має: вступ, чотири глави, закінчення, перелік використаних джерел з 117 найменувань, дев'яти додатків на 56 сторінках та містить 74 сторінки основного тексту, 74 рисунка та 4 таблиці.

КОРОТКИЙ ЗМІСТ РОБОТИ.

У вступі роботи обґрунтована актуальність теми, дана загальна характеристика дисертації, а також сформульовані основні положення, які захищає автор.

Проведено аналіз різних типів проміжних приводів конвейерів в залежності від способу передачі тяглового зусилля до основного (який несе вантаж). Зроблено висновок, що найбільш перспективними є фрикційний та магнітнофрикційний привод з електромагнітами. Сформульовані вимоги та визначені системи керованого електроприводу СКПП, які відповідають цим вимогам. Проаналізовано особливості автоматизації стрічкових конвейерів із проміжним приводом і сформульована задача досліджень.

Для вирішення питання використання перспективних типів проміжного приводу була розроблена експериментальна установка та виконані дослідження для визначення питомих енерговитрат (на створення одиниці тяглового зусилля). Розроблено методику розрахунку магнітних систем, яка дозволяє знайти значення основних параметрів елементів електромагнітного фрикційного приводу. Результати експериментальних досліджень із точністю біля (10-15)% збігаються з розрахунковими.

Техніко-економічне обґрунтування використання конвейерів з електромагнітним фрикційним приводом дозволило визначити умови їх доцільного застосування. Враховуючи технологічні можливості СКПП, в роботі розроблена САК для стрічкового конвейера з фрикційним

проміжним приводом.

Враховуючи закономірності руху СКПП, що обумовлені хвильовими процесами, які відбуваються у тягловій та основній (яка несе вантаж) стрічках математичний опис таких систем виконаний за допомогою кусково-лінійної апроксимації. При створенні розрахункових схем СКПП маси частин електроприводу, що обертаються об'єднувалися з масою прилеглої до них приведені ділянки конвеєра.

Навантаження електроприводів проміжних конвеєрів визначається наявністю пари тертя і характеризується залежністю зображеною на рис. 1. Розробка електромеханічних систем з характеристиками

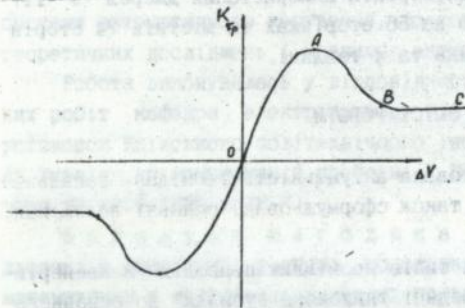


рис. 1

подібного вигляду провадилась в роботах проф. Клепикова В. В. Особливість характеристики OABC полягає у гнучкості спадаючої ділянки, яка характеризує зменшення сили тертя при збільшенні швидкості ковзання. Математичний опис руху СКПП включає наявність членів з негативними коефіцієнтами в залежності від швидкості ковзання поверхень тертя. При розробці математичної моделі, стрічка з вантажем основного конвеєра, а також стрічка проміжного були представлені у вигляді багатомасових систем, в яких елементарні крапкові маси зв'язані невагомими пружньо-в'язкими елементами. Для розрахункової схеми рис. 2 рух СКПП описується системою диференціальних рівнянь.

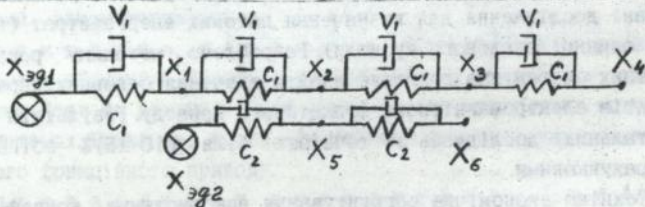


рис. 2

Відповідна структурна схема показана на рис. 3.

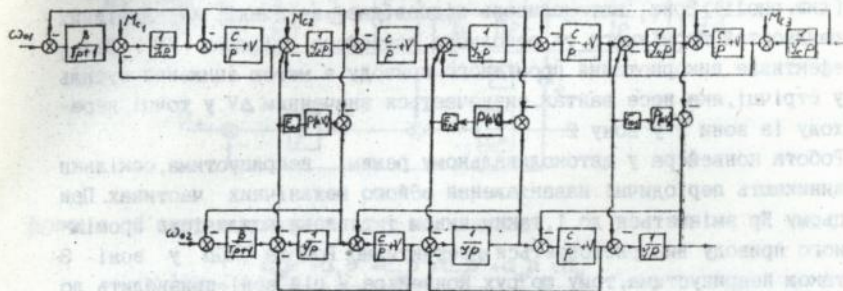


рис. 3

Для дослідження руху СКШ були застосовані чисельні методи з використанням засобів обчислювальної техніки. Програма розрахунку виконана на мові "Pascal" для чисельного рішення за методом Рунге-Кутта.

Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити висновок про наявність різних технологічних режимів сталого руху СКШ. Узагалом можна визначити три зони, зображені на рис. 4. Беззвичайний розподіл

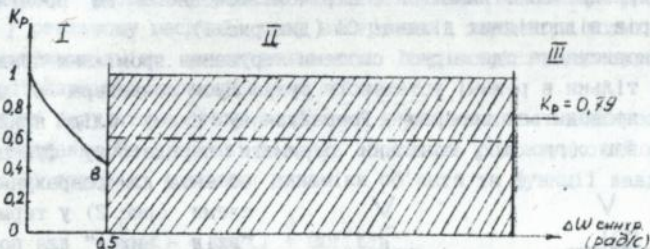


рис. 4

тяглових зусиль зручно представити якісним виразом у вигляді відношення електромагнітних моментів електродвигунів, які визначають значення тяглових зусиль.

$$K_p = M1/M2$$

(4)

Зони 1 та 3 - зони стійкого руху, зона 2 - зона автоколивань. Наявність цих зон обумовлена виглядом характеристики тертя (див. рис. 1). Зона автоколивань відповідає величині ΔV лінійних швидкостей проміжного та основного конвейєра ділянки АВ. Більш ефективне використання проміжного приводу з метою зниження зусиль у стрічці, яка несе вантаж, визначається значенням ΔV у точці переходу із зони 1 у зону 2.

Робота конвейєра у автоколивальному режимі неприпустима, оскільки виникають періодичні навантаження в його механічних частинах. При цьому K_p змінюється до 1, таким чином і тяглова можливість проміжного приводу використовується неефективно. Робота СКПП у зоні 3 також неприпустима, тому що рух конвейєра у цій зоні призводить до збільшення зносу поверхонь тертя стрічок. Таким чином, технологічна задача регулювання швидкості СКПП зводиться до підтримання величини відносних швидкостей стрічок основного та проміжного конвейєра як у пускових, так і в режимах усталеного руху. Фізично це означає мінімальне стирання поверхонь тертя обох стрічок при максимальному використанні тягової можливості проміжного приводу.

Робота системи керування здійснюється при відносних швидкостях поверхонь, що стикаються, стрічок основного та проміжного конвейєрів, відповідних ділянці ОА (див. рис. 1).

Використання одномірної системи керування проміжним приводом можливе тільки в режимі усталеного руху. Пуск конвейєра в цьому випадку проводиться програмно. Розрахункову схему слід приймати 4-х масовою (рис. 5), оскільки отримати передаточну функцію

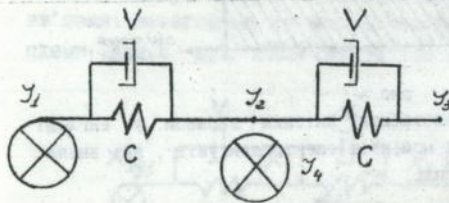


рис. 5

якій відповідає структурна схема рис. 6.

Входом системи є величина завдання швидкості двигуна проміжного приводу, виходом - швидкість обертання двигуна. Передаточна

об'єкта для розрахункової схеми (рис. 2) у термінах "вхід - вихід" для подальшого синтезу неможливо внаслідок наявності в ній розподілених перехресних зв'язків (рис. 3). Тому для здійснення процедури синтезу використовується розрахункова схема (рис. 5),

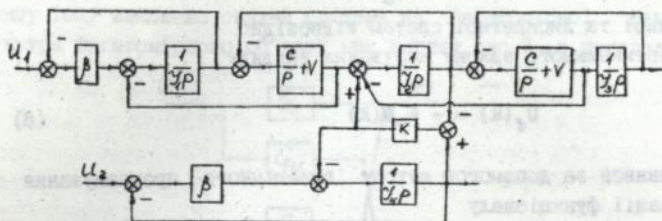


рис. 6

функція об'єкту в цьому випадку має вигляд:

$$W(p) = \frac{a_0 p^5 + a_1 p^4 + a_2 p^3 + a_3 p^2 + a_4 p + a_5}{b_0 p^6 + b_1 p^5 + b_2 p^4 + b_3 p^3 + b_4 p^2 + b_5 p + b_6} \quad (2)$$

Діапазон зміни коефіцієнтів передаточної функції (2) достатньо широкий, що визначає необхідність здійснення процедури синтезу через проміжки часу за які зміна параметрів не приведе до недопустимих відхилень регульованих величин. Умови функціонування САК узгоджуються з умовами застосування основного принципу адаптації, тому го процес змінювання характеристик об'єкту керування є більш повільним, ніж процеси у каналах адаптації. Таким чином, при роботі системи у реальному масштабі часу настроєвані параметри встигають відслідковувати зміни неконтрольованих характеристик, що означає квазістаціонарність характеристик об'єкту.

Синтез регулятора стану здійснено з урахуванням властивостей функції завдання. На підставі рівнянь спрощеної розрахункової схеми (див. рис. 3) отримані рівняння динаміки об'єкта та функції завдання

$$\dot{X}(t) = DX(t) + Gu_f(t) \quad (3)$$

$$\dot{w}(t) = Vw(t) \quad (4)$$

та дискретне поширене рівняння динаміки

$$\begin{aligned} \Phi(k+1) &= \begin{bmatrix} A & O \\ O & W \end{bmatrix} \Phi(k) + \begin{bmatrix} B \\ O \end{bmatrix} U_z(k) = \\ &= A^* \Phi(k) + B^* U_z(k), \end{aligned} \quad (5)$$

де $\Phi(k) = \begin{bmatrix} X(k) \\ w(k) \end{bmatrix}$ - поширений вектор стану системи;

D та A, B та E, V та w - матриці стану, керування, завдання безпе-

рельної та дискретної систем відповідно.
Пошук оптимального закону керування вигляду

$$U_f(k) = -K_y \Psi(k) \quad (6)$$

здійснювався за допомогою методу динамічного програмування при мінімізації функціоналу

$$J = \sum_{k=0}^{\infty} [\Phi^T(k) Q \Phi(k) + R U_f^2(k)] \quad (7)$$

де Q - матриця вагових констант;

R - вагова матриця керування;

Матриця коефіцієнтів оптимального регулятора

$$K_y = (B^{*T} P B^* + R)^{-1} B^{*T} P A^* \quad (8)$$

була визначена після рішення ітераційним методом рівняння Рікати

$$P = A^{*T} P A^* - A^{*T} P B^* (B^{*T} P B^* + R)^{-1} B^{*T} P A^* + Q \quad (9)$$

Оскільки для реалізації оптимального регулятора необхідно мати інформацію про всі змінні стану X(k) системи, для відновлення інших координат, при відомій швидкості обертання двигуна проміжного приводу, синтезовано спостерігач зниженого порядку, рівняння котрого має вигляд

$$\hat{V}(k+1) = A_e \hat{V}(k) + B_e U_f(k) + H_e Y(k), \quad (10)$$

де A_e, B_e, H_e - матриці спостерігача.

Відновлювані координати зв'язані з рівнянням (10) залежності

$$\hat{X}_a(k) = \hat{V}(k) + H Y(k) \quad (11)$$

Результати моделювання перехідних процесів у замкнутій одинірній САК із лінійно зростаючою величиною завдання показують, що якість перехідних процесів у цьому випадку недостатня. Налаштовані параметри не встигають відслідковувати зміни характеристик

об'єкту. Тому виконано синтез системи як багатомірної. Канонічна структура багатомірного об'єкту має вигляд рис. 7, з передаточними

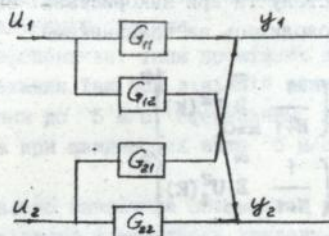


рис. 7

функціями

$$G_{11}(p) = Y_1(p)/U_1(p) \quad (12)$$

$$G_{22}(p) = Y_2(p)/U_2(p) \quad (13)$$

$$G_{12}(p) = Y_2(p)/U_1(p) \quad (14)$$

$$G_{21}(p) = Y_1(p)/U_2(p) \quad (15)$$

де U_1, U_2 - входи об'єкту (відповідно величини швидкостей електродвигунів головного та проміжного електроприводів);

Y_1, Y_2 - виходи об'єкту (відповідно швидкості стрічки головного конвейера у місці взаємодії з проміжним та швидкості проміжного електродвигуна).

У матричній формі передаточна функція СКПП має вигляд

$$\begin{vmatrix} Y_1(p) \\ Y_2(p) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} G_{11}(p) & G_{21}(p) \\ G_{12}(p) & G_{22}(p) \end{vmatrix} \begin{vmatrix} U_1(p) \\ U_2(p) \end{vmatrix} \quad (16)$$

Далі були отримані безперервні та дискретні рівняння динаміки системи.

Розроблений алгоритм керування дозволяє виконати розрахунок параметрів регулятора САК та здійснити пряме керування швидкістю руху при роботі СКПП. Дослідження динаміки САК з оптимальним регулятором проведено за допомогою рівняння замкнутої системи вигляду

$$\Phi(k+1) = (A^* - B^* K_y) \Phi(k) \quad (17)$$

При цьому розглядалась робота системи при наявності інформації про всі змінні стану та при використанні спостерігача. Оцінка якості керування проводилась за показниками

$$S_e = \left(\frac{1}{N+1} \sum_{k=0}^{\infty} Y^2(k) \right)^{1/2} \quad (18)$$

$$S_u = \left(\frac{1}{N+1} \sum_{k=0}^{\infty} U^2(k) \right)^{1/2} \quad (19)$$

де S_e - середньоквадратична помилка керування;

S_u - середньоквадратичне значення керуючих змінних (витрати на керування).

Проведені дослідження динаміки САК підтвердили можливість керування СКПП за допомогою розробленої багатомірної системи.

У заключенні наведені основні висновки та результати роботи. У додатках дисертації подаються розрахунки: економічної ефективності використання систем проміжного приводу; параметрів електромагніта електромагнітного фрикційного приводу. Наведені також розроблені програми: розрахунку математичних моделей та дискретних рівнянь системи; рішення рівняння Ріккати; синтезу спостерігача зниженого порядку; розрахунку перехідних процесів САК, а також документи, які підтверджують використання результатів роботи.

Основні результати роботи

1. На основі аналізу технологічних особливостей та робіт в галузі застосування стрічкових конвейерів із проміжними приводами показано актуальність задачі автоматичного керування такими об'єктами.

2. Розроблена математична модель СКПП і її дослідження дозволили виявити існування двох різних технологічних режимів усталеного руху (стійкого та автоколивального, що дало змогу сформулювати задачу автоматичного керування об'єктом та обґрунтувати доцільність побудови цифрової системи керування.

3. Показано, що одномірна САК СКПП не дозволяє забезпечити вимоги до показників якості.

4. Синтезований методом простору стану оптимальний дискретний

закон керування багатомірної САК СКПШ, що мінімізує суму квадратів помилок, забезпечує виконання існуючих вимог до якості керування, а спостерігач зниженого порядку - відновлювання незмірюваних координат та технічну реалізацію системи.

5. Визначені перспективні типи проміжних приводів та умови їх ефективного використання. Так, при лінійній швидкості руху стрічки конвейерної установки до 5 м/с ефективним виявився фрикційний проміжний привод, а при швидкостях вище 5 м/с - електромагнітний фрикційний привод.

6. Експериментально визначена оптимальна конфігурація магнітопроводу електромагнітного фрикційного приводу. Розроблена методика визначення параметрів елементів системи. Встановлено, що при оптимальній конфігурації електромагнітів питомі витрати електроенергії на одиницю тяглового зусилля можуть скласти не більше 30 Вт/кГ.

7. Впровадження запропонованої САК швидкістю руху дозволяє ефективно використовувати тяглову можливість проміжного конвейера та виключає виникнення електромеханічних коливань у цих системах. Очікуваний економічний ефект від впровадження результатів роботи на одному СКПШ складає більш як 60 тис. крб. у цінах 1989 року.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ ВІДОБРАЖЕНИЙ У ТАКИХ ПУБЛІКАЦІЯХ :

1. Мамалыга В. М., Печеник Н. В., Барков В. А., Фролов В. Н., Халимовский А. М. Исследование магнитных систем электромагнитных фрикционных электроприводов ленточных конвейеров // Вест. Киев. политехн. ин-та. Электроэнергетика. - 1991. - Вып. 28. - с. 28-30.

Здобувачем виконані експерименти та аналіз отриманих результатів.

2. Мамалыга В. М., Печеник Н. В., Барков В. А., Фролов В. Н., Халимовский А. М., Клименко А. Г. Управление конвейером с промежуточными приводами // Вест. Киев. политехн. ин-та. Электроэнергетика. - 1990. - Вып. 27. - с. 78-80.

Здобувачем проведено ряд розрахунків та підготовка тексту до друку.

3. Печеник Н. В., Мамалыга В. М., Боровская Т. Т., Аль Галайни М. М., Халимовский А. М. Выбор экономически целесообразной системы привода ленточных конвейеров // Вест. Киев. политехн. ин-та. Электроэнергетика. - 1990. - Вып. 27. - с. 76-77.

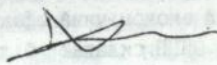
Здобувачем проведені ряд розрахунків та підготовка тексту до друку.

4. Разработка принципов оптимизации систем непрерывного транспорта. Отчет о НИР / Библ. КПИ 13.12.93, N 2123; -78с.: ил. -Библиогр.: с. 64-66.

Здобувачем розроблена математична модель стрічкового конвейера з проміжним приводом, сформульовано засіб керування СКПП, розроблена САК швидкістю руху СКПП.

5. Разработка системы обеспечения согласованной работы промежуточных электроприводов многоприводных ленточных конвейеров и их управление и поисковые исследования промежуточного привода с магнитным прижимом лент: Отчет о НИР/УкраИНТИ; N ГР 01870047538; -К., 1988. -160 с.: ил. - Библиогр.: с.156-160.

Здобувачем запропонована методика визначення параметрів пружньо-в'язкої частини стрічкового конвейера.



Підп. до друку 07.02.94 . Формат 60×84^{1/16}.
Папір друк. № 3 . Спосіб друку офсетний. Умовн. друк. арк. 0,70 .
Умовн. фарбо-відб. 0,54 . Обл.-вид. арк. 1,0 .
Тираж 100 . Зам. № 4-53 »

Фірма «ВІПОЛ»
252151, Київ, вул. Волинська, 60.

460823

AB 29.192