



УКРАЇНА

(19) UA (11) 35841 (13) A

(51) 6 B01F3/08, B01F7/04

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ КАВІТАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПОТОКУ ТА КАВІТАЦІЙНИЙ РЕАКТОР ДЛЯ ЙОГО ЗДІЙСНЕННЯ

(21) 98126962

(22) 29.12.1998

(24) 16.04.2001

(33) UA

(46) 16.04.2001, Бюл. № 3, 2001 р.

(72) Федоткін Ігор Михайлович, Яхова Наталія
Анатоліївна(73) Федоткін Ігор Михайлович, Яхова Наталія
Анатоліївна

(57) 1. Спосіб кавітаційної обробки технологічного потоку шляхом створення в потоці рідини поля кавітаційних пузирчиків під впливом гідродинамічної кавітації, який включає в себе обтікання кавітатора потоком рідини, утворення в сліді за ним каверни, природного розпаду каверни на парогазові порожнечі та кавітаційні пузирчики і замикання їх у потоці в зоні підвищеного тиску, який **відрізняється** тим, що додатково виконуються операції пульсаційної подачі газової фази в каверну та нагнітальний технологічний потік, відсмоктування парогазу з каверни шляхом застосовування пульверизаційного ефекту, калібрування кавітаційних та газових пузирчиків при русі парогазу по калібруючим каналам, утворення суміші каліброваних пузирчиків з основним технологічним потоком, генерація ударних хвиль шляхом пропускання суміші рідини та газу через сопла Лавалю, подрібнення кавітаційних каверн шляхом вібрацій кавітаційної системи та пульсаціями нагнітального технологічного потоку, змикання кавітаційних пузирчиків в потоці в зоні підвищеного тиску шляхом накладення гідроударів на вихідний потік, створення флоатційного ефекту з'єднання часток суміші технологічного потоку з кавітаційними пузирчиками при багаторазовому розширенні та стисненні потоку.

2. Кавітаційний реактор, який складається з циліндричного корпусу з патрубками нагнітання та відводу технологічного потоку та встановленого коаксіально корпусу кавітатора, що виконаний у вигляді зрізаного конусу, який **відрізняється** тим, що додатково має предкавітатор, що встановлений по

ходу потоку перед основним кавітатором, при цьому предкавітатор має осьовий та радіальні отвори, вхід яких зв'язаний з пульсатором через отвори в стрижні та полії розетці, причому виходи радіальних отворів виходять на торець предкавітатора, який має вигляд зубчастого вінця, а кавітатор має, крім конусної частки, ще й циліндричну, при цьому в його тілі виконані осьовий та радіальні канали, які спілкуються між собою, а вихід з них направлений в кільцевий зазор між кавітатором та циліндричним корпусом перед соплами Лавалю, причому по осі реактора розташована центральна трубка, один кінець якої з'єднаний з входом радіальних каналів кавітатора, а інший з'єднаний з торцем предкавітатора та має отвори, виконані безпосередньо у торці предкавітатора, причому кавітатор та предкавітатор розташовані на стрижнях у ступицях розеток з можливістю поздовжніх коливань, які розташовані між фланцями циліндричного корпусу та патрубками нагнітання та відводу технологічного потоку, а виходи радіальних каналів - на циліндричній частині кавітатора - прикриває кавгуючий парасольковидний щиток, що закріплений на ній, і вихідна частина кавітатора має вигляд зрізаного конусу, що звернений своєю вершиною в сторону вихідного патрубка, при цьому сопла Лавалю утворені декількома кільцями, які мають вигляд рівнокутового трикутника в осьовому перерізі і розташовані безпосередньо за кавітатором на стрижні.

3. Кавітаційний реактор по п. 2, який **відрізняється** тим, що на вході в реактор встановлений пульсатор.

4. Кавітаційний реактор по п. 2, який **відрізняється** тим, що на вході в реактор встановлений вібратор, що створює осьові коливання кавітаційної системи на стрижнях, які вільно посаджені в ступицях розеток.

5. Кавітаційний реактор по п. 2, який **відрізняється** тим, що на виході з реактора за вихідним патрубком встановлений генератор гідроударів.

Винахід має відношення до способів кавітаційної обробки рідких середовищ, розчинів, суспензій, емульсій, очищення стічних вод, які забруднені виоконцентрованими органічними ре-

човинами, та реакторів, що їх здійснюють.

Винахід може бути використаний в хімічній, харчовій, целюлозо-паперовій, нафтохімічній, парфюмерній промисловості, у виробництві буді-

(19) UA (11) 35841 (13) A

вельних матеріалів та очищенні стічних вод м'ясокомбінатів.

Відомий спосіб кавітаційної обробки технологічної суміші на режимі початкової кавітації, коли кавітаційні пазирчики утворюються в результаті швидкісного обертання мішалки в ємкості з рідиною [1].

Недоліком цього способу є великі питомі витрати на змішування, низька ефективність способу, наявність зон гідродинамічного застою та кавітаційної ерозії змішуючого пристрою.

Відомий спосіб кавітаційної обробки рідини в технологічному потоці, що рухається з швидкістю 11-20 м/с, який включає в себе операції створення кавітаційної каверни за кавітатором, природний розпад кавітаційної каверни на різномірні кавітаційні пазирчики та парогазові порожнечі, створення зони підвищеного тиску, шляхом розширення вихідного патрубку відводу рідини, де відбувається змикання якоїсь частини кавітаційних пазирчиків [2].

Недоліком цього способу є низька ефективність, яка зумовлена великим розкиданням розмірів кавітаційних пазирчиків і великих порожнеч, які утворюються при розпаді хвостової частки каверни, зносяться потоком і характеризуються низьким кавітаційним та флотаційним ефектом. Це значно зменшує енергетичну ефективність способу в цілому та потребує багаторазової рециркуляції технологічної рідини для досягнення потрібного технологічного ефекту.

Відомі конструкції кавітаційних апаратів [3, 4, 5] реалізують один і той же спосіб створення кавітаційної каверни в потоці рідини, коли вона обтікає будь-яку перепону (конус, куплю, циліндр, крила лопаті і таке інше) з подальшим природним розпадом каверни на різномірні кавітаційні пазирчики та великі парогазові порожнечі, що відриваються від хвостової частки кавітаційної каверни. При цьому велика кількість парогазу не використовується для інтенсифікації кавітаційної обробки рідкого потоку у зв'язку з винесенням таких великих порожнеч потоком без кавітаційного змикання.

Відомий гідродинамічний кавітаційний реактор для розмолу волокнистої маси, який складається з проточної камери з встановленими в ній навігаторами, що виконані у вигляді зрізаних конусів [3].

Відомий кавітаційний реактор, який має проточну циліндричну камеру з встановленим в ній кавітатором і патрубок нагнічення реагенту [4].

Найбільш близьким до винаходу є гідродинамічний кавітаційний реактор, який має циліндричний корпус з патрубками нагнічення та відводу технологічного потоку та встановленим в ньому коаксіально кавітатором, який виконаний у вигляді зрізаного конуса [5].

Недоліком цього реактора є низька ефективність, яка зумовлена великим розкиданням розмірів кавітаційних пазирчиків і великих парогазових порожнеч, які утворюються при розпаді хвостової частки каверни та притаманним їм низьким кавітаційним ефектом дії.

В основу винаходу була поставлена задача створення високоефективного способу обробки технологічного потоку рідини, який би запобігав утворенню крупних парогазових порожнеч, та сприяв би утворенню рівнокаліброваних дрібних за

розміром газових та кавітаційних пазирчиків, які мають високу ефективність кумулятивної дії на технологічні потоки рідини. Це особливо важливо для процесів змішування рідинного технологічного потоку з газовою фазою при очищенні стічних вод, так як кавітаційна каверна, що вентилюється газовою фазою, характеризується безперервним виносом газової фази та кавітаційних пазирчиків по вихрових шнурках [6].

Така задача вирішується шляхом здійснення послідовно по потоку операцій утворення кавітаційної каверни, згідно з винаходом, пульсаційної подачі газової фази в каверну та в нагнітальний технологічний потік, відсмоктуванні парогазу з каверни шляхом застосування пульверизаційного ефекту, калібрування кавітаційних та газових пазирчиків при русі парогазу по калібровочних каналах, утворення суміші каліброваних пазирчиків з основним технологічним потоком, генерація ударних хвиль шляхом пропускання суміші рідини та газу через сопла Лавалю, подрібнення кавітаційних каверн шляхом вібрацій кавітаційної системи та пульсаціями нагнітального технологічного потоку, змикання кавітаційних пазирчиків в потоці в зоні підвищеного тиску шляхом накладання гідроударів на вихідний потік, створення флотаційного ефекту з'єднання часток суміші технологічного потоку з кавітаційними пазирчиками при багаторазовому розширенні та стисненні потоку.

Виконання цих додаткових операцій, згідно з винаходом, дозволяє зменшити кратність рециркуляції рідини через реактор і досягти потрібного технологічного ефекту кавітаційної обробки без збільшення питомих енерговитрат.

Поставлена ціль досягається в кавітаційному реакторі шляхом вдосконалення відомої конструкції [5].

В кавітаційний реактор додатково вводиться предкавітатор, який встановлений по ходу потоку перед кавітатором. При цьому в тілі основного кавітатора виконані осьовий та нахилений по потоку радіальні канали, що спілкуються, причому вихід з них направлений в кільцевий зазор між кавітатором та корпусом. Кавітатор має, крім конусної частки, ще й циліндричну. За кавітатором розташовані сопла Лавалю. Завдяки калібруванню кавітаційних пазирчиків запобігається утворення та відрив від хвостової частки каверни мало-ефективних крупних парогазових порожнеч, а здійснюється рух каліброваної суміші кавітаційних та газових пазирчиків з надзвуковою швидкістю в соплах Лавалю. Завдяки дії ударних хвиль, що утворюються при проходженні двофазної суміші в соплах Лавалю, підсилюється кумулятивний ефект від змикання кавітаційних пазирчиків, що приводить до підвищення ступеню диспергованості технологічного потоку та підвищенню газонасиченості рідини.

По осі кавітаційного реактора розташована центральна трубка, один кінець якої з'єднаний з входом радіальних каналів кавітатора, а другий - з'єднаний з торцем предкавітатора, який має вигляд зубчастого вінця. Предкавітатор має осьовий та радіальні отвори, вхід яких зв'язаний з пульсатором через отвори в стрижні та полії розетці. Виходи радіальних отворів виходять на торець предкавітатора. Кавітатор та предкавітатор розта-

шовані на стрижнях у ступицях центральних розеток з можливістю поздовжніх коливань, які розташовані між фланцями циліндричного корпусу та патрубками нагнітання та відводу технологічного потоку. Виходи радіальних каналів на циліндричній частині кавітатора прикриває кавітуючий парасольковидний щиток, що закріплений на ній. Він запобігає замкненню виходів каналів від удару струменя, що утворюється за предкавітатором.

Вихідна частина кавітатора має вигляд зрізаного конуса, що звернений своєю вершиною в сторону вихідного патрубка. Сопла Лавалю утворені декількома кільцями, які мають вигляд рівнокутового трикутника в осьовому перерізі і закріплені на отриманні.

На вхіді в реактор встановлений пульсатор, що пульсаційно насичує технологічний потік та каверну за предкавітатором порціями газу чи повітря, та вібратор, що створює осьові коливання кавітаційної системи на стрижнях, які вільно посажені в ступицях центральних розеток. Дія вібрацій та пульсацій приводить до примусового розпаду каверн, що утворюються за кавітатором та предкавітатором, надають їм суттєво нестационарний характер. Пульсації газовою фазою каверни, що утворюються за предкавітатором, та нагнітального технологічного потоку від пульсатора створюють суміш різної щільності, яка насичена маленькими газовими та парогазовими пазирчиками, які полегшують створення кавітаційної каверни за предкавітатором, та періодично руйнують її поверхню.

На виході з реактора за вихідним патрубком встановлений генератор гідродударів, який створює послідовну дію високого тиску, яка в десятки разів вища, ніж в відомих пристроях. Це дає змогу досягти майже 100% змикання кавітаційних пазирчиків та підвищує подальший флотаційний ефект при очищенні стічних вод.

На фігурі зображений кавітаційний реактор для реалізації способу кавітаційної обробки технологічного потоку.

Кавітаційний реактор складається з циліндричного корпусу 1, патрубка нагнітання 2 та патрубка відводу технологічного потоку 3. Патрубок відводу 3 має дифузорну камеру, яка виконана у вигляді конічного розтрубу, який розширюється.

По центру корпусу 1 закріплений на стрижні 4 кавітатор 5, а на порожнистому стрижні 6 предкавітатор 7. Стрижень 4 розташований у ступиці 8 розетки 9, а порожнистий стрижень 6 у ступиці 10 розетки 11. Розетка 11 має отвори, які з'єднані з пульсатором 12. Вона закріплена між фланцями корпусу 1 і нагнітальним патрубком 2. Розетка 9 закріплена між фланцями корпусу 1 і патрубком відводу потоку 3. Кавітатор 5 та предкавітатор 7 виконані у вигляді зрізаних конусів, що зорієнтовані своїми вершинами назустріч потоку. Кавітатор 5 та предкавітатор 7 мають отвори по центру, які з'єднані між собою трубкою 13, що має отвори 14 в боковій стінці, і які розташовані безпосередньо перед торцем предкавітатора 7. В тілі його є осьовий та радіальні канали 15, що з'єднують порожнистий стрижень 6 з торцем предкавітатора 7, основа якого виконана як зубчастий вінець 16. Ступиця 10 має кільцевий паз для проходження газу в порожнистий стрижень 6 через

отвір в розетці 11 від пульсатора 12.

Конічна поверхня кавітатора 5 по ходу потоку переходить в циліндричну. На циліндричній поверхні кавітатора 5 є виходи радіальних каналів 14, які з'єднані вхідним кінцем з центральним отвором в кавітаторі 5 і трубкою 13. Після конічної поверхні кавітатора 5 на початку циліндричної частки закріплений парасольковидний кавітуючий щиток 17. Циліндрична поверхня кавітатора 5 закінчується по ходу потоку конічною поверхнею, яка звернена вершиною до патрубка відводу потоку 3.

За кавітатором 5 по ходу потоку на стрижні 4, який вільно входить в ступицю 8 розетки 9, насажені кільця 18, які мають вигляд трикутника в перерізі з кутом $60^\circ \pm 10^\circ$. Їх може бути $2 \div 5$. В осьовому перерізі кільця 18 утворюють з корпусом 1 сопла Лавалю, які забезпечують послідовне раптове звуження та розширення технологічного потоку.

Дифузорний патрубок відводу потоку 3 закінчується на виході циліндричною камерою 19.

В нагнітальному патрубку 2 або поза ним, розташовані пульсатор 12 і вібратор 20.

В циліндричній камері 19, на виході з кавітаційного реактора, розташований генератор гідродударів 21.

Кавітаційний реактор працює наступним чином.

Технологічний потік під тиском подається через вхідний патрубок 2 до корпусу 1, насичується невеликими порціями газу від пульсатора 12 та послідовно обтікає предкавітатор 7 та кавітатор 5. При обтіканні предкавітатора 7 за ним утворюється кавітаційна каверна, при цьому зубчастий вінець 16 на торці предкавітатора 7 розпилює технологічний потік газорідної суміші та утворює краплинний туман на границях цієї каверни. В каверну від пульсатора 12 подаються порції газу під різним тиском через отвори у вхідному патрубку 2 і розетці 11, паз в ступиці 10, порожнистий стрижень 6 та осьовий і радіальні отвори 15. Каверна отримує нестационарні коливання, що сприяють її подрібленню.

За кавітатором 5 утворюється дві каверни. Одна з них утворена парасольковидним кавітуючим щитком 17, який прикриває виходи радіальних каналів 14, а інша утворюється за торцевою конічною поверхнею кавітатора 5.

У каверні, що утворена за предкавітатором 7, тиск P_{K1} буде більший ніж в каверні, що утворена за парасольковидним кавітуючим щитком 18, P_{K2} . Це сприяє самозасмоктуванню парогазу з каверни за предкавітатором 7 через перфоровані отвори 14 частку трубки 13 до каліброваних радіальних каналів 14 в зазор між кавітатором 5 та корпусом 1. Розмір цього зазору (ступінь стиснення потоку) $\delta > 0,75$ ($\delta = d_k/D$, d_k - діаметр кавітатора, D - діаметр корпусу 1). Розмір виступу парасольковидного кавітуючого щитка 17 має бути не більше діаметра вихідного радіального калібруючого каналу 14. Ступінь стиснення предкавітатора 7 $\delta = 0,65 \div 0,7$. Відстань між предкавітатором 7 та кавітатором 5 становить $L = (5 \div 6) D$.

Кавітаційні пазирчики, які виходять з радіальних каналів 14, калібровані, вони захоплюються технологічним потоком суміші і потрапляють в кільцеві сопла, що утворені послідовно розташованими по потоку кільцями 18 та корпусом 1.

Технологічний потік суміші підлягає дії раптового звуження та розширення і отримує надзвукову швидкість протікання. Утворюється система ударних хвиль, які підсилюють дію від змикання кавітаційних пазирчиків.

Ударні хвилі виникають у потоці, коли досягається надзвукова швидкість при числах $M_{\text{аха}} > 1$.

$M_{\text{а}} = V_{\text{пот}}/V_{\text{зв}} > 1$, де $V_{\text{пот}}$ - швидкість потоку, $V_{\text{зв}}$ - швидкість звуку в рідині, насиченій кавітаційними пазирчиками.

При атмосферному тиску в зазорі $P = 1$ ата, швидкість звуку при повітряутриманні $\varphi = 0,5$ складе:

$$V_{\text{зв}} = \sqrt{P_{\text{р.жс}}(1 - \varphi)\rho} = \sqrt{1000/(1000/9,81)(1 - 0,5)0,5} = 20 \text{ м / с},$$

у розрядженій атмосфері $P = 0,05$ ата, швидкість звуку складе:

$$V_{\text{зв}} = \sqrt{500/100(1 - 0,5)0,5} = 4,5 \text{ м / с}$$

Таким чином, швидкості технологічного потоку в зазорі сягають $V_{\text{зв}} = 4,5 \div 20$ м/с, а швидкість руху технологічного потоку на вході в реактор може бути знижена до 1 - 5 м/с. Це дозволяє знизити питомі енерговитрати на кавітаційну обробку технологічного потоку.

Для визначення ступіню стиснення потоку технологічної суміші між корпусом 1 та кільцями 18 використовуємо рівняння нерозривності:

$$V_{\text{вх}} D^2 = V \left(D^2 \cdot d_k^2 \right),$$

звідки

$$\delta = d_k / D = \sqrt{1 - 5 / 20} = 0,86.$$

Діаметр кінець 12 становить $d_k = 0,86 D$, де D - внутрішній діаметр корпусу 1.

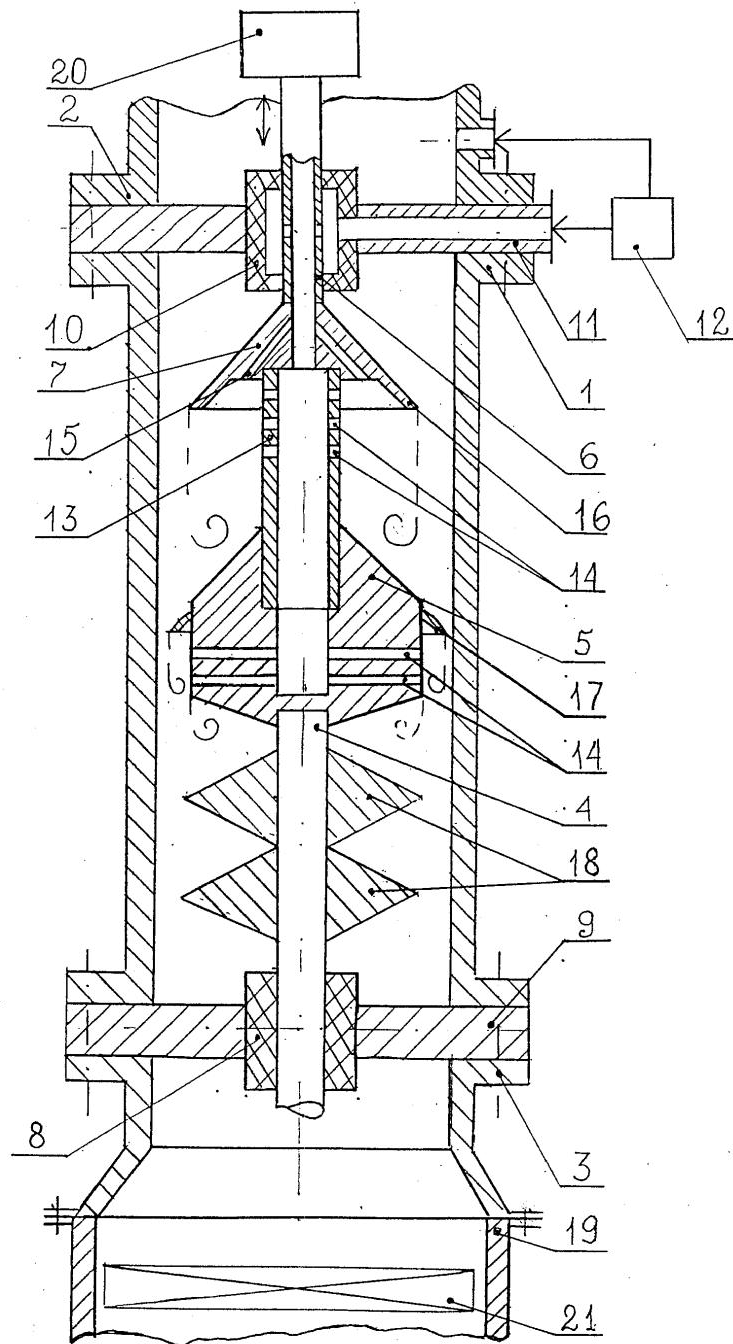
Вібратор 20, що з'єднаний з стрижнями 4 та 6, на яких закріплені предкавітатор 7 та кавітатор 5, створює періодичні коливання вздовж продольної осі реактора всієї кавітаційної системи. Такі коливання можливі завдяки тому, що стрижні розташо-

вані в ступицях 10 та 8 центральних розеток 9 і 11 з можливістю коливання. Кавітаційні каверни, які утворені за кавітатором та предкавітатором, інтенсивно примусово розпадаються, газова фаза змішується з технологічним потоком і додатково утворюються кавітаційні пазирчики.

Пульсатор 12, що встановлений в нагнітальному патрубку 2 реактора або поза ним, викликає примусові коливання каверни, що утворена за предкавітатором 7, шляхом пульсаційного нагнітання деякої порції повітря чи газу або, наприклад, шляхом обертання перфорованого диска з кутовою швидкістю 0,5 1/с. Завдяки цьому, генерується в потоці на вході до циліндричної камери 1 суміш газу і рідини різної щільності з маленькими газовими і парогазовими пазирчиками, які полегшують створення кавітаційної каверни за предкавітатором та надають їй суттєво нестаціонарний характер. Це особливо важливо для процесів змішування рідинного технологічного потоку з газовою фазою, так як кавітаційна каверна, що вентилюється газом, характеризується безперервним виносом газової фази та кавітаційних пазирчиків по вихрових шнурах.

На виході реактора встановлений генератор гідроударів 21. Розширення патрубка відводу 3 до розмірів циліндричного каналу 19 створює незначне підвищення статичного тиску і багато кавітаційних пазирчиків зноситься безрезультатно по потоку. Генератор гідроударів 21 створює такий тиск на виході з реактора, який в десятки разів вищий, і дає змогу досягти майже 100% змикання газових та кавітаційних пазирчиків. Генератор гідроударів 21 являє собою, наприклад, перериватель потоку з миттєвим чередуванням перекриття та плавним відкриттям каналу з газорідним потоком. Він може представляти собою також регульований клапан вентиля чи засувки, шток якої пересувається по капіру, що має провал чи розрив, і викликає швидке закриття клапана та плавне відкриття.

Використання вищеназваних нових ознак у пристрої дає можливість підвищити ефективність роботи реактора в 10 разів без суттєвого підвищення енерговитрат.



Фіг.

ДП "Український інститут промислової власності" (Укрпатент)
 Україна, 01133, Київ-133, бульв. Лесі Українки, 26
 (044) 295-81-42, 295-61-97

Підписано до друку _____ 2001 р. Формат 60x84 1/8.
 Обсяг _____ обл.-вид. арк. Тираж 50 прим. Зам. _____

УкрІНТЕІ, 03680, Київ-39 МСП, вул. Горького, 180.
 (044) 268-25-22