

емульсій, наприклад, хімічний. Але ці способи призводять до повного руйнування масляної фази, котру можна було б використовувати повторно. Тому вивчення можливостей інтенсифікації виділення дисперсної фази нехімічними способами становить визначений інтерес, а запропоновані результати можуть бути корисні як для теоретичних досліджень в області структурної стійкості ЕТС, так і для практичного застосування при проектуванні відповідного устаткування.

1. Ребіндер П.А. Поверхневі явища в дисперсних системах. — М., 1979. 2. Павленко А.М. Стійкість емульсій при технологічних впливах. — Дніпропетровськ, 2000.

УДК 621.578 /088.8/

О. Савченко, І. Балінський, О. Возняк
 Національний університет "Львівська політехніка",
 кафедра теплогазопостачання і вентиляції

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО РОЗДІЛЕННЯ СТИСНЕНОГО ПОВІТРЯ

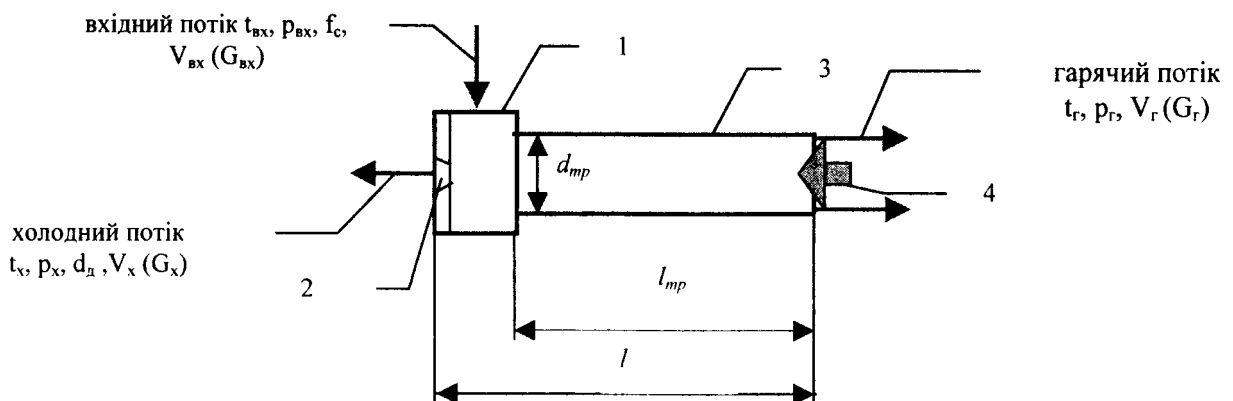
© Савченко О., Балінський І., Возняк О., 2004

The results of temperature separation of the compressed air on the experimental plant are represented in this article. Optimal values of Vortex tube parameters, energy separation efficiency and proportion of warm and inlet streams were determined in this article.

Постановка проблеми. Останнім часом значна увага приділяється питанням розробки ефективних процесів нагрівання природного газу під час його транспортування, зокрема з використанням енергетичного роздільника. Для використання роздільника на діючих газорозподільних станціях необхідно виконати експериментальні дослідження для виявлення ефекту нагрівання. Здійснити такі дослідження на діючому магістральному газопроводі практично неможливо, тому доцільно було дослідити енергетичний роздільник на стисненому повітрі із наступною розробкою методики розрахунку для природного газу. У роботі наведені результати дослідження ефекту нагрівання повітря.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Суть енергетичного розділення стиснених газів полягає в тому, що вхідний потік в полі відцентрових сил поділяється на два: один з температурою вищою, ніж вхідний, другий — нижчою [1—3]. Стосовно газорозподільної станції цей принцип можна використати і спрямувати нагрітий потік на вхід регулятора тиску газу і, по-перше, запобігти його замерзанню та утворенню кристалогідратів, а по-друге, розвантажити і покращити умови роботи, тим самим збільшити надійність газопостачання [4—8].

Принцип енергетичного розділення, характеристики потоків та роздільника показані на рис. 1.



На рис. 1. введено такі позначення: $t_{вх}$, $p_{вх}$, $V_{вх}(G_x)$ — температура, тиск, витрата вхідного потоку; t_r , p_r , $V_r(G_r)$ — температура, тиск, витрата гарячого потоку; t_x , p_x , $V_x(G_x)$ — температура, тиск, витрата холодного потоку; d_d — діаметр діафрагми; $d_{тр}$ — вхідний діаметр труби, l — довжина роздільника, $l_{тр}$ — довжина труби, f_c — площа поперечного перетину сопла.

Вхідний потік газу $V_{вх}(G_{вх})$ з температурою $t_{вх}$, тиском $p_{вх}$ надходить тангенціально в сопловий ввід роздільника, в якому розділяється на два: гарячий потік $V_r(G_r)$, з температурою t_r , тиском p_r , холодний потік $V_x(G_x)$, з температурою t_x , тиском p_x . Температура гарячого потоку $t_r > t_{вх} > t_x$, тиск $p_r \sim p_{вх} > p_x$. Температури потоків визначаються об'ємами $V_{вх}$, V_r , V_x .

Як показують відомі дослідження [1, 2, 3], на роботу енергетичного роздільника впливає багато чинників, зокрема діаметр отвору діафрагми d_d ; довжина камери енергетичного розділення $l_{тр}$; геометрія камери енергетичного розділення (циліндрична, конічна); площа поперечного перетину сопла f_c , а також термодинамічні параметри: температури і тиски потоків; фізичні властивості газу (показник адіабати k); відведення тепла від стінок камери енергетичного роздільника тощо.

Мета роботи — визначення ефекту нагрівання повітря в енергетичному роздільнику при різних співвідношеннях площ діафрагми і сопла, довжинах труби для різних співвідношень об'ємів потоків.

У дослідженні було використано такі спрощення і припущення: циліндричний адіабатний енергетичний роздільник зі сталою площею поперечного перетину сопла f_c та сталим діаметром камери енергетичного розділення $d_{тр}$, значення яких попередньо було визначено з умови забезпечення енергетичного розділення повітря. Температуру і тиск повітря на вході у вихрову трубу та тиски вихідних гарячого та холодного потоку підтримували на певному заданому рівні. Газ, що досліджувався у енергетичному роздільнику, є повітрям, значення показника адіабати якого не змінюється. Отже, вирішено змінювати три фактори: x_1 — відношення площі діафрагми до площі сопла f_d/f_c , x_2 — відношення довжини камери енергетичного розділення до її діаметра $l_{тр}/d_{тр}$ та x_3 — частку гарячого потоку $\epsilon = G_r/G_{вх}$.

Для дослідження впливу геометричних розмірів енергетичного роздільника на його температуру ефективність експериментальний роздільник був виготовлений з прямокутним соплом, тангенціальним вводом. Крім того, були виготовлені чотири діафрагми із різним діаметром та три камери енергетичного розділення різної довжини, з таким відношенням довжини труби до діаметра $l_{тр}/d_{тр} = 10$, $l_{тр}/d_{тр} = 20$, $l_{тр}/d_{тр} = 30$, а відношення площі діафрагми до площі поперечного перетину сопла $f_d/f_c = 0,5$; $f_d/f_c = 0,8$; $f_d/f_c = 1,1$; $f_d/f_c = 1,7$. Діафрагма кругла, з конічним нахилом, повернута гострим кінцем до потоку.

Дослідження енергетичного розділення виконувались на експериментальній установці, описаній у [9]. Надлишкові тиски вхідного стисненого повітря, вихідних холодного та гарячого потоків вимірювалися пружинними манометрами з межею вимірювання $0 \div 10$ кгс/м², які встановлюються на повітропроводах відповідно стисненого вхідного, холодного та нагрітого потоків повітря, температури вхідного, вихідних гарячого та холодного потоків визначали за допомогою рідинних термометрів з межею вимірювання $0 \div 100$ °С, з ціною поділки шкали 1 °С. Термометри встановлювалися на відповідних повітропроводах стисненого гарячого та холодного повітря. Витрата повітря холодного та нагрітого потоків визначалася за допомогою ротаційних лічильників РЛ—40.

Методика досліджень параметрів адіабатного циліндричного протитечійного енергетичного роздільника була такою.

Вхідне тангенціальне сопло досліджуваних енергетичних роздільників з'єднувалося гнучким гумовим рукавом із компресором. Стиснене повітря подавали від компресора до входу у вихрову трубу, відкриваючи вентиль на трубопроводі. Встановлювався сталий вхідний тиск повітря на вході у вихрову трубу $p_{вх}$.

Після прямокутного сопла повітря попадає в камеру енергетичного розділення, де під дією ефекту Ранка розділяється на два потоки. Холодний потік з температурою t_x^n виходить через діафрагму з діаметром d_d , а нагрітий потік з температурою t_r^n виходить через клапан. Стале значення тисків гарячого і холодного потоків забезпечують крани, які встановлюють на відповідних повітропроводах. Різниця температур $\Delta t_r^n = t_r^n - t_{вх}$ і є ефектом нагрівання повітря у енергетичному роздільнику.

Спочатку клапан енергетичного роздільника встановлювався в таке положення, щоб $\varepsilon=0,9$. Потоки холодного та гарячого повітря виходили в атмосферу. Положення клапана не змінювалося упродовж 5 хв, щоб рух у енергетичному роздільнику став усталеним. Потім записували покази температури та тиску на відповідних повітропроводах. Після цього клапан встановлювався в нове положення, зменшуючи площу прохідного перерізу гарячих шарів потоку газу. Встановлювався новий режим роботи енергетичного роздільника. Упродовж 5 хв режим витримувався, а потім записувалися досліджувані параметри. Режим роботи енергетичного роздільника змінювався доти, доки не виконувалась рівність $\varepsilon=0,1$. Отже, встановлювалися характеристики енергетичного роздільника певних геометричних розмірів, при певному значенні тиску повітря на вході в енергетичний роздільник в діапазоні $\varepsilon=0,1 \div 0,9$. Потім змінювалась діафрагма, камера енергетичного розділення і випробування повторювалися за цією самою схемою.

Результати експериментальних досліджень зображені на рис. 2, 3, 4.

На рис. 2. показана залежність ефекту нагрівання повітря Δt_r^n від частки гарячого повітря ε ($\Delta t_r^n = f_1(\varepsilon)$) при різних співвідношеннях $l_{тр}/d_{тр}$ та f_d/f_c . Математична обробка отриманих результатів показує, що максимальне та одночасно оптимальне значення ефекту нагрівання повітря Δt_r^n досягається при $\varepsilon = 0,495$.

На рис. 3. показана залежність ефекту нагрівання повітря Δt_r^n від співвідношення f_d/f_c ($\Delta t_r^n = f_2\left(\frac{f_d}{f_c}\right)$) при різних $l_{тр}/d_{тр}$ та ε . Після математичної обробки було визначено співвідношення f_d/f_c , при якому було досягнуто максимального значення Δt_r^n . Це відношення становить $f_d/f_c=1,27$.

На рис. 4. показана залежність ефекту нагрівання повітря Δt_r^n від $l_{тр}/d_{тр}$ ($\Delta t_r^n = f_3\left(\frac{l_{тр}}{d_{тр}}\right)$) при різних значеннях f_d/f_c та ε . Як видно з рис. 4., максимальне значення ефекту нагрівання повітря Δt_r^n досягається при $l_{тр}/d_{тр}=30$, але експериментальні дослідження показують, що при збільшенні співвідношення $l_{тр}/d_{тр}=20$ до $l_{тр}/d_{тр}=30$ відбувається незначне збільшення ефекту нагрівання повітря Δt_r^n . Тому вважаємо, що оптимальним є співвідношення $l_{тр}/d_{тр}=20$.

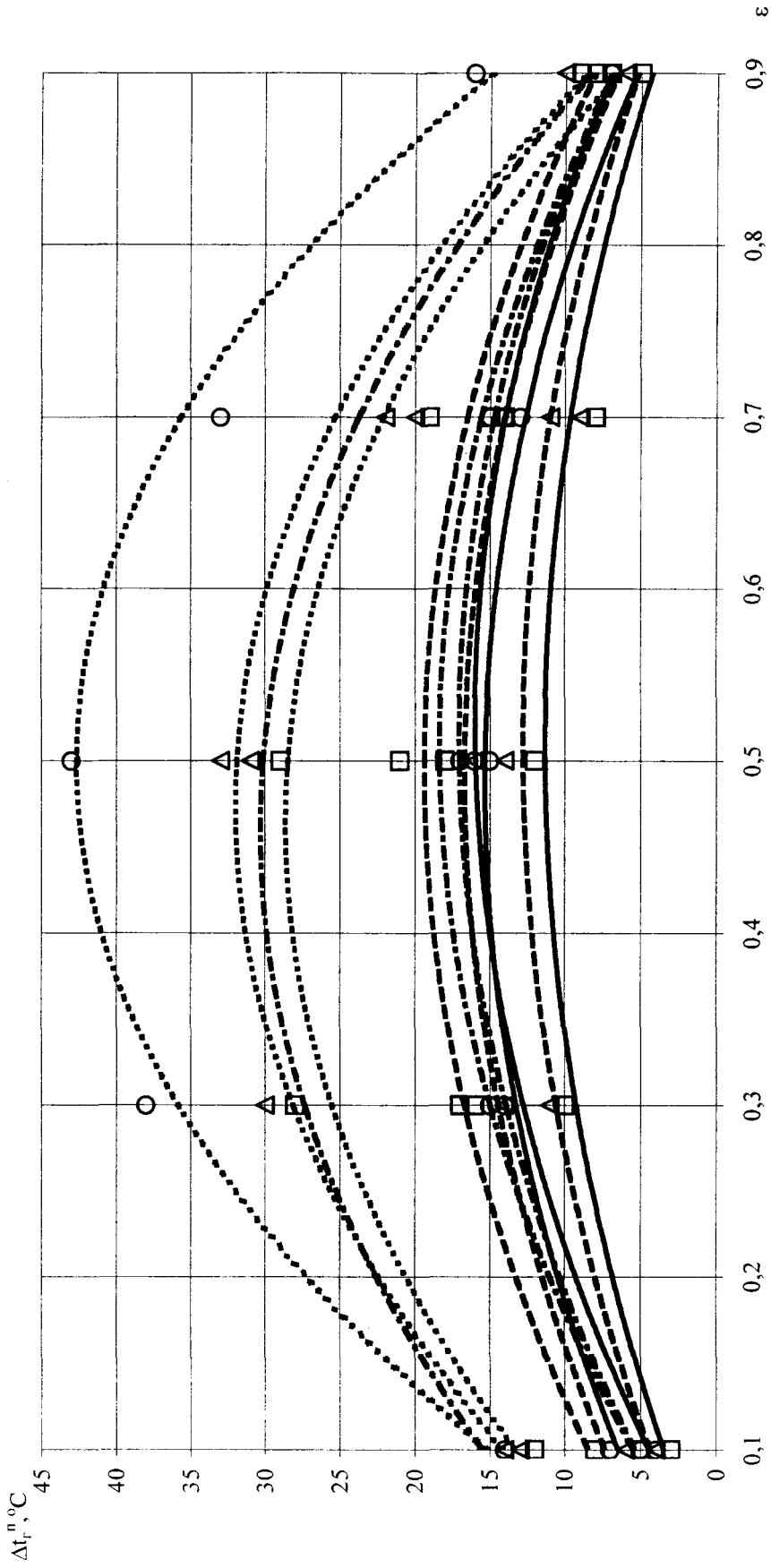


Рис. 2. Залежність ефекту нагрівання повітря Δt_r^n від частки гарячого повітря ϵ при різних l_{mp}/d_{mp} та f_n/f_c

$f_n/f_c = 0,5$, $l/d = 10$ \square $l/d = 20$ \square $l/d = 30$ \square
 $f_n/f_c = 1,1$ \square $f_n/f_c = 1,7$ \square
 $f_n/f_c = 0,5$, $l/d = 10$ \circ $l/d = 20$ \circ $l/d = 30$ \circ
 $f_n/f_c = 1,1$ \triangle $f_n/f_c = 1,7$ \triangle

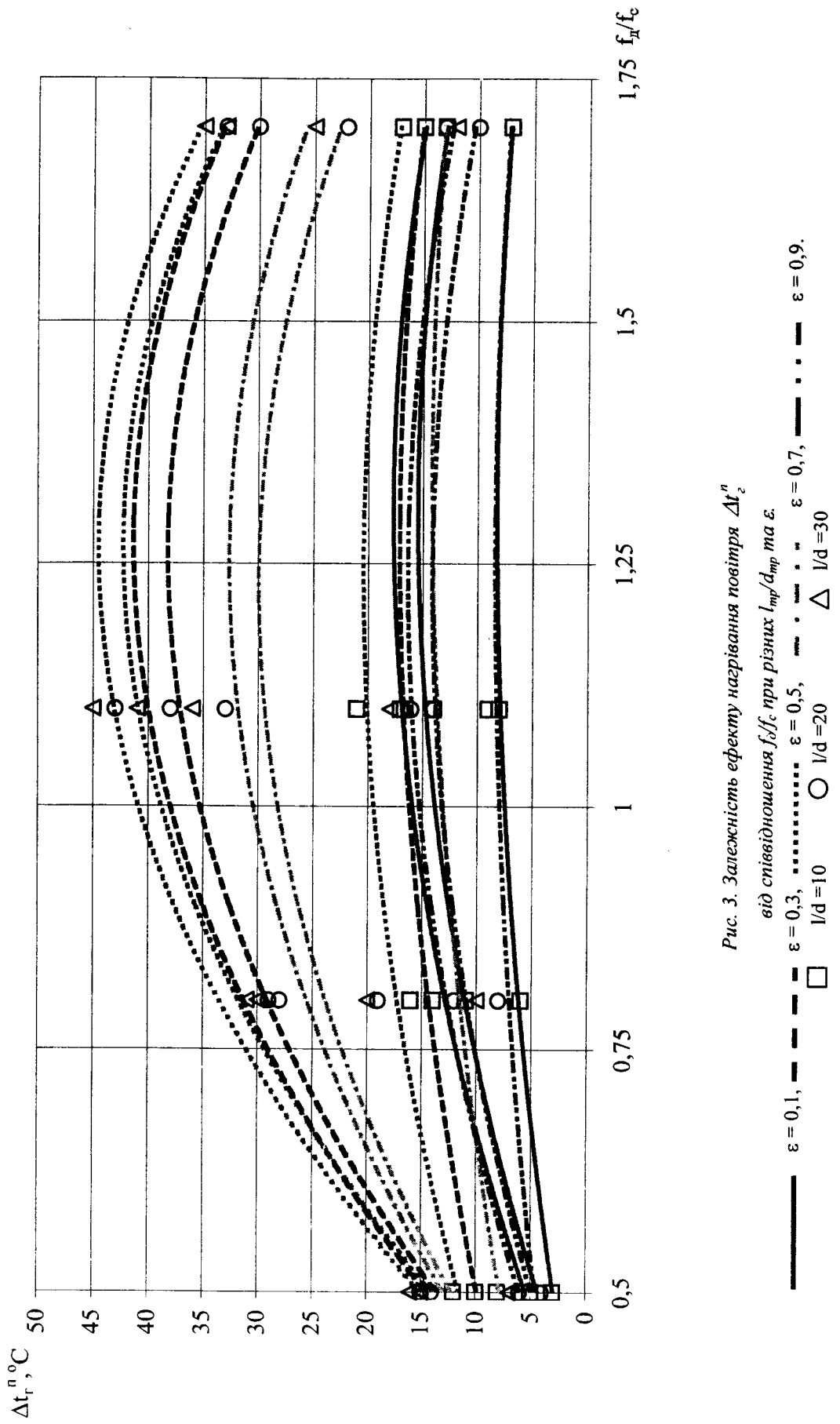


Рис. 3. Залежність ефекту нагрівання повітря Δt_r^n від співвідношення f_d/f_c при різних $l_{гр}/d_{гр}$ та ϵ .

— $\epsilon = 0,1$, - - - $\epsilon = 0,3$, - · - $\epsilon = 0,5$, · · · $\epsilon = 0,7$, - - - $\epsilon = 0,9$.
 □ $l/d = 10$ ○ $l/d = 20$ △ $l/d = 30$

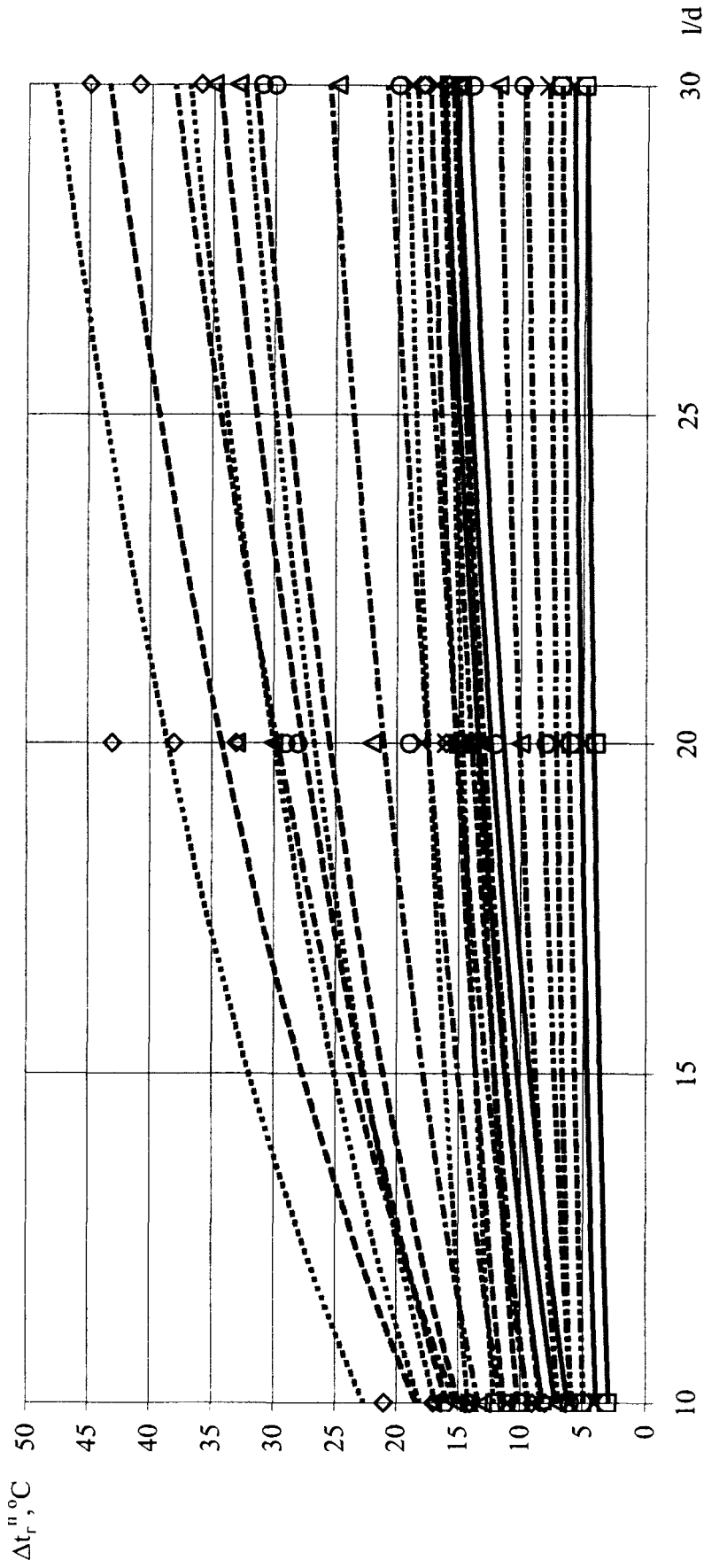


Рис. 4. Залежність ефекту нагрівання повітря Δt_r^n від співвідношення l_{mp}/d_{mp} при різних f_d/f_c та ϵ .

$\epsilon = 0,1$, $\epsilon = 0,3$, $\epsilon = 0,5$, $\epsilon = 0,7$, $\epsilon = 0,9$,
 $f_d/f_c = 0,5$, $f_d/f_c = 0,8$, $f_d/f_c = 1,1$, $f_d/f_c = 1,7$

Графічні залежності (рис. 2, 3, 4) були апроксимовані виразом (1):

$$\begin{aligned} \Delta t_r^n = & -5,65 + 10,47 \frac{f_d}{f_c} - 4,03 \left(\frac{f_d}{f_c} \right)^2 + \frac{l_{\text{тп}}}{d_{\text{тп}}} \left(0,04 - 0,01 \frac{f_d}{f_c} + 0,02 \left(\frac{f_d}{f_c} \right)^2 \right) + \\ & + \varepsilon \left(40,94 - 6,88 \frac{f_d}{f_c} + 2,35 \left(\frac{f_d}{f_c} \right)^2 + \frac{l_{\text{тп}}}{d_{\text{тп}}} \left(-6,39 + 17,87 \frac{f_d}{f_c} - 7,13 \left(\frac{f_d}{f_c} \right)^2 \right) \right) + \\ & + \varepsilon^2 \left(-45,46 + 14,21 \frac{f_d}{f_c} - 4,82 \left(\frac{f_d}{f_c} \right)^2 + \frac{l_{\text{тп}}}{d_{\text{тп}}} \left(6,51 - 18,25 \frac{f_d}{f_c} + 7,21 \left(\frac{f_d}{f_c} \right)^2 \right) \right) \end{aligned}$$

Максимальне значення ефекту нагрівання повітря Δt_r^n досягається при $\varepsilon = 0,495$, $f_d/f_c = 1,27$ та $l_{\text{тп}}/d_{\text{тп}} = 30$.

Висновки

— встановлені оптимальні значення параметрів енергетичного роздільника для використання його при проектуванні роздільників газорозподільних станцій при різних співвідношеннях гарячого і вхідного потоків;

— визначено оптимальне значення $f_d/f_c = 1,27$, яке рекомендується для проектування енергетичних роздільників газорозподільних станцій.

1. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. М., 1969. 2. Мартынов А.В., Бродянский В.М. Что такое вихревая труба? — М., 1976. 3. Hilsch R., Die Expansion von Gasen im Zentrifugalfeld als Kälteprozess. — "Zeitschrift für Naturforschung", 1966, Bd. 1, S.208. 4. Патент № 43673А Україна, МКВ F 25 B 11/ 00. Газорозподільна станція / І.С. Балінський, Р.І. Коваль, Ю.В. Банахевич, О.О. Кашина (Україна). — № 2001052970; Заявлено 3.05.2001; Опубл. 17.12.2001, Бюл. № 11. — 3 с. 5. Балінський І., Кашина О., Коваль Р., Банахевич Ю. Газорозподільна станція з енергетичним розділювачем для нагрівання природного газу // Нафта і газ України. Збірник наукових праць: Матеріали 6-ї МНПК "Нафта і газ України — 2000". Івано-Франківськ, 31 жовтня — 3 листопада 2000 р. — Івано-Франківськ: Факел. — 2000. — Т. 3. — С. 48 — 49. 6. Балінський І.С. Дослідження ефективності енергетичного розділювача природного газу // Вісн. Держ. ун-ту "Львівська політехніка". — 1995. — № 291. — С. 5—7. 7. Балінський І.С. Дослідження ефективності діючого енергетичного розділювача природного газу // Вісн. Держ. ун-ту "Львівська політехніка". — 1997. — № 318. — С. 5 — 7. 8. Кашина О., Балінський І. Підвищення ефективності процесів нагрівання при будівництві газових мереж // Вісн. Нац. ун-ту "Львівська політехніка". — 2002. — № 462. — С. 66—68. 9. Савченко О., Балінський І. Енергетичне розділення стиснених газів // Ринок інсталяцій. — 2004. — № 1. — С. 15—16.