

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ  
КИЇВСЬКИЙ ІНЖЕНЕРНО-БУДІВЕЛЬНИЙ ІНСТИТУТ

На правах рукопису

ЛЮБАРЕЦЬ Олександр Петрович

ЗНИЖЕННЯ ВИДІЛЕННЯ ПИЛУ В ПРОЦЕСІ ВИГОТОВЛЕННЯ  
ФОРМОВЧНИХ СУМІШІВ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

Об.23.03 - Теплопостачання, газопостачання, вентиляція,  
кондиціонування повітря і освітлення

А в т о р е ф е р а т  
дисертації на здобуття вченого ступеню  
кандидата технічних наук

Київ - 1993

ДБ д.с. Абд

Роботу виконано у Київському інженерно-будівельному інституті (КІБІ) та Державному науково-дослідному інституті санітарної техніки обладнання будівель та споруд (ДержНДІСТ).

Наукові керівники – кандидат технічних наук, професор  
В.О.Потапов

кандидат технічних наук, ведучий науковий  
співробітник М.І.Петриченко

Офіційні опоненти – доктор технічних наук, ведучий науковий  
співробітник С.І.Приймоч

кандидат технічних наук, старший науковий  
співробітник А.Ф.Заборсін

Провідна установа – Київський інститут медицини праці.

Захист дисертації відбудеться "13" жовтня 1993 року о  
15 годині на засіданні Спеціалізованої Ради К 068.06.08 Київсь-  
кого інженерно-будівельного інституту за адресою:  
252037 м.Київ-37, Повітрофлотський проспект,31, кім.466.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці КІБІ.

Автореферат розісланий "13" вересня 1993 року.

Відгуки на автореферат у двох примірниках за підписом, за-  
твердженням печаткою, прохання надсилати за адресою:  
252037 м.Київ-37, Повітрофлотський проспект,31, КІБІ, Вчена рада.

ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР  
спеціалізованої ради  
кандидат технічних наук,  
професор

В.Ф.НАКОРЧЕВСЬКА

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00802394 (Q)

ДВ-20, УЖ

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

### Актуальність роботи.

Захист атмосферного повітря від забруднення промисловими викидами, забезпечення нормованих умов праці стає все більш складною та актуальною проблемою.

На підприємствах різних галузей промисловості, виготовляючих вироби з чавуну засобом литва у пісчані форми, наприклад, на заводах сантехобладнання, широко використовують ливарні піски, які є основним джерелом пилеутворення. Виділення сілікозонебезпечного пилу спостерігається не тільки від технологічного обладнання та у місцях пересипок, а й вздовж, як правило, відкритого транспортування формовочних матеріалів.

Застосування різноманітних конструкцій укриття разом з системами аспірації не забезпечують належного захисту навколишнього середовища від пилевиділення.

У зв'язку з цим актуальним завданням є дослідження та розробка методів та пристроїв, що дозволяють знизити утворення й виділення пилу у чавуноливарному виробництві.

### Мета роботи.

Вирішення комплексу питань, спрямованих на зниження пилевиділення у виробничих приміщеннях шляхом активного вентилявання формовочних матеріалів перед поданням їх у технологічні процеси.

### Основні задачі роботи.

- дослідити процес виносу дрібних фракцій часток при вентиляванні псевдоорідненого шару полідисперсного матеріалу;
- на підставі проведених досліджень розробити високоефективний аеродинамічний пристрій для вентилявання формовочних матеріалів;
- визначити оптимальні умови ефективного обезпилення формовочних матеріалів у запропонованому пристрої, розробити методичку інженерного розрахунку.

### Наукова новизна.

- на підставі відомих досліджень запропонована залежність для визначення питомої маси виносимих часток з псевдоорідненого шару матеріалу (уніфікована константа сепарації), що відрізняється від існуючих ширшою областю визначення і дозволяє визначити винос пильових фракцій;

- запропоновані формули для визначення середнього кута фільтрації повітря крізь шар матеріалу і початкової швидкості руху шару, на підставі яких запропонований математичний опис процесу руху матеріалу по щільовим газорозподільним решіткам й визначено термін обезпилення матеріалу в аеродинамічному пристрої;

- на підставі вище вказаного аналітично одержано математичний опис процесу виносу пильових фракцій при вентиляванні сипкого матеріалу, який транспортується по щільовій газорозподільній решітці;

- запропоновано аеродинамічний пристрій для вентилявання (обезпилення) сипких матеріалів у псевдоорідненому шарі при транспортуванні по щільовим газорозподільним решіткам, а.с.№ І557024.

- розроблена методика розрахунку аеродинамічного пристрою для обезпилення сипких матеріалів.

#### Практична цінність.

Розроблені конструкції аеродинамічного пристрою та аспіраційно-сепараційної установки для обезпилення формовочних матеріалів перед поданням їх у технологічні процеси. Установка введена на дослідження на Колпінському чавуно-ливарному заводі. Визначені оптимальні умови ефективного обезпилення формовочного піску в аеродинамічному пристрої. Результати виробничих досліджень свідчать про поліпшення умов праці та зменшення забруднення навколишнього середовища (забезпечення ПДВ). Зниження запилованості повітря у робочій зоні спостерігалось у 20-25 разів до рівня п.д.к.

Розроблена конструкція зернистого фільтру з аеродинамічним пристроєм як вузла регенерації зернистого наповнювача.

Результати іспитів розробленого пристрою дозволяють рекомендувати його до застосування у інших галузях народного господарства.

#### Впровадження результатів.

Аспіраційно-сепараційна установка з аеродинамічним пристроєм продуктивністю 5 т/г формовочного піску введена на Колпінському ливарно-механічному заводі. Річний економічний ефект складає 2607 крб./рік, а відвернені економічні збитки навколишньому середовищу - 37729 крб./рік (в цінах до 1992 р.).

На Київському верстатобудівному ВО ім. О.М.Горького введений зернистий пилеуловлювач з аеродинамічним пристроєм в якості вузла регенерації зернистого наповнювача.

### Апробація роботи.

Результати праці доповідались і були схвалені на Всесоюзній науковій конференції "Ускорение научно-технического прогресса в промышленности строительных материалов и строительной индустрии" у Белгородському технологічному інституті будівельних матеріалів ім. І.А.Гришманова (м.Белгород, 1987 р.), 28-й науково-технічній конференції молодих вчених та спеціалістів ВО Союзсантахпроект у Харківському ДПІ "Сантехпроект" (м.Харків, 1987 р.), на науково-практичних конференціях професорсько-викладацького складу, аспірантів і студентів КІВІ 1992-93 рр.

У 1988 р. робота була представлена на міжгалузевій виставці "Изобретательство и рационализация - 88" на ВДНГ СРСР, де була удостоєна срібною медаллю.

### Публікації.

За темою дисертації опубліковано 12 друкованих праць. Основні наукові положення роботи відображені у 9 із них.

### Обсяг роботи.

Дисертація викладена на 175 сторінках машинописного друку і складається із вступу, чотирьох глав, висновку, переліку літератури і додатків. Робота ілюстрована 18 таблицями і 25 малюнками. Список використаної літератури складає 112 найменувань.

### ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ.

Процес виготовлення виробів у чавуноливарному виробництві методом литва у пісчаній формі зв'язаний з переміщенням і технологічною переробкою значних мас формовочних матеріалів.

Технологічні процеси переробки і транспортування формовочних матеріалів супроводжуються значним виділенням у виробничі приміщення кремніземскладального пилу, внаслідок чого спостерігається погіршення санітарно-гігієнічних умов у робітничій зоні. Концентрація пилу в повітрі на робочих місцях в сумішескладальному відділенні досягає 20-25 мг/м<sup>3</sup>. До пилоутворюючих фракцій у формовочних матеріалах слід відносити частки розміром від 0,1 до 100 мкм.

Наявність у формовочних матеріалах пилоутворюючих фракцій є небажаним і за технологічними умовами, тому що знижує газопроникнення ливарних форм, що негативно впливає на якість литва.

Дослідженнями встановлено, що початкова наявність пилоутворюючих фракцій у формовочному піску складає 1,5 - 4%, а після вибив-

ки форм 4 - 6%.

Із експериментальних досліджень Коузова П.А. та Кисельової Л.М. відомо, що зменшення кількості пилоутворюючих часток у формовочному піску з 4 до 0,5% знижує кількість пилу, що виділяється при його перевантаженні з конвейєра на конвейєр, у 5 разів. Тому одним із основних заходів по зниженню пилоутворення і надходження пилу у повітря виробничих приміщень слід вважати попереднє вилучення дрібних пилоутворюючих фракцій із формовочних матеріалів перед їх використанням в основних технологічних процесах.

З літературних джерел відомо, що найбільш ефективними засобами обезпилення матеріалів є ситовий процес та вентилявання (пневматичний метод). Очевидно, що найбільша ефективність локалізації пилевиділення із сипких матеріалів може бути досягнута тим засобом, який за характером аналогічний виробничим умовам пилевиділення, а за величинами значимих параметрів перевищує їх, тобто активним вентиляванням.

Із різноманітних засобів пневматичного поділу для обезпилення формовочних матеріалів найбільш припустимим і технологічним для чавуноливарних підприємств слід зазначити вентилявання при псевдоорідненні сипкого матеріалу у аеродинамічному пристрої. Запропонований автором аеродинамічний пристрій за а.с. № 1557024 відрізняється від відомих конструкцією щільової повітрерозподільної решітки та наявністю осаджувочних Г-подібних пластин, що встановлюються у місці розвантаження матеріалу. Поєднання у цих пристроях процесів транспортування, охолодження й обезпилення дозволяє використати їх у транспортно-технологічних лініях виробництва.

Із чисельних праць з теорії псевдооріднення лише незначна частина присвячена процесу пофракційного поділу сипких матеріалів.

Відомо, що швидкість виносу часток пилу на одиницю площі пропорційна концентрації цих часток у шарові матеріалу.

$$-\frac{1}{s} \frac{dm}{dt} = \kappa \frac{m}{H} \quad (1)$$

Для визначення константи сепарації існують емпіричні формули, одержані Ч.Я.Веном і Р.Ф.Хешингером на підставі узагальнення експериментальних результатів Г.Л.Осберга, М.Лева та ін.

$$\kappa = 1,7 \cdot 10^{-3} \rho \frac{(v_{\phi} - v_{\pi})^2}{\sqrt{\sigma \delta}} \left( \frac{v_{\pi} \delta}{v} \right)^{0,723} \left( \frac{\rho_{\pi} - \rho}{\rho} \right)^{1,15} \left( \frac{v_{\phi} - v_{\pi}}{v_{\pi}} \right)^{0,1} \quad (2)$$

С.Ягии та Т.Аочи запропонували графічну кореляцію для визначен-

ня константи швидкості виносу, яку М.Вен та Ч.Я.Вен апроксимували рівнянням:

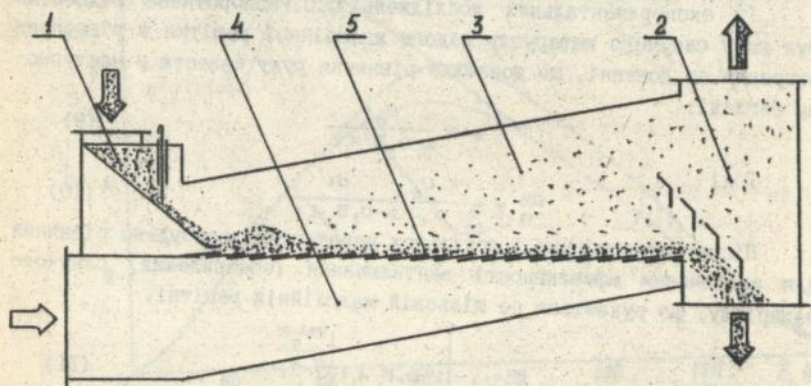
$$k = \frac{\mu(V_{\phi} - V_{п})^2}{\epsilon \delta^2} \left[ 1,5 \cdot 10^{-3} \left( \frac{V_{п}\delta}{\nu} \right)^{0,5} + 0,01 \left( \frac{V_{п}\delta}{\nu} \right)^{1,2} \right] \quad (3)$$

Незважаючи на чисельні дослідження щодо систем тверді частки - газ, до цього часу не запропоновано узгоджених залежностей для розрахунку виносу часток із шару матеріалу, що вентилюється. Формули (2), (3) мають вузьку область визначення, за межами якої вони дають значне розходження між собою та результатами експерименту. Так, запропоновані кореляції справедливі у межах зміни параметрів процесу:

$$\begin{aligned} 0,165 < \rho < 1,2 \text{ кг/м}^3 \\ 41 \cdot 10^{-6} < \delta < 147 \cdot 10^{-6} \text{ м} \\ 1300 < \rho_m < 5000 \text{ кг/м}^3 \\ 0,22 < v_{\phi} < 1,32 \text{ м/с} \end{aligned} \quad (4)$$

І.П.Мухленов відмічає, що формули (2) та (3) для розрахунку константи сепарації  $k$  на межах області визначення параметрів дають розходження до 27% й використовувати їх можливо як орієнтовані.

Процес обезпилення сипкого матеріалу при переміщенні його по щільовій жалюзійній решітці мал.І проходить у проміжку часу, який



Мал.І. Схема руху матеріалу в аеродинамічному пристрої:  
 1-завантажувальний вузол; 2-розвантажувальний вузол;  
 3- транспортний канал; 4-повітрерозподільний канал;  
 5-щільова жалюзійна решітка.

залежить від довжини решітки і середньої швидкості руху матеріалу по ній. На початку газорозподільної решітки із шару по міжзерновим каналам переважно виносяться частки пилу, що знаходяться у вільному стані. При подальшому переміщенні матеріалу відбувається виділення зв'язаного пилу, який утримувався на поверхні більших часток силами адгезії.

Ефективність вентилявання (обезпилення) псевдоорідненого шару матеріалу.

Для математичного опису процесу вентилявання сипучого матеріалу, що рухається вздовж щільової газорозподільної решітки, використовуємо відоме диференціальне рівняння.

$$\frac{dm}{m} = - \frac{K S dt}{H} \quad (5)$$

Площу щільової жалюзійної решітки і масу рухомого шару подамо у вигляді:

$$S = b L \quad (6)$$

$$H = q b t \quad (7)$$

Підставив вирази для визначення  $s$  і  $H$  у диференціальне рівняння (5), отримуємо:

$$\frac{dm}{m} = - \frac{K L dt}{q t} \quad (8)$$

Із експериментальних досліджень О.С.Разворотнева відомо, що рух шару сипучого матеріалу вздовж жалюзійної решітки є рівноприскореним по довжині, що дозволяє рівняння руху навести у наступному вигляді:

$$L = \frac{U_0 t}{1 - 0.5 A_1 t} \quad (9)$$

Тоді

$$\frac{dm}{m} = - \frac{K U_0 dt}{q (1 - 0.5 A_1 t)} \quad (10)$$

Після інтегрування і декількох перетворень здобудемо рівняння для визначення ефективності вентилявання (обезпилення) сипучого матеріалу, що рухається по щільовій жалюзійній решітці.

$$E = 1 - \left| 1 - 0.5 A_1 t \right| \left| \frac{2U_0 K}{q A_1} \right| \quad (11)$$

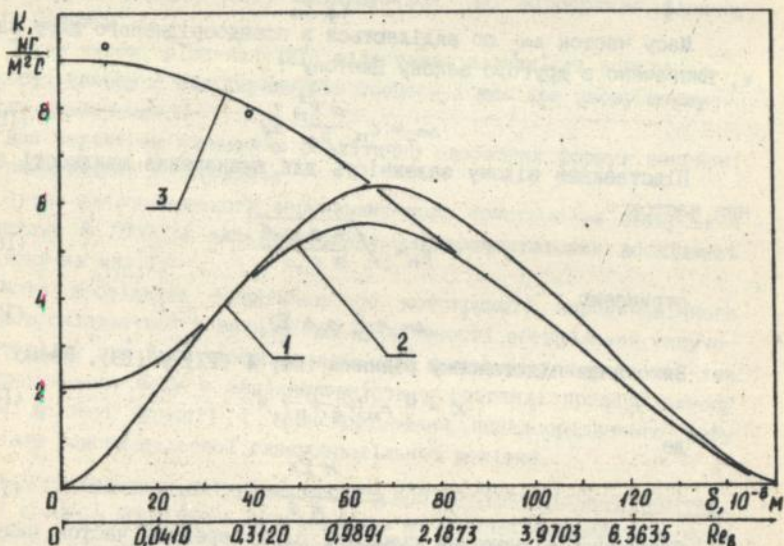
Вважаючи, що константа швидкості виносу  $k$  є функцією від діаметру виносимих часток, рівняння (11) може бути використане для визначення пофракційної ефективності обезпилення сипучого матеріалу. Загальну (інтегральну) ефективність вентилявання можливо визначити за формулою :

начити за формулою :

$$\varepsilon_{\text{н}} = \int_0^{\alpha_{\text{м}}} \varepsilon(\delta) \phi(\delta) d\delta \quad (\text{I2})$$

Одержані рівняння (II) і (I2) можливо використати щодо моделювання процесу вентиляції сипких матеріалів, попередньо визначивши залежності для константи швидкості виносу пильових часток  $\kappa$ , початкової швидкості прискореного руху матеріалу  $v_0$ , прискорення руху шару  $\lambda_1$ , віднесеного до довжини жалюзійної решітки та часу вентиляції сипкого матеріалу у аеродинамічному пристрої.

На мал.2 наведені графіки залежності константи швидкості виносу  $\kappa$  від розміру виносимих часток  $\delta$  побудовані за формулами (2) та (3) для формовочного піску (криві 1 і 2). На графіках видно неприродне зниження величини константи швидкості виносу  $\kappa$  при зменшенні розміру виносимих часток, що обмежує область використання формул (2) та (3) по параметру  $\delta$  (нижча межа).



Мал.2. Графік залежності константи швидкості виносу  $\kappa$  від діаметру виносимих часток  $\delta$  при  $v_{\phi}=1,2$  м/с;  $\rho=1,2$  кг/м<sup>3</sup>;  $\nu=15,06 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с;  $\rho_{\text{п}}=2850$  кг/м<sup>3</sup>: 1 - по формулі (2); 2 - по формулі (3); 3 - по формулі автора (21).

60 мкм ( $Re < 1$ ) при вентиляванні формовочних матеріалів ( $\rho_m = \rho_n = 2650 \text{ кг/м}^3$ ) існуючі формули для визначення константи швидкості вносу пилу  $\kappa$  використовуватись не можуть.

Визначення залежності для обчислення константи швидкості вносу дрібних часток за межами області визначення існуючих кореляцій вимагало проведення додаткових аналітичних досліджень автора.

Внос пилу з псевдоорідненого шару матеріалу.

Константу швидкості вносу визначимо з диференційного рівняння (I), записавши його у вигляді:

$$\kappa = \frac{M}{S m} \lim_{\Delta t \rightarrow \tau} \frac{\Delta m}{\Delta t} \quad (I3)$$

Де  $\tau$  - мінімально необхідний час для виходу частки пилу  $\delta$  із вентиляюмого шару матеріалу. Визначається як необхідний час для переміщення частки на довжину, що дорівнює її діаметру  $\delta$  (калібру).

$$\tau = \frac{\delta}{V_{\phi} - V_{\Pi}} \quad (I4)$$

Масу часток  $\Delta m_{\tau}$  що виділяються з псевдоорідненого шару за час  $\tau$ , визначемо з другого закону Ньютона :

$$\Delta m_{\tau} = C_{\Pi} \frac{\rho V_{\Pi}^2 \tau}{2g} \sum_0^{\tau} f_i \quad (I5)$$

Підставивши відому залежність для визначення швидкості витання часток

$$V_{\Pi} = \sqrt{\frac{4 g \rho_n \delta}{3 C_{\Pi} \rho}} \quad (I6)$$

отримаємо :

$$\Delta m_{\tau} = \frac{2}{3} \rho_n \delta \sum_0^{\tau} f_i \quad (I7)$$

Виконавши підстановку рівнянь (I4) й (I7) у (I3), маємо :

$$\kappa = \frac{2}{3} \rho_n (V_{\phi} - V_{\Pi}) \kappa \quad (I8)$$

де

$$\kappa = \frac{M \sum_0^{\tau} f_i}{m S} \quad (I9)$$

Зазначене відношення сумарних площ перетину часток пилу, що виносяться з одиниці площі шару за час  $\tau$ , до концентрації цих часток у шарові матеріалу, назвемо критерієм вносу  $\kappa$ . Названий параметр залежить від діаметру виносимих часток  $\delta$ , їх щільності  $\rho_n$ , аеродинамічних властивостей часток  $f_{\Pi}$ ,  $C_{\Pi}$  та швидкості підйомного

поток повітря  $v_{\phi}$ . Тоді критерій виносу у першому приближенні може бути визначений через критерій Рейнольдса у наступному вигляді :

$$\kappa = n_k \left[ \frac{v_{\phi}^{\alpha} \phi}{\nu} - \frac{v_{n\delta}}{\nu} \right]^{p_k} \quad (20)$$

Із сумісного рішення запропонованої залежності (18) з урахуванням (20) і відомих залежностей (2), (3) для визначення константи сепарації  $\kappa$  були знайдені коефіцієнт  $n_k$  та ступінь пропорційності  $p_k$ . В результаті маємо залежність для визначення константи сепарації (13), що зображено на графіку кривою 3 (мал.2):

$$\kappa = 4.54 \cdot 10^{-4} \rho_n (v_{\phi} - v_{n\delta}) \left[ \frac{v_{\phi}^{\alpha} \phi}{\nu} - \frac{v_{n\delta}}{\nu} \right]^{0.726} \quad (21)$$

Як видно з графіку, для часток більше 60 мкм ( $Re_{n\delta} > 1$ ) одержана залежність (21) дає східний результат з формулами (2) та (3). При зменшенні діаметру виносимих часток значення константи швидкості виносу  $\kappa$ , визначене за формулами (2) й (3) зменшується, а визначене по формулі (21) збільшується, що відображає фізичну модель процесу.

Таким чином, рівняння (21) відображає залежність константи швидкості виносу  $\kappa$  від параметрів процесу і має при цьому ширшу область визначення.

Для перевірки наведених аналітично одержаних формул виконані експериментальні дослідження.

Схема запропонованого аеродинамічного пристрою за авторським свідоцтвом № 1557024 для проведення експериментальних досліджень приведена на мал.1.

Мета досліджень запропонованої конструкції аеродинамічного пристрою складається у визначенні ефективності обезпилення силучого матеріалу при його вентиляванні. При цьому як з наукового, так і з практичного боку є зацікавленість у розгляді процесу виносу часток дрібної фракції і транспортування псевдоорідненого шару матеріалу вздовж щільової газорозподільної решітки.

Рух шару силучого матеріалу вздовж повітрерозподільної решітки.

У процесі досліджень встановлено, що початкова швидкість руху шару матеріалу залежить від швидкості витання часток матеріалу  $v_m$  ( $x_1$ ) та ступеню псевдооріднення  $n$  ( $x_2$ ). Аналіз можливого впливу інших факторів на початкову швидкість руху шару матеріалу  $u_0$  визначив можливий вплив питомої продуктивності  $q$  ( $x_3$ ).

У першому наближенні функцію відгуку подамо у вигляді подіно-

ма першого ступеню з взаємодією факторів:

$$y(x) = A_0 + A_1 x_1 + A_2 x_2 + A_3 x_3 + A_{12} x_1 x_2 + A_{13} x_1 x_3 + A_{23} x_2 x_3 + A_{123} x_1 x_2 x_3 \quad (22)$$

Для визначення коефіцієнтів у рівнянні (І4) проведений повний факторний експеримент.

Варіювання значеннями факторів здійснювалось за рахунок зміни зернового складу  $D_{30}$ , щільності часток сипучого матеріалу  $\rho_m$  та витрати повітря  $w$ . В якості сипучого матеріалу використовувались формовочний пісок і зерно пшениці.

Методика проведення досліджень, зв'язаних з визначенням початкової швидкості руху шару  $U_0$ , заснована на вимірах висоти шару  $n_0$  та середньої швидкості фільтрації повітря  $v_\phi$ . Висоту вентиляюмого шару  $n_0$  визначали на початку ділянки прискореного руху шару матеріалу за допомогою мірної лінійки, а середню швидкість фільтрації  $v_\phi$  за формулою :

$$v_\phi = \frac{w}{L \cdot b} \quad (23)$$

Число псевдооріднення шару сипучого матеріалу визначали по формулі:

$$N = \frac{v_\phi - v_{кр}}{v_{кр}} \quad (24)$$

На мал. 3 наведені експериментально одержані графіки залежності початкової швидкості руху шару від значимих факторів.

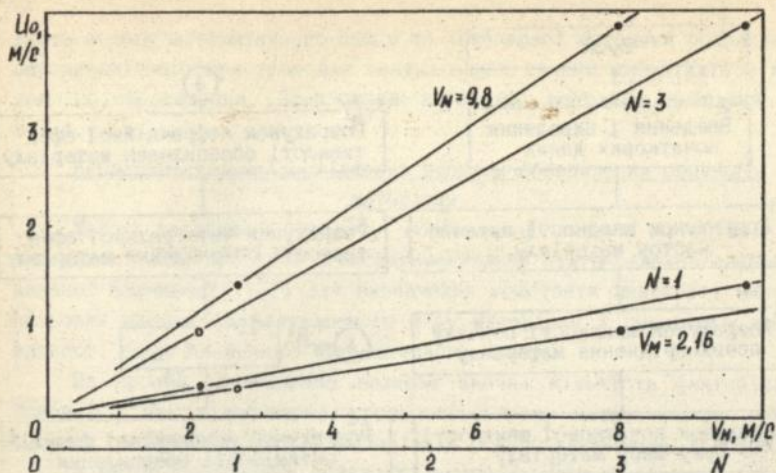
Порівняння оцінок коефіцієнтів виявило, що значимими факторами є швидкість витання часток сипучого матеріалу  $v_\phi$  ( $x_1$ ) та ступінь псевдооріднення шару  $N$  ( $x_2$ ).

На підставі аналізу розмірностей запропонованого математичного опису залежність початкової швидкості транспортування вентиляюмого шару матеріалу (22), робимо висновок, що формула для визначення  $y(x)$  повинна мати вигляд:

$$y(x) = n_u x_1 x_2 \quad (25)$$

Після обробки результатів експерименту маємо:

$$U_0 = 0,14 v_m \frac{v_\phi - v_{кр}}{v_{кр}} \quad (26)$$



Мал.3. Графік залежності початкової швидкості руху шару матеріалу від швидкості витання часток матеріалу  $V_M$  та числа псевдооріднення  $N$ .

Для визначення часу вентилювання  $t$  та прискорення руху матеріалу на щільовій жалюзійній решітці  $A_1$  було розглянуто рух матеріалу і процес фільтрації повітря через псевдооріднений шар у аеродинамічному пристрої. При цьому було використано результати досліджень О.С.Разворотнева та графоаналітичний метод розрахунку струму повітря у псевдоорідненому шарові матеріалу, запропонованою Н.А.Шаховою та Г.А.Мінаєвим.

Для знаходження значень коефіцієнтів у запропонованих автором формулах були проведені відповідні експериментальні дослідження, в результаті яких отримані залежності:

$$t = \int_0^L \frac{dx}{U_0 + A_1 (x - 0,8 dx)} \quad (27)$$

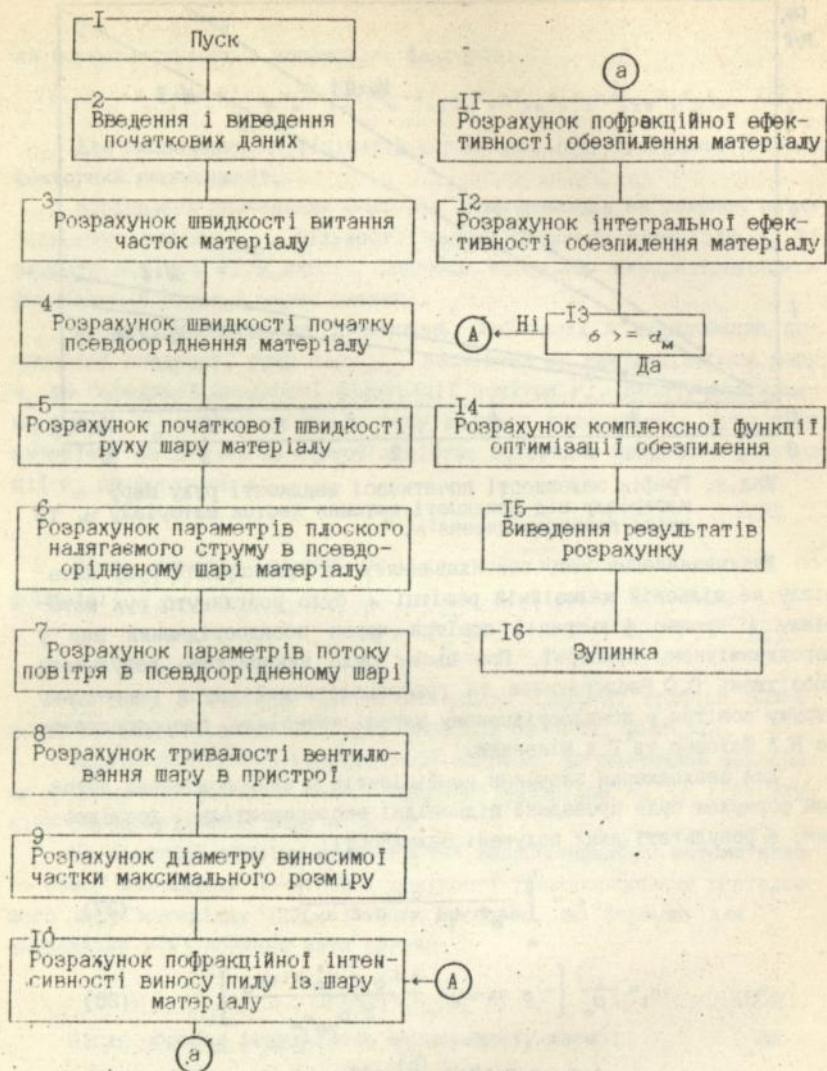
$$A_1 = \frac{1}{U_0} \left[ -\sigma \sin \alpha + \frac{3 C_\phi \rho V_\phi^2 \operatorname{ctg} \alpha}{4 D_{50} \rho_M} \right] \quad (28)$$

де

$$\operatorname{ctg} \alpha = 0,1767 \left( \frac{\rho}{t} \right)^{2,4 \alpha} \operatorname{ctg} \alpha_0 \quad (29)$$

Детальніше це питання розглянуто у дисертації.

Запропоновані залежності (II), (I2), (2I), (26) - (29) скла-



Мал.4. Блок-схема алгоритму методики розрахунку аеродинамічного пристрою.

дають основу математичного опису та інженерної методики розрахунку аеродинамічного пристрою для вентилявання сипких матеріалів з метою їх обезпилення. Блок-схема алгоритму методики наведена на мал.4.

Експериментальне дослідження процесу обезпилення сипучого матеріалу.

Метою досліджень процесу обезпилення сипких матеріалів в аеродинамічному пристрої є експериментальне підтвердження запропонованої залежності (2I) для визначення константи швидкості виносу пильових часток із вентилявального шару матеріалу й перевірка адекватності запропонованого математичного опису.

На процес обезпилення впливає значна кількість факторів. Основні з них відображені у запропонованому математичному описі процесу обезпилення сипких матеріалів у аеродинамічному пристрої.

З метою скорочення кількості експериментів і отримання найбільш достовірних результатів, дослідження проводились при варіюванні найбільш значимих факторів.

На підставі аналізу вкладу кожного фактора значимими факторами являються :

еквівалентний діаметр часток матеріалу -  $D_{\text{eq}} = D_{\text{ср}} / f_m$ ;

швидкість фільтрації повітря -  $v_{\text{ф}}$ ;

довжина жалюзійної решітки -  $l$ ;

захід щілей у жалюзійній решітці -  $i$ ;

кут нахилу жалюзійної решітки -  $\alpha$ .

Таблиця I  
Кодування і інтервали варіювання факторів

№	Найменування, позначення, одиниця вимірювання факт.	Код фактора	Рівні варіювання факторів					Инт. вар.
			-I,4I4	-I	0	+I	+I,4I4	
1.	Швидкість фільтрації газу, $v_{\text{ф}}$ , м/с	$x_1$	0,92	I,0	I,2	I,4	I,48	0,20
2.	Довжина жалюзійної решітки, $l$ , м	$x_2$	0,69	I,0	I,75	2,5	2,8I	0,75
3.	Міжщільова відстань у жалюз.реш., $i$ , м	$x_3$	0,043	0,045	0,050	0,055	0,057	,005
4.	Кут нахилу решітки до гориз., $\alpha$ град	$x_4$	5,07	-3	2	7	9,07	5

Враховуючи конкретні виробничі умови експлуатації аеродинамічного пристрою і відносну стабільність складу формовочних матеріалів, при проведенні експерименту було виключено фактор  $D_0$  (еквівалентний діаметр часток матеріалу).

Кодування і інтервали варіювання значимих факторів приведені у таблиці I.

Перевірку адекватності математичного опису проводили по критерію Фішера. Значення критерію Фішера дорівнювало  $F = 4,2$ . Із порівняння отриманого значення критерію Фішера з його критичним значенням  $F_{кр} = 4,49$  виходить, що одержаний математичний опис процесу є адекватним. Отже, запропоноване рівняння для визначення константи швидкості виносу  $\kappa$ , є правильним й може використатися для визначення інтенсивності виносу пильових часток з псевдоорідненого шару матеріалу.

#### Гідралічний опір.

Виходячи з конструкції аеродинамічного пристрою, його гідралічний опір буде визначатись сумою втрат тиску при проходженні повітря крізь цільову повітрерозподільну решітку і вентиляємий шар матеріалу.

Коефіцієнт місцевого опору цільової жалюзійної решітки  $\zeta$  є функцією коефіцієнта живого перетину  $\beta$  розміру напуску пластин в решітці.

У запропонованій конструкції цільової повітрерозподільної решітки коефіцієнт місцевого опору за результатами досліджень складає  $\zeta = 1,2$  (відносно швидкості повітря у щілині).

#### Оптимізація процесу обезпилення.

Основними показниками роботи аеродинамічного пристрою є ефективність обезпилення формовочних матеріалів й розмір виносу часток формовочного матеріалу.

Для визначення оптимальних умов проходження процесу обезпилення слід встановити критерій (цільову функцію) оптимізації. Очевидно, що цільовою функцією оптимізації процесу обезпилення є співвідношення ефективності процесу обезпилення й величини виносу часток матеріалу. Функція оптимізації, що найбільш повно характеризує ефективність поділу полідисперсного матеріалу на компоненти, має вигляд:

$$F_o = \frac{E_R - E_M}{1 - m/H} \quad (30)$$

Аналітичне отримання приватних похідних від цільової функції оптимізації з врахуванням математичного опису для визначення  $\epsilon_n$  не є можливим. Тому для визначення координат екстремальної величини цільової функції був використаний метод сканування або послідовного перебору узлів сітки простору. Реалізація пошуку екстремуму здійснювалась з використанням ПЕОМ ІВМ РС/АТ286.

В результаті пошуку екстремума функції, що виражена залежністю (30), визначені координати екстремальної точки:

швидкість фільтрації повітря -  $v_\phi = 0,9$  м/с;

довжина жалюзійної решітки -  $l = 6$  м;

висота щілей у жалюзійній решітці -  $h = 0,002$  м;

кут нахилу решітки відносно горизонту -  $\alpha = 0$  град.

Наведеним значенням факторів на екстремальному рівні відповідає:

значення цільової функції оптимізації (ефективності поділу матеріалу на пильову і основну фракції) -  $F_0 = 82,81\%$ ;

ефективність обезпилення формовочного матеріалу -  $\epsilon_n = 97,89\%$ ;

питома корисна потужність -  $N_y = N/q = 353,34$  Вт с/кг;

гідрравлічний опір аеродинамічного пристрою -  $P = 392,6$  Па.

Ефективність обезпилення сипучого матеріалу залежить від значної кількості факторів. Отже, поверхня відгуку за математичним описом є багатомірною й графічне зображення її є складною задачею. Тому аналіз впливу основних факторів на процес обезпилення формовочних матеріалів виконувався за групами факторів ( $v_\phi, l, h, \alpha$ ):

$$E_n = f(v_\phi, l), \text{ при } h \text{ и } \alpha \text{ на рівні екстремальних значень} \quad (31)$$

$$E_n = f(v_\phi, h), \text{ при } l \text{ и } \alpha \quad - \text{ " -} \quad (32)$$

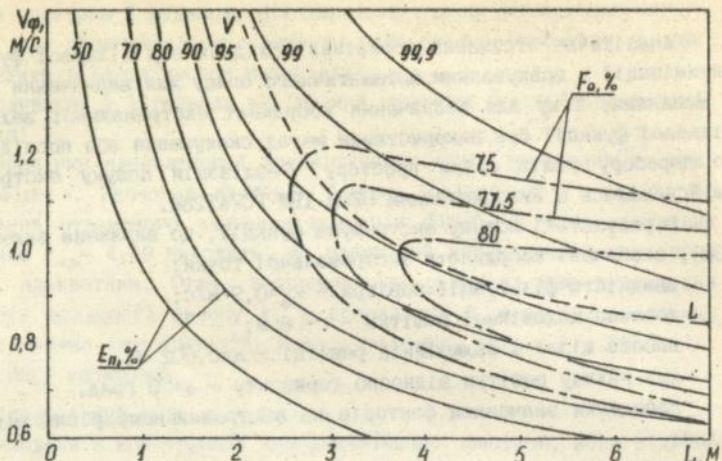
$$E_n = f(v_\phi, \alpha), \text{ при } l \text{ и } h \quad - \text{ " -} \quad (33)$$

$$E_n = f(l, h), \text{ при } v_\phi \text{ и } \alpha \quad - \text{ " -} \quad (34)$$

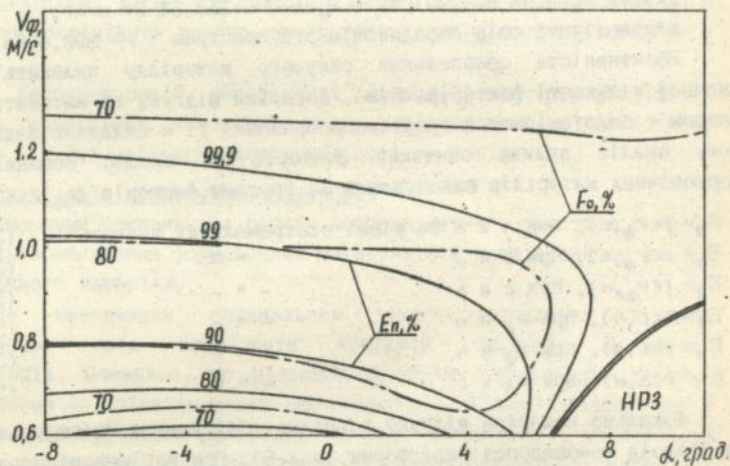
$$E_n = f(l, \alpha), \text{ при } v_\phi \text{ и } h \quad - \text{ " -} \quad (35)$$

$$E_n = f(h, \alpha), \text{ при } v_\phi \text{ и } l \quad - \text{ " -} \quad (36)$$

Локально поверхня відгуку рівняння (31) уявляє собою урізаний параболоїд чечевидеподібної форми (мал.5). При варіюванні параметрами  $l$  та  $v_\phi$  в межах, що вказані на мал.5; ефективність обезпилення  $\epsilon_n$  змінюється від 50 до 99,9%, а цільова функція оптимізації - від 50 до 80%. Найбільше значення ефективності обезпилення  $\epsilon_n = 99,9\%$  при довжині решітки  $l = 6$  м досягається при швидкості фільтрації  $v_\phi = 1,15$  м/с, але при цьому знижується загальна ефективність роботи аеродинамічного пристрою ( $F_0 = 76\%$ ) за рахунок виносу часток



Мал.5. Контурні криві однакових значень комплексної функції оптимізації  $F_0$  і ефективності обезпичення  $E_n$  при зміні  $V_\phi$  й  $L$  і значеннях  $\alpha$  і  $\lambda$  на оптимальному рівні.



Мал.6. Контурні криві однакових значень комплексної функції оптимізації  $F_0$  і ефективності обезпичення  $E_n$  при зміні  $V_\phi$  й  $\alpha$  і значеннях  $L$  і  $\lambda$  на оптимальному рівні.

матеріалу з частками пилю. У зв'язку з цим доцільно знизити значення  $v_{\phi}$  до 0,9 м/с, при якому досягається максимальне значення цільової функції оптимізації  $F_0=82,81\%$ . Значення ефективності обезпилення формовочного піску при цьому зменшується не набагато  $\epsilon_{\pi}=97,89\%$ .

Поверхня відгуку рівняння (33) уявляє собою трьохмірну поверхню неправильної форми, зображену у вигляді ізоліній на мал.6. При варіюванні параметрами  $\alpha$  та  $v_{\phi}$  в межах, позначених на мал.6, ефективність обезпилення змінюється від 70 до 99,9%, а цільова функція оптимізації роботи аеродинамічного пристрою - від 70 до 80%. Максимум комплексної функції оптимізації (ефективності поділу матеріалу)  $F_0=82,81\%$  досягається при значеннях параметрів  $\alpha=0$  град і  $v_{\phi}=0,9$  м/с. Цьому відповідає значення ефективності обезпилення матеріалу  $\epsilon_{\pi}=97,89\%$ .

З мал.6 видно, що отримання ефекту очистки, наприклад, 99,9% можливо при високому рівні  $v_{\phi}=1,14$  м/с, але більш низькому значенні  $\alpha=0$  град, або більш низькому значенні  $v_{\phi}=0,9$  м/с й більш високому значенні  $\alpha=7,3$  град. Це дає можливість в залежності від необхідності раціонально вибрати робочий режим. Проте це не завжди можливо, тому що існують області значень факторів, у яких аеродинамічний пристрій не працює внаслідок припинення руху матеріалу і виникнення завалів. Частка цієї області позначена у нижній частині мал.6 - НРЗ.

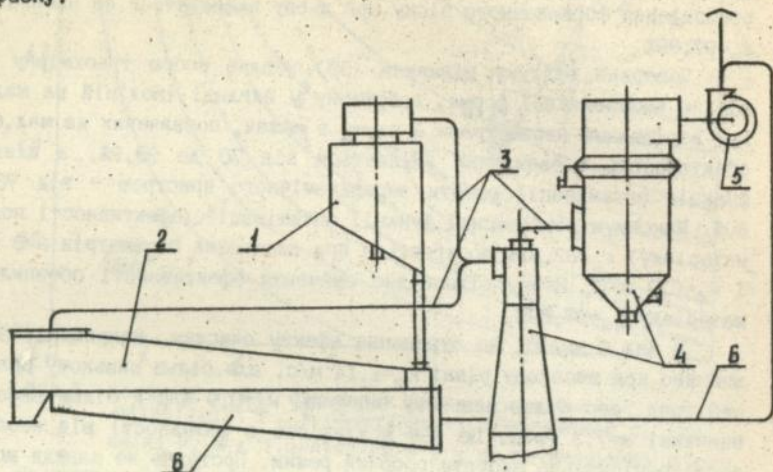
За допомогою ПЕОМ отримані координати ліній однакових ефективностей і побудовані графіки по всім групам факторів.

#### Промислове впровадження.

На підставі лабораторних досліджень було виконано проектування та виготовлення дослідно-промислового зразка аеродинамічного пристрою продуктивністю 5,0 т/г формовочного піску. Вказаний зразок встановлений за технологічною лінією пневмотранспорту формовочного піску у сумішеприготувальному відділенні чавуноливарного цеху Колпінського ливарно-механічного заводу. Довжина щільової жалюзійної решітки, виходячи з заводських умов, була прийнята 6,5 м, при кутові нахилу решітки +12 град; середня швидкість фільтрації повітря  $v_{\phi}=1,3$  м/с; питома продуктивність пристрою по формовочному піску  $q = 5,5$  кг/с м; висота щілин у жалюзійній решітці  $\lambda = 0,002$  м; ширина жалюзійної решітки  $b = 0,25$  м.

На мал.7 зображена принципова схема аспіраційної установки.

Принцип роботи аеродинамічного пристрою аналогічний лабораторному зразку.



Мал.7. Схема аспіраційної установки з аеродинамічним пристроєм;

1 - бункер-розвантажувач; 2 - аеродинамічний пристрій; 3 - система аспіраційних повітрепроводів; 4 - пилеудовловлювача установка; 5 - вентилятор; 6 - повітрепровід для схеми із замкнутим контуром.

Става робота аеродинамічного пристрою при зниженні виносу матеріалу відповідала витратам повітря 7,56 тис м<sup>3</sup>/г. При цьому швидкість повітря у розрізі розвантажувальної камери дорівнювала 2,46 м/с, а ефективність обезпилення дорівнювала 99,4%.

Одною з задач виробничого експерименту було виявлення впливу на процес вентилявання та винос часток матеріалу Г-подібних пластин.

Виявлено, що установка Г-подібних осаджуючих пластин у розвантажувальній камері аеродинамічного пристрою зменшує винос великих часток матеріалу у 2,5-4 разів. Зниження ефективності обезпилення формувального піску при цьому не спостерігалось.

Заміри запилованості повітря в робочій зоні сумішескладального відділення до й після впровадження аспіраційно-сепараційної установки з аеродинамічним пристроєм свідчать про 20-25 разове зниження концентрації пилу - 0,87 - 1,14 мг/м<sup>3</sup> і досягало п.д.к.-

І мг/м<sup>3</sup>.

Для дослідження аеродинамічного пристрою у виробничих умовах на дрібнодисперсному пилу був розроблений та змонтований у складі зернистого фільтру експериментальний зразок аеродинамічного вузла регенерації продуктивністю 200кг/г зернового матеріалу й 210м<sup>3</sup>/г повітря. Розроблений зернистий пилеуловлювач з аеродинамічним вузлом регенерації був змонтований на Київському верстатобудівному виробничому об'єднанні ім. О.М.Горького.

Запиленість зернистого матеріалу досягала 8-14%, а медіанний розмір часток пилу складав 12-18 10<sup>-6</sup>м.

При початковій запиленості зернистого матеріалу 150 г/кг кінцева запиленість складала 1,0г/кг. Ефективність обезпилення при цьому відповідала 99,3%.

### ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

1. З метою поліпшення умов праці, підвищення ефективності роботи існуючих систем вентиляції та захисту атмосферного повітря від забруднення аспіраційними викидами на чавуноливарних підприємствах доцільно проводити організоване обезпилення формовочних матеріалів з подальшою утилізацією виділеного пилу. Обезпилення формовочних матеріалів слід проводити перед поданням у сумішеприготувальне відділення після вибивки форм.

2. На підставі аналізу літературних джерел обґрунтовано, що обезпилення формовочних матеріалів найефективніше проводити засобом вентилявання у процесі їх переміщення вздовж щільових повітрозподільних решіток. Аеродинамічні пристрої, що забезпечують даний засіб обезпилення легко вмонтовуються у вже існуючі транспортно-технологічні лінії формовочних матеріалів.

3. На підставі існуючих досліджень запропонована залежність для визначення питомої маси виносимого пилу з псевдоорідненого шару матеріалу (константа швидкості виносу). Запропонована полумірична залежність на відміну від існуючих кореляцій має ширшу область зазначення і відображає процес виносу пильових фракцій з матеріалу.

4. Проведено дослідження процесу переміщення сипучого матеріалу по щільовим газорозподільним решіткам, що дозволило запропонувати математичний опис процесу руху і визначити термін вентилявання сипучого матеріалу у аеродинамічному пристрої.

5. На підставі аналітичних та експериментальних досліджень

одержано математичний опис процесу обезпилення при вентиляванні шару матеріалу, що рухається вздовж щільової жалюзійної решітки, в залежності від конструктивних і технологічних параметрів роботи аеродинамічного пристрою.

6. На підставі аналізу руху твердої й газової фаз вздовж щільової жалюзійної решітки розроблено новий аеродинамічний пристрій для обезпилення формовочних матеріалів а.с. № І557024, яке досліджено у лабораторних умовах з використанням сучасних методів математичної статистики й обробки результатів експериментів, що дозволило визначити у аналітично одержаних формулах коефіцієнти пропорційності й ствердити адекватність запропонованого математичного опису процесу обезпилення результатам експериментальних досліджень.

7. Встановлено, що для обезпилення формовочних матеріалів на 98% значимі фактори необхідно підтримувати на наступних оптимальних рівнях:

швидкість фільтрації повітря -  $v_{\phi} = 0,9$  м/с;

довжина жалюзійної решітки -  $L = 6$  м;

міжщільовий розмір решітки -  $l = 0,05$  м;

кут нахилу решітки до горизонту -  $\alpha = 0$  градус;

питома продуктивність -  $q = 6$  кг/м с.

6. Аеродинамічний пристрій продуктивністю 5,0 т/г і розмірами щільової жалюзійної решітки 0,25\*6,5 м встановлено та випробовано у транспортно-технологічній лінії формовочного піску на Колпінському ЛМЗ, що дозволило обезпилювати формовочний пісок з ефективністю більше 98% при медіанному діаметрі часток пилу 54 мкм і гідравличному опіру не більше 800 Па. Впровадження пристрою дозволило зменшити концентрацію пилу на робочих місцях в сумішескладальному відділенні у 20-25 разів і досягти рівня п.д.к. Економічний ефект від впровадження аспіраційно-сепараційної установки складає 2607 крб./рік а відвернені економічні збитки - 37729 крб. на рік (в цінах до 1992 р.).

9. На підставі математичного опису процесу обезпилення і результатів іспитів у лабораторних й виробничих умовах розроблена методика розрахунку аеродинамічного пристрою для вентилявання формовочних матеріалів.

10. Розроблено і впроваджено на Київському верстатобудівному ВО ім. О.М.Горького зернистий пилаудовлювач з аеродинамічним пристроєм в якості вузла регенерації зернистого наповнювача. Позитивні

результати іспитів аеродинамічного пристрою в різних умовах дозволяють рекомендувати його до більш широкого впровадження.

#### СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ

Основні положення дисертації опубліковані у наступних роботах:

1. Любарец А.П., Петриченко Н.И., Лукаш С.А. Определение профиля аспирационной решетки. - Строительные материалы, изделия и санитарная техника. Вып. 8. - Киев: Будивельник, 1985. - с. 76.

2. Разработать и исследовать экспериментальную установку для аспирации силиковоопасных фракций формовочных материалов чугунолитейного цеха. Отчет по заданию 2.17.08.01.01. Отв. исполнитель Любарец А.П. - Киев, НИИСТ, 1986. - 93 с.

3. Любарец А.П. Обеспыливание формовочных материалов литейного производства. - Тезисы докладов Всесоюзной конференции: Ускорение научно - технического прогресса в промышленности строительных материалов и строительной индустрии. Часть 3. Охрана окружающей среды. - Белгород, 1986. - с.121-122.

4. А.с. № 1389926 (СССР). Пылеловитель с внутренней циркуляцией орошающей жидкости. / Я.А.Чакчир, Н.И.Петров, Н.И.Петриченко, П.М.Сенько, А.П.Любарец, Опубл. в БИ, 1988, № 15, с. 41.

5. Любарец А.П. Унос мелкой фракции при псевдооживлении сыпучих материалов. - Борьба с пылью на предприятиях по переработке сыпучих материалов. Об.научн.тр.ВТИСМ. - Белгород, 1990. - с. 106.

6. А.с. № 1557024 (СССР). Аэрогравитационное устройство для вентилирования и транспортирования сыпучих материалов. / Н.И.Петриченко, П.М.Сенько, А.П.Любарец, Я.А.Чакчир, В.А.Сазонов, Н.И.Петров, Н.И.Лыгин. Опубл. в БИ, 1990, № 14, с. 104.

7. Любарец А.П. Эффективность обеспыливания полидисперсных материалов в псевдооживленном слое. - Тезисы докладов 53-й научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов. - Киев, КИСИ, 1992. - с.42

8. Любарец А.П., Петриченко Н.И. Движение псевдооживленного слоя по щелевой газораспределительной решетке. - Тезисы докладов 53-й научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов. - Киев, КИСИ, 1992. - с.43

9. Любарец А.П. Определение живого сечения щелевой газораспределительной решетки для перемещения сыпучих материалов. - Тезисы докладов 54-й научно-практической конференции профессорско-

### УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

Матеріал, шар:  $s$  - площа псевдоорідненого шару,  $m^2$ ;  $n$  - маса псевдоорідненого шару,  $кг$ ;  $m$  - маса пильових часток у псевдоорідненому шару,  $кг$ ;  $q$  - питома продуктивність по сипучому матеріалу,  $кг/м^2 с$ ;  $\rho_m$  - щільність часток матеріалу,  $кг/м^3$ ;  $D_{50}$  - медіанний діаметр часток сипучого матеріалу,  $м$ ;  $v_m$  - швидкість витання частки матеріалу  $D_{50}$ ,  $м/с$ ;  $f_m$  - коефіцієнт форми часток сипучого матеріалу;  $c_{\phi}$  - коефіцієнт аеродинамічного опору частки матеріалу  $D_{50}$  при швидкості повітря  $v_{\phi}$ ;  $v_{кр}$  - швидкість початку псевдооріднення шару сипучого матеріалу,  $м/с$ ;  $U_0$  - початкова швидкість прискореного руху псевдоорідненого шару сипучого матеріалу,  $м/с$ ;  $t$  - термін вентилявання сипучого матеріалу у аеродинамічному пристрою,  $с$ ;  $A_1$  - прискорення руху шару матеріалу по довжині жалюзійної решітки,  $г/с$ .

Пил:  $\rho_n$  - щільність часток пилу,  $кг/м^3$ ;  $\delta$  - діаметр часток пилу,  $м$ ;  $\alpha_m$  - максимальний діаметр часток пилу,  $м$ ;  $\alpha_{\phi}$  - діаметр часток пилу з швидкістю витання  $v_{\phi}$ ,  $м$ ;  $v_n$  - швидкість витання часток пилу  $\delta$ ,  $м/с$ ;  $c_n$  - коефіцієнт аеродинамічного опору частки  $\delta$  при швидкості  $v_n$ ;  $f$  - площа перетину частки пилу  $\delta$ ,  $м^2$ ;  $\phi(\delta)$  - функція пофракційного розподілу пилу.

Пристрій, струм:  $w$  - витрати газу (повітря) на обезпилення матеріалу,  $м^3/с$ ;  $\rho$  - щільність газу,  $кг/м^3$ ;  $\mu$ ,  $\nu$  - коефіцієнти динамічної та кінематичної в'язкості газу,  $кг/(м^2 с)$ ,  $м^2/с$ ;  $v_{\phi}$  - середня швидкість фільтрації газу,  $м/с$ ;  $L$  - довжина жалюзійної решітки,  $м$ ;  $b$  - ширина жалюзійної решітки,  $м$ ;  $l$  - міжщільова відстань у жалюзійній решітці,  $м$ ;  $\alpha$  - кут нахилу жалюзійної решітки до горизонту,  $град$ ;  $\gamma_{\alpha_1}$  - середній кут фільтрації одиничного плоского налягаючого струму повітря в псевдоорідненому шарові матеріалу,  $град$ ;  $\gamma_0$  - середній кут фільтрації повітря в псевдоорідненому шарі матеріалу,  $град$ ;  $D$  - дальність розповсюдження плоского налягаючого струму повітря в псевдоорідненому шарі матеріалу,  $м$ ;  $\xi$  - коефіцієнт місцевого опору щільової повітрерозподільної решітки;  $k$  - константа швидкості виносу пильових часток в,  $кг/м^2 с$ ;  $\epsilon$  - пофракційна ефективність обезпилення сипучого матеріалу;  $\epsilon_n$  - ефективність обезпилення сипучого матеріалу;  $\epsilon_m$  - величина виносу часток матеріалу.

Підп. до друку 05.08.83 . Формат 60×84<sup>1/16</sup>.  
Папір друк. № 3. Спосіб друку офсетний. Умовн. друк. арк. 1,39 .  
Умовн. фарбо-відб. 1,5 . Обл.-вид. арк. 1,0 .  
Тираж 100 . Зам. № 5377 . Безплатно.

---

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



10

100-727

Безплатно

Av 28.092