

# ВІСНИК

Сумського  
державного  
університету

102-105

*Серія*

*Технічні науки*



№ 12(58)' 2003



## ТЕХНІЧНА ГІДРОАЕРОМЕХАНІКА

<b>Бабенко В.В., Турик В.Н., Дембицкий В.С.</b> Особенности аэродинамики вихревых камер с рассредоточенным подводом газа.....	5
<b>Скіра В.В., Тимофеев І.Л., Молчанов А.Д., Вишневська А., Карпінська І.А.</b> Гідродинаміка енергоощадного процесу утворення крапель води .....	10
<b>Смирнов Е.А., Рябчук Г.В., Прокопенко А.С.</b> Течение нелинейно-вязкой жидкости по вращающейся криволинейной поверхности .....	14
<b>Виноградов А.Г.</b> Екранування конвективних теплових потоків водяними завісами .....	19
<b>Голуб В.Г.</b> Физические принципы разработки конструкции механических центробежных саморегулируемых форсунок с внешней закруткой .....	23
<b>Чернюк В.В.</b> Застосування гідродинамічно-активних додатків для керування напірними потоками рідин .....	31
<b>Мочалин Е.В.</b> Формирование вихревой структуры закрученных течений в цилиндрической области с проницаемой боковой поверхностью .....	36
<b>Рябчук Г.В., Щербакова Н.Л.</b> Течение нелинейно-вязкой жидкости во вращающемся вокруг вертикальной оси криволинейном конвергентном канале .....	41
<b>Ковальов В.А.</b> Гідродинамічна картина інерційного потоку нестисливої рідини у торовому резервуарі .....	45
<b>Гаев Е.А., Шихалиев С.З., Гаева Е.А.</b> Расчет входа вязкой жидкости в канал с легкопроницаемой шероховатостью .....	50
<b>Батлук В.А., Батлук В.К., Шелюх Ю.Є.</b> Визначення оптимальних конструктивних розмірів відцентрово-інерційних пиловловлювачів .....	54
<b>Батлук В.Б., Плескун М.І.</b> Зменшення величини гідравлічного опору жалюзійно-вихрового пиловловлювача .....	58
<b>Джюстин В.А., Ярошенко А.А.</b> Вертикальное распределение скорости звука в океане .....	61
<b>Брежнев А.А., Мочалин Е.В.</b> Расчет поля скоростей закрученного потока в кольцевой области с проницаемой стенкой .....	65
<b>Коваль А.Д.</b> Реологические особенности клеев на полимерной основе, применяемых для наклеивания этикеток .....	69
<b>Довгий С.О., Буланчук Г.Г., Буланчук О.М.</b> Моделювання аеродинаміки міських забудов .....	72
<b>Шихайлов Н.А.</b> О некоторых особенностях использования ветроустановок малой мощности .....	77
<b>Кулик М.Н.</b> Аналіз застосування гідродинамічних дросельних змірювальних перетворювачів для аналізу фізико-механічних характеристик рідин .....	88
<b>Савченко Н.В., Яхно О.М.</b> Гидродинамические способы создания пульсирующих струй для гидроразрушения твердых материалов .....	92
<b>Куд В.П., Марціян О.М., Ярош Я.Д.</b> Визначення гідравлічного опору диклона зі ступеневим відведенням твердої фази .....	98
<b>Балабан С.М., Ханик Я.М., Рассказов Ю.С.</b> Гідродинамічні процеси при фільтраційному сушінні волокнистих матеріалів .....	102
<b>Голод Ю.В., Журавель О.І., Шаповалова І.С., Ярошенко А.А.</b> Волновые движения плавающего ледяного покрова.....	105
<b>Евменіков В.П.</b> Особливості розрахунку та експериментальні дослідження аеростатичних опор координатно-вимірвальних машин.....	109



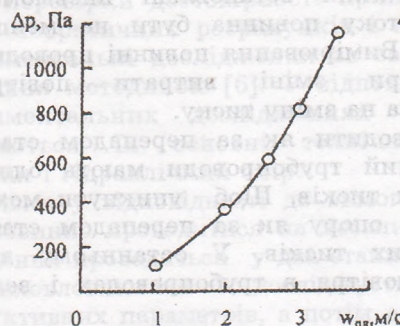


Рисунок 3 - Залежність гідралічного опору від швидкості повітряного потоку (в плані)

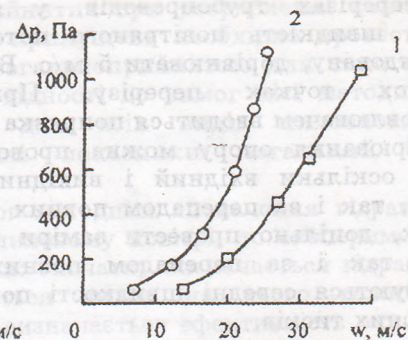


Рисунок 4 - Залежність гідралічного опору від швидкості повітряного потоку у вхідному патрубку: 1 - для апарата, що досліджується; 2 - для відцентрово-інерційного пиловловлювача з жалюзійним відведенням повітря [4]

Як бачимо із графіка на рис.4, гідралічний опір циклона з ступеневим відведенням твердої фази менший від опору відцентрово-інерційного пиловловлювача з жалюзійним відведенням повітря при тих самих значеннях основних параметрів (швидкість потоку, живий переріз решітки).

Це дозволяє зробити висновок про те, що з точки зору величини гідралічного опору створення нового пиловловлювача - циклона з ступеневим відведенням твердої фази - є доцільним. Отже, процес очищення в такому пиловловлювачі може бути здійснений з меншими енергетичними затратами, що в кінцевому рахунку знизить вартість процесу.

## SUMMARY

A method and results of experimental researches of cyclone created by authors on determination of his hudraulic resistance are conducted.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Центробежно-инерционный пылеуловитель: А.с. 379289 СССР, МКИ В04 С 7/15. / А.И. Чернявский, В.А. Сорока, Г.А. Аксельруд (СССР). Опубл. 20.04.73, Бюл.20.
2. Батлук В.А. Исследование процесса пылеулавливания с помощью жалюзийного инерционного пылеуловителя нового типа: Дис... канд. техн. наук: 05.17.08. - Львов. - 1973. - 143с.
3. Центробежно-инерционный пылеуловитель: А.с. 598623 СССР, МКИ В04 С 7/15 /А.И. Чернявский, В.А. Батлук, В.П. Куц (СССР). Заяв.21.05.76. Опубл. 09.10.78, Бюл.21.
4. Куц В.П. Повышение эффективности пылеулавливания в центробежно-инерционных пылеотделителях с жалюзийным отводом воздуха. - Дис...канд. техн. наук: 05.17.08. - Львов. - 1986. - 221с.
5. Майструк В.В. Розділення запиленних газів у циклонах з проміжним відведенням твердої фази: Дис...канд. техн. наук: 05.17.08. - Львов. - 2000. - 161с.
6. Единая методика сравнительных испытаний пылеуловителей для очистки вентиляционного воздуха. - Л.: ВЦНИИОТ. - 1967. - 103с.

УДК 66.047

## ГІДРОДИНАМІЧНІ ПРОЦЕСИ ПРИ ФІЛЬТРАЦІЙНОМУ СУШІННІ ВОЛОКНИСТИХ МАТЕРІАЛІВ

С.М.Балабан, канд.техн.наук; Я.М.Ханик, д-р.техн.наук; Ю.С.Рассказов

Впровадження у виробництво високоефективних технологій вимагає поглибленого їх вивчення і встановлення зв'язків між процесами, що їх супроводжують. До таких технологій належить фільтраційне сушіння газопроникних матеріалів. У цьому випадку за допомогою



вентиляційного обладнання створюють різницю тиску з двох боків плоских матеріалів або виробів складної форми. Сушильний агент під дією різниці тисків проходить через структуру пор та капілярів об'єкта, що сушиться, віддає своє тепло, насичується вологою і виводиться з нього. Інтенсифікація сушіння досягається за рахунок багаторазового збільшення поверхні тепломасообміну, більш повного використання теплової енергії сушильного агента і заміни молекулярної дифузії вологи до поверхні матеріалу внутрішньокапілярним конвективним сушінням.

Теоретичні та експериментальні дослідження показують, що під час фільтраційного сушіння в матеріалі проходять нестационарні гідродинамічні та тепломасообмінні процеси. При цьому вологість матеріалу і гідравлічний опір руху сушильного агента через пори і капіляри зменшується від максимального значення на початку сушіння до мінімального значення при досягненні матеріалом рівноважної вологості  $W = W_p$ .

У загальному процес фільтраційного сушіння можна розділити на три періоди. Для першого періоду характерне механічне витиснення вологи з макропор матеріалу першими порціями сушильного агента. Механічне витиснення спостерігається протягом перших 5-10 секунд сушіння і на кінетичних кривих відображається майже вертикальними кривими лініями. Сам процес механічного витиснення вологи можна подати як інтенсивне поршневе витиснення сушильним агентом певної кількості вологи, в результаті чого в повністю заповнених рідиною макрокапілярах утворюються вільні канали. Гідравлічний опір матеріалу при цьому миттєво зменшується. Але у капілярах ще міститься значна кількість вологи, що затримується як за рахунок адсорбційних сил, так і завдяки наявності тупикових капілярів з яких волога не витискується. У каналах складної форми потоки сушильного агента турбулізуються, розривають плівку вологи і у вигляді туману і дрібних крапель виносять їх із структури матеріалу. Такі процеси проходять в елементарному шарі і переміщуються у товщині матеріалу за напрямом руху сушильного агента. У мірі того як даний процес переміщується у глибину матеріалу, що сушиться, у верхніх шарах волога, що міститься у мікрокапілярах, випаровується. Але на даному етапі сушіння кількість механічно витисненої вологи значно перевищує кількість вологи, що випаровується.

Другий період фільтраційного сушіння на кінетичних кривих зображається прямими нахиленими лініями, кут нахилу яких залежить від швидкості проходження процесу сушіння. Протягом даного періоду як механічне винесення вологи, так і її випаровування відбуваються доволі інтенсивно. На початку періоду механічне винесення вологи домінує над процесом випаровування. У процесі сушіння інтенсивність механічного винесення вологи зменшується, а кількість випарованої вологи збільшується. Спільне проходження даних процесів відбувається таким чином, що протягом всього періоду сумарна кількість видаленої вологи за одиницю часу залишається практично постійною. Тому другий період фільтраційного сушіння можна назвати періодом постійної швидкості сушіння.

Третій період фільтраційного сушіння на кінетичних кривих зображається криволінійними ділянками і називається періодом спадної швидкості сушіння. Протягом даного періоду спостерігається випаровування вологи з пор і капілярів матеріалу, що сушиться.

Для групи досліджуваних волокнистих матеріалів перший період фільтраційного сушіння продовжується від 5 до 25 секунд. При цьому вологість матеріалу зменшується від 350% - 300% до 150% - 90%. Другий період фільтраційного сушіння може продовжуватися від 300 сек. до 25 сек. При цьому вологість матеріалу зменшується до 5%. Практично для досліджуваної групи матеріалів це є рівноважна



вологість. Тобто продовжувати фільтраційне сушіння в періоді спадної швидкості сушіння недоцільно.

Для одержання аналогічної залежності між біжучою вологістю матеріалу, його геометричними характеристиками і параметрами сушильного агента запропонована [1,2] модель ідеального витискання. Вона базується на диференціальних рівняннях матеріального балансу в шарі і кінетики процесу сушіння. Розв'язання таких рівнянь дозволяє отримати рівняння кінетики сушіння у вигляді

$$W = (1 - \alpha t^{-\beta H} r) W'_0, \quad (1)$$

де  $W$  - біжуча вологість матеріалу, %;  $\alpha, \beta$  - кінетичні коефіцієнти;  $H$  - товщина матеріалу, м;  $r$  - час сушіння, с;  $W'_0$  - зведена початкова вологість матеріалу, %.

Для дослідження залежностей між гідродинамічними параметрами запропонована модель [3]. При цьому встановлення залежності між гідродинамічними і масообмінними процесами, які відбуваються під час фільтраційного сушіння матеріалу, є складною задачею.

Відомо [4], що для організації фільтраційного сушіння важливе значення має вивчення закономірностей зміни гідравлічного опору сухих матеріалів у залежності від фіктивної швидкості фільтрації сушильного агента. Для опису цих закономірностей доцільно використовувати двочленне рівняння Форхеймера у вигляді

$$\frac{\Delta P}{H} = x \frac{a^2 \mu}{\varepsilon^3} \omega_0 + y \frac{a \rho}{\varepsilon^3} \omega_0^2; \quad (2)$$

де  $\Delta P$  - гідравлічний опір матеріалу, Па;  $x, y$  - числові коефіцієнти;  $\mu$  - в'язкість сушильного агента, Па·с;  $\omega_0$  - фіктивна швидкість фільтрації сушильного агента, м/с;  $a$  - питома поверхня, м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>;  $\varepsilon$  - пористість матеріалу, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;  $\rho$  - густина сушильного агента, кг/м<sup>3</sup>.

Встановлено, що коефіцієнти  $x$  і  $y$  залежать від пористості і питомої поверхні матеріалів, що піддаються сушінню.

Зі зміною пористості матеріалу змінюється його гідравлічний опір продуванню сушильного агента через структуру матеріалу. У свою чергу, пористість матеріалу залежить від його вологості. На основі результатів експериментальних досліджень встановлено, що для волокнистих матеріалів залежність між пористістю і вологістю у загальному вигляді можна записати

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + mW, \quad (3)$$

де  $\varepsilon_0$  - пористість сухого матеріалу, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;  $m$  - числовий коефіцієнт.

Тоді рівняння (2) набуде вигляду

$$\frac{\Delta P}{H} = \frac{x a^2 \mu \omega_0 + y a \rho \omega_0^2}{(\varepsilon_0 - mW)^3}. \quad (4)$$

Таким чином, рівняння (1) і (4) дозволяють проводити розрахунки біжучих значень гідравлічного опору фільтрації сушильного агента через структуру матеріалу в залежності від вологості матеріалу і параметрів сушильного агента.

У таблиці 1 наведені результати визначення експериментальним шляхом величин коефіцієнтів, що використовуються у рівняннях (1) і (4) для типу волокнистих матеріалів, які досліджуються. Відомо, [5] що для даного типу матеріалів залежність між кінетичним коефіцієнтом  $\alpha$  і параметрами сушильного агента має вигляд

$$\alpha = A \Delta P_c (T - T_0), \quad (5)$$

де  $A$  - числовий коефіцієнт;  $\Delta P_c$  - гідравлічний опір сухого матеріалу, Па; температура сушильного агента, К;  $T_0 = 273^\circ \text{K}$ .



Таблиця 1 - Залежність значень коефіцієнтів від пористості  $\varepsilon$  і питомої поверхні  $a$  матеріалів із волокнистою будовою

Но- мер	$\varepsilon_c$ , м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	$a$ , м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup>	$A$	$\beta$	$x \times 10^{-5}$	$y \times 10^{-3}$	$m$
1	0,895	8790308	$2,4 \times 10^{-7}$	36,7	2,78	1,4	0,138
2	0,797	5803160	$2,1 \times 10^{-8}$	54,9	23,44	5,1	0,250
3	0,760	5803460	-	-	18,57	5,6	0,262

Для одного з досліджуваних матеріалів, який характеризується пористістю  $\varepsilon_c = 0,797$  м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> і питомою поверхнею  $a = 5803160$  м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>, залежність  $\Delta P = f(W)$ , яку можна одержати, використовуючи рівняння (1), (4) і (5), набуває вигляду

$$W = [1 - 2,1 \cdot 10^{-8} \Delta P_c (T - T_0) \cdot e^{-5,49H} \cdot \tau] \cdot W'_0 \quad (6)$$

та

$$\frac{\Delta P}{H} = \frac{23,44 \cdot 10^{-5} a^2 \mu \cdot \omega_0 + 5,1 \cdot 10^{-3} a \rho \cdot \omega_0^2}{(0,797 - 0,25 \cdot W)^3} \quad (7)$$

Для проведення запропонованих розрахунків фільтраційного сушіння необхідні точні характеристики матеріалів, що піддаються сушінню. На жаль, така інформація в довідковій літературі відсутня. Тому авторами розроблений новий спосіб визначення об'єму порового простору і пористості матеріалів, на який одержано патент на винахід.

## SUMMARY

Analyses of the hydrodynamic processes taking the filtration drying of the fibre materials is presented. The model of the liquid displacement during the drying, is proposed. The possibility to apply binomial equation of the Forheimer type to calculate the current value of the hydrolic filtration resistance of the drying agent through the gas hermeable fibre material depending on the humidity and parameters of the drying agent, is proved.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ханьк Я.Н. Исследования сушки газопроницаемых материалов фильтрационным способом: Автореф. диссертация канд.техн.наук. - Киев, 1980. - 32 с.
2. Аксельруд Г.А., Ханьк Я.Н., Балабан С.Н. //Химическая технология, 1986. - № 4 (148).-С.38-42.
3. Аксельруд Г.А., Ханьк Я.Н., Топчий В.И. //ИФЖ. - 1986. - Т № 6. - С. 959-963.
4. Аксельруд Г.А., Ханьк Я.Н., Балабан С.Н. Изд. вузов: Технология текстильной промышленности. - 1988. - № 3. - С. 84-87.
5. Балабан С.Н. Фильтрационная сушка теплоизоляционных материалов: Автореф. дис...канд.техн.наук. - Львов, 1989. - 16 с.

УДК 532.593:539.3:550.3

## ВОЛНОВЫЕ ДВИЖЕНИЯ ПЛАВАЮЩЕГО ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА

Ю.В. Голод, студ.; О.И. Журавель, асп.; И.С. Шаловалова, студ.;

А.А. Ярошенко, канд. физ.-мат. наук, доц.

Севастопольский национальный технический университет

### ВВЕДЕНИЕ

Лед, плавающий на поверхности моря, существенно изменяет характер поверхностного волнения. С другой стороны, волны во многом определяют процессы, происходящие в ледяном покрове. Изучение