

## ПУТИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ БАРАБАННЫХ СУШИЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Т.А. Жукова, А.В. Алтухов

*Южно-Казахстанский гуманитарный институт им. М. Сапарбаева,  
г. Алматы, Казахстан*

*Представлена членом редколлегии профессором Н.Ц. Гатаповой*

На современном этапе, в плане экономии энергетических ресурсов остро стоит вопрос снижения энергозатрат тепло- и массообменных аппаратов, используемых для сушки дисперсных материалов, так как процесс сушки является одним из самых энергоемких процессов в производстве.

В химической, пищевой и других отраслях промышленности для проведения процессов сушки широкое применение нашли барабанные сушильные аппараты. Это обусловлено простотой их конструкции, большой производительностью и универсальностью.

Известно, что основные затраты энергии в барабанных сушилках приходится на нагрев сушильного агента и привод барабана. Поэтому для снижения энергопотребления данными аппаратами могут быть использованы два пути. Во-первых, уменьшение затрат на подготовку агента сушки интенсификацией процесса межфазного теплообмена, а во-вторых, снижение мощности привода.

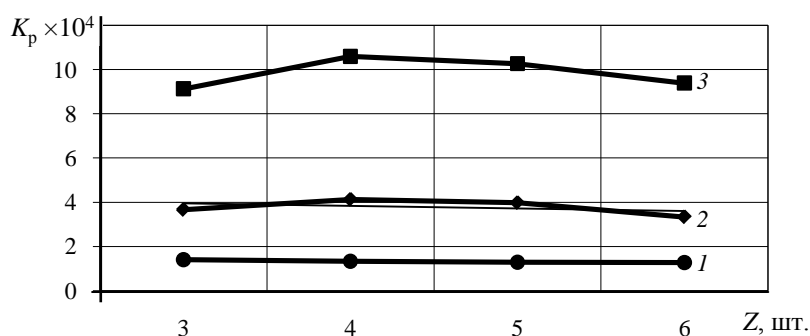
Интенсифицировать процессы тепло- и массообмена можно путем улучшения условий контакта высушиваемого материала и теплоносителя. Для этого необходимо такое распределительное устройство, которое позволяет равномерно распределять материал по поперечному сечению барабана.

Уменьшение затрат энергии на привод в данных аппаратах можно достичь использованием вращающейся периферийной лопастной насадки в неподвижном барабане. К тому же, такая конструкция сушилки не требует дорогостоящих опорно-упорных станций и исключает потери высокотемпературного теплоносителя через уплотнения в паре барабан-бункер.

С целью решения вышеназванных задач нами разработан сушильный барабанный аппарат с вращающейся контактной зоной, в котором установлена периферийная лопастная насадка, вращающаяся в неподвижном барабане, а в свободном от периферийных лопаток пространстве расположено распределительное устройство, представляющее набор вращающихся лопастных элементов.

Для сравнительной оценки эффективности распределительных устройств с различными подвижными лопастными элементами нами предложен коэффициент равномерности распределения  $K_p$  [1], позволяющий оценить соответствие распределения материала, полученного экспериментальным путем, принятому идеальному закону распределения в двухмерном пространстве. Он является совокупным параметром, характеризующим эффективность «разбрызгивания» частиц подвижными элементами одновременно в продольном и поперечном сечениях сушильного барабана.

С целью определения наиболее рациональной конструкции подвижных элементов, исследования проводились с группой лопастных элементов с прямыми лопатками, расположенными параллельно оси вращения элемента, элементов с прямыми лопатками, расположенными под углом к оси вращения элемента и элементов с дугообразными лопатками, расположенными под углом к оси вращения элемента. Результаты данных исследований представлены на рис. 1, кото-



**Рис. 1. Зависимость равномерности распределения материала группой лопастных элементов от количества лопаток у подвижного элемента:**  
 1 – с прямыми лопатками, расположенными параллельно оси вращения;  
 2 – с прямыми лопатками, расположенными под углом к оси вращения;  
 3 – с изогнутыми лопатками

рый демонстрирует явное преимущество элементов с дугообразными лопатками в плане равномерности распределения материала, поскольку, в данном случае значение коэффициента равномерности распределения материала  $K_p$  в 2,7 раза выше, чем у элементов с прямыми лопатками, расположенными под углом к оси вращения элемента, и практически в 10 раз, чем у элементов с прямыми лопатками, расположенными параллельно оси вращения элемента. Кроме того, в процессе экспериментальных исследований выявлено, что на величину коэффициента  $K_p$ , а следовательно, и на равномерность распределения материала группой подвижных элементов с дугообразными лопатками, оказывают влияние длина  $L$ , количество  $Z$  и угол поворота  $\alpha$  лопаток, а также радиус дуги  $R$ , расстояния  $L_1$  и  $L_2$  между элементами в горизонтальной и вертикальной плоскостях соответственно, скорость  $G$  ссыпания материала с лопаток вращающейся периферийной насадки (на рис. 1 соответствует  $L = 0,06$  м,  $G = 0,519$  кг/с,  $L_1 = 2,5L$ ,  $L_2 = 3,25L$ ).

В результате обработки данных экспериментальных исследований получено следующее эмпирическое уравнение для расчета  $K_p$ :

$$K_p = 1,69(-2 \cdot 10^{-3} - 7 \cdot 10^{-4}(\ln(L_1))^2 + 2 \cdot 10^{-3}L_1^{0,5})((-3,73 + 11,65)/L_2^{0,5}) \times \\ \times (9,74 + 1,43\ln(L) + 14/\ln(L))(0,93 - 5 \cdot 10^{-4}\alpha^2 + 0,14\alpha^{0,5})(5,25 + 0,45Z - \\ - 2,15Z/\ln(Z))(1,13 + 9,1R/\ln(R) - 1,5 \cdot 10^{-4}/R^2)(1,19 - 6,67G^2\ln(G) - 3,88G^3). \quad (1)$$

В результате решения данного уравнения при условии стремления  $K_p$  к максимуму определены оптимальные конструктивные параметры подвижных лопастных элементов, приведенные в табл. 1.

Анализ данных сравнительных исследований зависимости энергопотребления привода при различной плотности материала показал, что для вращения насадки в неподвижном барабане требуется меньшая мощность, чем для вращения сушильного барабана (рис. 2). На рис. 2 видно, что при плотности материала  $\rho = 560$  кг/м<sup>3</sup> потребление электроэнергии на привод насадки на 75 Вт ниже, чем на вращение барабана с неподвижной насадкой, а при  $\rho = 1200$  кг/м<sup>3</sup> – меньше на 161 Вт.

Таблица 1

## Оптимальные параметры распределительного устройства

$G$ , кг/с	$L_1$ , м	$L_2$ , м	$L$ , м	$\alpha$	$Z$ , шт.	$R$ , м
0,3	$2,5L$	$2,25L$	0,044	$17^\circ$	4	0,043
0,6	$2,5L$	$2,5L$	0,044	17	4	0,04

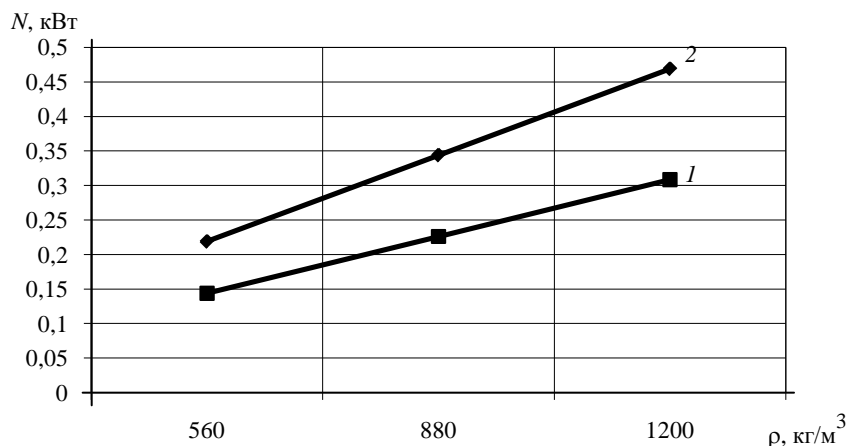


Рис. 2. Зависимость энергопотребления привода  $N$  от плотности  $\rho$  высушиваемого материала в аппарате: 1 – с вращающейся насадкой; 2 – с вращающимся барабаном

Таким образом, выявлено, что потребление энергии в неподвижном барабане с вращающейся насадкой ниже, чем при вращающемся барабане на 10...25 % в зависимости от скорости вращения и коэффициента заполнения барабана материалом. В то же время исследования показали, что использование предлагаемого аппарата целесообразно при коэффициенте заполнения барабана материалом до 18 %.

В результате обработки экспериментальных данных было получено расчетное уравнение необходимой мощности электродвигателя привода вращающейся насадки

$$N = 0,143 \cdot 10^4 D^3 \rho n L \psi^{0,62} Z^{0,153}, \quad (2)$$

где  $D$  – диаметр сушильного барабана, м;  $\rho$  – плотность высушиваемого материала, кг/м<sup>3</sup>;  $n$  – скорость вращения привода насадки, мин<sup>-1</sup>;  $L$  – длина лопаток, м;  $\psi$  – коэффициент заполнения материалом сушильного барабана, %;  $Z$  – количество лопаток периферийной подвижной насадки.

Кроме того, были проведены экспериментальные исследования по изучению процессов тепло- и массообмена в аппарате с вращающейся контактной зоной [2].

В целях разработки расчетного уравнения коэффициента теплообмена в барабанном аппарате с вращающейся контактной зоной были проведены исследования по определению зависимости температуры газа  $t_2$ , материала  $\theta_2$  и их влажности на выходе из сушилки от технологических и конструктивных параметров сушильного аппарата.

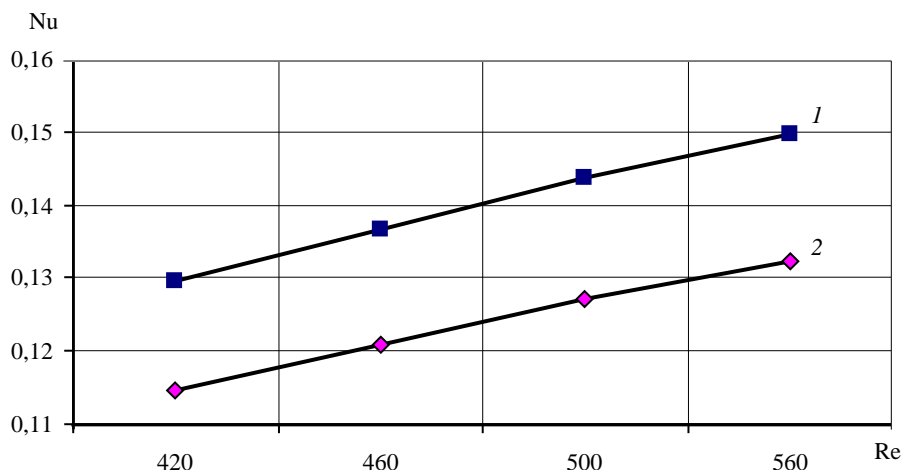
Сравнительная оценка значений теплового числа Нуссельта  $Nu$  в аппарате с вращающейся контактной зоной и в аппарате с вращающимся барабаном показывает [3], что в нашем случае  $Nu$  выше (рис. 3) на 11 % при значении числа Рейнольдса  $Re = 390$  и на 12,7 % – при  $Re = 990$ .

На рис. 4 представлены результаты исследований зависимости диффузионного числа Нуссельта от числа Рейнольдса. Здесь наблюдается аналогичная зависимость, а именно: при  $Re = 420$   $Nu$  больше на 10 %, а при  $Re = 990$  – на 13,8 %.

В результате аналитической обработки экспериментальных данных получены следующие уравнения для расчета теплового  $Nu$  и диффузионного  $Nu'$  чисел Нуссельта для барабанных сушилок с вращающейся контактной зоной:

$$Nu = 0,0021K\gamma Re^{0,78} Pr^{0,33} Gu^{0,2}; \quad (3)$$

$$Nu' = 0,351K\gamma Re^{0,57} Pr^{0,33}. \quad (4)$$

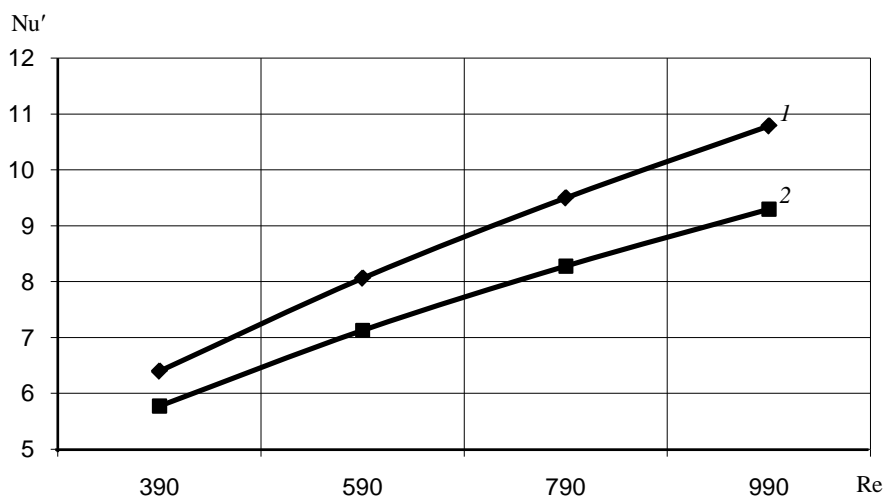


**Рис. 3. Зависимость  $Nu = f(Re)$ :**

1 – распределительная насадка с подвижными элементами, лопатки которых загнуты и наклонены под углом к оси их вращения;

2 – распределительная насадка с подвижными элементами, лопатки которых наклонены под углом к оси их вращения;

$$G = 0,082 \text{ кг/с}; \alpha_6 = 1^\circ; n = 13,3 \text{ мин}^{-1}$$



**Рис. 4. Зависимость  $Nu' = f(Re)$ :**

1 – распределительное устройство с подвижными элементами с изогнутыми лопатками;

2 – распределительная насадка с подвижными элементами, лопатки которых наклонены под углом к оси их вращения;  $w = 2,6 \text{ м/с}; \alpha_6 = 1^\circ; n = 13,3 \text{ мин}^{-1}$

Таблица 2

**Рациональные режимы процесса сушки**

$D_6, \text{ м}$	$t_1, \text{ }^\circ\text{C}$	$w, \text{ м/с}$	$\alpha_6$	$n, \text{ об/мин}$
0,5	80	2,5...3,5	0,5°	4,2...6,0
1,0	80	2,5...4,0	0,5	4,5...7,2
1,5	120	2,0...3,0	1,0	5,16...8,13
2,0	100	2,0...3,0	1,5	4,96...8,13

В уравнениях (3) и (4)  $K_V$  – коэффициент использования объема барабана, позволяющий оценить эффективность сушильного барабана с точки зрения равномерности распределения материала в его объеме.

$$K_V = K_p \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}, \quad (5)$$

где  $K_p$  – коэффициент равномерности распределения материала;  $\varepsilon_1$  – идеальная порозность материала в барабане;  $\varepsilon_2$  – действительная порозность материала в барабане.

На основе анализа экспериментальных данных и оптимизационных расчетов, при условии минимальных энергетических затрат на удаление 1 кг влаги, определены рациональные параметры проведения процесса сушки в промышленных аппаратах (табл. 2).

Таким образом, подводя итог нашим исследованиям, можно сделать вывод, что предлагаемый сушильный аппарат обладает высокой эффективностью и небольшими затратами энергии.

*Список литературы*

1. Моделирование процесса заполнения сушильного барабана с подвижным распределительным устройством / А.В. Алтухов [и др.] // Труды международной научно-практической конференции «Проблемы естественно-технических наук на современном этапе». – Бишкек, 2002. – С. 56–60.

2. Алтухов, А.В. Тепло- и массообмен в сушильных барабанных аппаратах, содержащих распределительные элементы с закругленными лопастями / А.В. Алтухов, О.С. Балабеков, Т.А. Жукова // Труды международной научно-практической конференции «Проблемы химической технологии неорганических, органических, силикатных и строительных материалов и подготовки инженерных кадров». – Шымкент, 2002. – Т. 1. – С. 9–14.

3. Алтухов, А.В. К расчету процесса теплообмена в сушильном барабане с вращающимися элементами / А.В. Алтухов, О.С. Балабеков, Т.А. Жукова // Поиск. – Алматы. – 2004. – № 1. – С. 258–261.

**Ways of Intensification of Drum-Type Driers**

**T.A. Zhukova, A.V. Altukhov**

*South Kazakhstan Humanitarian named after M. Saparbaev, Almaty, Kazakhstan*

**Wege der Intensivierung der Trommeltrockenapparate****Voies de l'intensification des appareils de séchage à tambours**