

УДК 629.33

ББК 39.3

М-52

Меретуков Заур Айдамирович, кандидат технических наук, докторант кафедры технологии, машин и оборудования пищевых производств Майкопского государственного технологического университета, e-mail: zamer@radnet.ru;

Косевой Евгений Пантелеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой машины и аппараты пищевых производств Кубанского государственного технологического университета, e-mail: Koshevoi@kubstu.ru;

Косачев Вячеслав Степанович, доктор технических наук, профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств факультета машиностроения и автосервиса Кубанского государственного технологического университета;

Верещагин Александр Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры машин и аппаратов пищевых производств факультета машиностроения и автосервиса Кубанского государственного технологического университета;

Следь Николай Иванович, соискатель кафедры машин и аппаратов пищевых производств факультета машиностроения и автосервиса Кубанского государственного технологического университета.

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ТРАНСПОРТЕРА СО СПИРАЛЬНЫМ ШНЕКОМ

(рецензирована)

Статья посвящена изучению совмещенного с перемешиванием транспортирования материала в транспортере со спиральным шнеком.

В качестве основных параметров определяемых в экспериментах на лабораторной установке выбраны коэффициент трения о спираль шнека и коэффициент заполнения. В работе представлены результаты экспериментальных исследований транспортирования сыпучего материала спиральным шнеком.

Ключевые слова: транспортирование, спиральный шнек, производительность.

Meretukov Zaur Aydamirovich, Candidate of Technical Sciences, assistant professor of Technology, Machines and Food Industry Equipment Department, Maikop State Technological University, e-mail: zamer@radnet.ru;

Koshevoi Eugene Panteleevich, Doctor of Technical Sciences, professor, Honoured Scientist of the Russian Federation, head of the Department of Machines and Equipment for Food Industry, Kuban State Technological University, e-mail: Koshevoi@kubstu.ru;

Kosachev Vyacheslav Stepanovich, Doctor of Technical Sciences, professor of the Department of Machines and Equipment for Food Industry of the Faculty of Machine Building and Service, Kuban State Technological University;

Vereshchagin Alexander Gennadjevich, Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Department of Machines and Equipment for Food Industry of the Faculty of Machine Building and Service, Kuban State Technological University;

Sled' Nicholai Ivanovich, seeker of the Department of Machines and Equipment for Food Industry of the Faculty of Machine Building and Service, Kuban State Technological University.

PRODUCTIVITY OF A CONVEYER WITH A SPIRAL AUGER

The paper studies transportation combined with the mixing of the material in the conveyor with a spiral auger. Coefficient of friction of the spiral auger and coefficient of filling have been chosen as the main parameters determined in experiments on laboratory setting. The results of experimental studies of transportation of bulk material by spiral auger have been presented.

Keywords: transportation, helical screw, performance.

Транспортирование сыпучего материала в транспортере со спиральным шнеком [1, 2] представляет практический интерес для реализации процессов, в которых транспортирование совмещается с перемешиванием, в частности для криогенной обработки перед измельчением пряностей.

Конструкция транспортера со спиральным шнеком, которая представлена на рисунке 1, и как видно, похожа на винтовой конвейер [1, 2]. Конструктивной особенностью данного транспортера является наличие рабочего органа – шнека выполненного в виде спирали, не имеющей осевого вала. Конструкция установки обеспечивает транспортирование материала внутри корпуса транспортера по направлению вдоль от бункера-накопителя до выгрузочного патрубка.

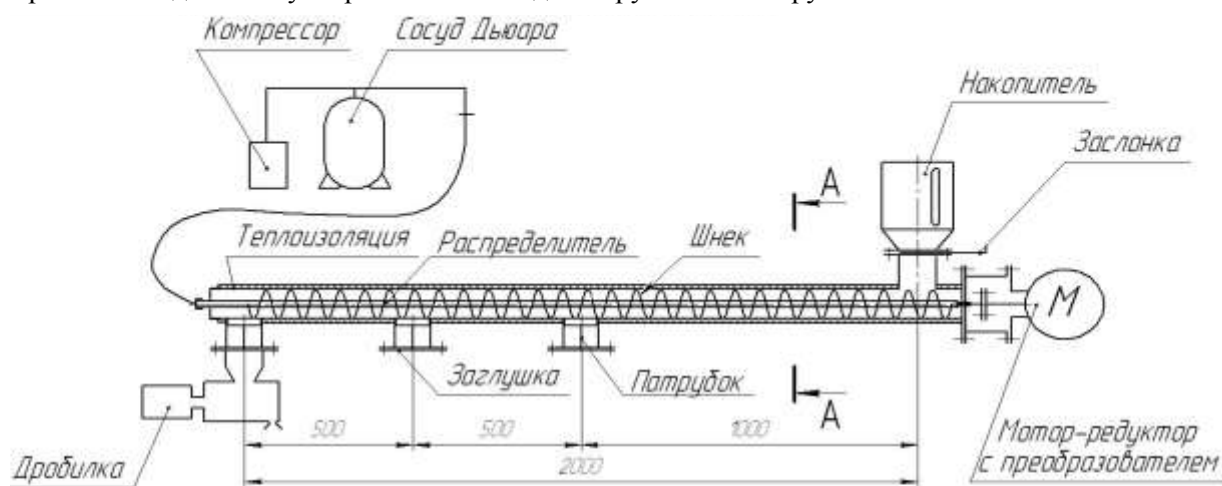


Рис. 1. Схема лабораторной установки для исследования процесса транспортирования и измельчения пряноароматического сырья

Транспортер со спиральным шнеком состоит из привода транспортера в виде мотор-редуктора с преобразователем частоты на электродвигателе, корпуса транспортирования, шнека-спирали, загрузочного бункера-накопителя с регулирующей заслонкой, выгрузочного патрубка.

Работа транспортной установки осуществляется следующим образом.

Привод шнека-спирали транспортера осуществляется через муфту от электродвигателя, совмещенного с редуктором. Шнек-спираль по всей длине находится внутри корпуса транспортера и со стороны привода опирается на подшипник, а со стороны выгрузки имеет опору на внутреннюю поверхность камеры. Загрузка обрабатываемого продукта в транспортер осуществляется через загрузочный бункер-накопитель.

Подачу продукта в камеру транспортера регулируют с помощью заслонки, находящейся в нижней части загрузочного бункера-накопителя.

Выгрузка материала осуществляется через выгрузочный патрубок, имеющий на конце фланцевое соединение для возможности совмещения его с различным оборудованием, в зависимости от проводимого эксперимента.

Привод транспортера снабжен частотным регулятором для изменения скорости вращения спирального шнека. Соотношение числа оборотов шнека-спирали n и частоты тока ν с учетом передаточного механизма транспортера представлено регрессионным уравнением:

$$n = 0.238 \cdot \nu \quad (1)$$

Для созданного транспортера (рис. 1) со спиральным шнеком значение коэффициента геометрии рабочего органа $\gamma = 0.532$, представляющего долю рабочей площади витка спирали F_{δ} к площади витка без учета осевого отверстия F_i .

Производительность транспортера, учитывая конструктивные особенности рабочего органа с помощью коэффициента геометрии рабочего органа γ и коэффициент заполнения ψ , может быть выражена через теоретическую производительность:

$$Q(n) = Q_{\delta}(n) \cdot \gamma \cdot \psi, \quad (2)$$

Теоретически производительность Q_{δ} определяется из уравнения:

$$Q_{\delta} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot S \cdot \frac{n}{60} \cdot \rho_i \cdot \hat{\varepsilon} \tilde{a} / \tilde{n} \quad (3)$$

Соответственно при экспериментальном определении реальной производительности $Q(n)$ из уравнения (2) значение коэффициента заполнения может иметь вид:

$$\psi(n) = \frac{Q(n)}{Q_{\delta}(n) \cdot \gamma} \quad (4)$$

Фактическая производительность может быть определена отношением:

$$Q = \frac{m}{\tau} \quad (5)$$

где m – масса продукта, выгруженная за промежуток времени τ .

Условия транспортирования материала в транспортере со спиральным шнеком обусловлены влиянием коэффициентов трения материала о камеру и о спираль шнека.

Коэффициент трения материала о камеру f_1 воздействует на внешний слой материала находящийся в контакте с внутренней поверхностью камеры транспортера. Примем данный коэффициент равным $f_1 = 0.5$, что соответствует трению сыпучего материала по стали.

Коэффициент трения материала о спираль шнека f_2 действует на внутренний слой материала и в большей степени влияет на его перемещение.

Практический интерес представляет определение данного коэффициента.

Коэффициент трения материала о спираль шнека f_2 обусловлен углом трения материала о спираль шнека ϕ_2 :

$$f_2 = \tan(\phi_2) \quad (6)$$

Для определения угла трения материала о спираль шнека ϕ_2 воспользуемся соотношением [1]:

$$v_0 = v_{\tilde{n}} \cdot \sin(\theta_{\tilde{n}\delta}) \cdot \frac{\cos(\varepsilon) \sin}{\sin(\theta_{\tilde{n}\delta} + \varepsilon)} \quad (7)$$

где V_0 – осевая скорость материала прижатого к спирали при коэффициенте заполнения $\psi = 1$; $V_{\tilde{n}}$ – осевая скорость спирали – скорость перемещения витков спирали

$$v_{\tilde{n}}(n) = S \cdot n \quad (8)$$

$\theta_{\tilde{n}\delta}$ – средний угол подъема сыпучего материала, может быть определен из соотношения:

$$\theta_{\tilde{n}\delta} = \frac{\pi}{2} - (\varepsilon + \phi_2) \quad (9)$$

ε – угол подъема витка спирали:

$$\varepsilon = \arctan\left(\frac{S}{\pi \cdot D}\right) \quad (10)$$

Значение V_0 – осевой скорости материала прижатого к спирали можно рассчитать, зная экспериментальное время транспортирования материала в зависимости от частоты вращения спирали $\tau_{\text{exp}}(n)$ – определенное из эксперимента.

$$v_0(n) = \frac{L_{\delta\delta}}{\tau_{\delta\delta}(n)} \quad (11)$$

Выразим из уравнения (7) средний угол подъема сыпучего материала $\theta_{\tilde{n}\delta}$:

$$\theta_{\bar{n}\delta}(n) = \arctan \left(\frac{\tan(\varepsilon)}{\frac{1}{\frac{v_0(n)}{v_{\bar{n}}(n)} - 1}} \right) \quad (12)$$

Заменяем в уравнении (12) $\theta_{\bar{n}\delta}$ уравнением (9) и выразим угол трения материала о спираль шнека при коэффициенте заполнения равном $\psi = 1$ ϕ_2^I :

$$\phi_2^I(n) = \frac{\pi}{2} - \arctan \left(\frac{\tan(\varepsilon)}{\frac{1}{\frac{v_0(n)}{v_{\bar{n}}(n)} - 1}} \right) - \varepsilon \quad (13)$$

Реальный угол трения будет определяться при коэффициенте заполнения ψ из уравнения (4) и будет иметь вид:

$$\phi_2(n) = \psi(n) \cdot \phi_2^I, \quad (14)$$

Эксперименты по исследованию процесса транспортирования пряноароматического сырья проводились на лабораторной установке (рисунок 1). В качестве пряноароматического сырья был выбран перец черный горошек со средним размером частиц (эквивалентным диаметром частицы) $d_y = 4.3 \hat{i} \hat{i}$ и насыпной плотностью $\rho_i = 250 \hat{e} \hat{a} / \hat{i}^3$

Отбор выгружаемого сырья через определенные промежутки времени в соответствии с планом эксперимента осуществлялся в пластиковые контейнеры.

Экспериментальное исследование процесса транспортирования пряноароматического сырья в транспортере со спиральным шнеком состояло из двух этапов с соответствующими определяемыми параметрами:

- время транспортирования – $\tau_{\delta\delta}$;

- масса пробы сырья – m_i .

Для каждого этапа были разработаны планы однофакторного трехуровневого эксперимента.

В ходе эксперимента транспортировали сыпучий материал (перец черный горошек) по длине участка камеры транспортирования $L_{\delta\delta}$.

Фактором эксперимента на двух этапах была выбрана частота вращения шнека спирали $n, \hat{i} \hat{a} / \hat{i} \hat{e} \hat{i}$ на трех уровнях:

$$n_{\min} = 4 \hat{i} \hat{a} / \hat{i} \hat{e} \hat{i}; n_0 = 7 \hat{i} \hat{a} / \hat{i} \hat{e} \hat{i}; n_{\max} = 12 \hat{i} \hat{a} / \hat{i} \hat{e} \hat{i}$$

Время замеряемого интервала выгрузки τ_g материала определялось из условия равномерности распределения транспортируемого потока находящегося между витками спирали:

$$\tau_{\dot{\epsilon}} \geq \frac{\tau_{\dot{\delta}}}{\frac{L_{\dot{\delta}}}{S}}, \quad (15)$$

Полученная масса проб сырья m_i явилась определяемым параметром необходимым для определения производительности Q .

Результаты первого этапа эксперимента – определение времени транспортирования представлены зависимостью:

$$\tau_{mp}(n) = 4,0833 \cdot n^2 - 91,583 \cdot n + 631 \quad (16)$$

На основании полученных экспериментальных данных по уравнениям (6) – (14) определили:

- осевую скорость материала прижатого к спирали, представив ее в виде функциональной зависимости, $v_0(n)$:

$$v_0(n) = 1.0328 \cdot n + 0,7832 \quad (17)$$

- средний угол подъема сыпучего материала $\theta_{\bar{n}\delta}(n)$:

$$\theta_{cp}(n) = -0,0045 \cdot n^2 + 0,0395 \cdot n + 2,524 \quad (18)$$

- угол трения материала о спираль шнека ϕ_2^I при коэффициенте заполнения равном $\psi = 1$:

$$\phi_2^I(n) = 0,0088 \cdot n^2 - 0,1738 \cdot n + 75,004 \quad (19)$$

Результаты обработки экспериментальных данных по транспортированию спиральным шнеком приведены в таблице 1.

Зависимость производительности $Q(n)$ от частоты вращения шнека-спирали n , об/мин представлена зависимостью:

$$Q(n) = 3,1036 \cdot n \quad (20)$$

Среднее значение коэффициента заполнения $\Psi = 0,432$, а коэффициента трения о спираль шнека $f_2 = 0,628$.

Таблица 1 - Сводная таблица параметров транспортирования рассчитанных по результатам эксперимента

№	Частота вращения шнека-спирали, об/мин.	Производительность Q , г/с	Коэффициент заполнения ψ	Коэффициент трения о спираль шнека f_2
1	4	12,2	0,409	0,585
2	7	22,4	0,467	0,692
3	12	36,9	0,421	0,609

Литература:

- Герман Х. Шнековые машины в технологии: пер. с нем. / под ред. Л.М. Фридмана. Л.: Химия, 1975. 230 с.
- Кошевой Е.П., Меретуков З.А., Меретуков М.А. Экструдеры (теория, конструирование и расчет) / Майкоп. гос. технол. ин-т. Майкоп, 2003. 95с.: ил. Деп. В ВИНТИ 30.10.03, №1893-В2003.