

Научная статья

05.18.01 – Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства (технические науки)

УДК 621.867:664

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.006

## СИЛОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ФАЗ ДВУХКОМПОНЕНТНОГО ПОТОКА СО СТЕНКАМИ КАНАЛА

Владимир Петрович Тарасов <sup>1</sup>, Андрей Владимирович Тарасов <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

<sup>1</sup> mapp.tar@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4673-5646>

<sup>2</sup> ptu110@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6371-9990>

**Аннотация.** Пневматический транспорт широко используется в самых различных отраслях человеческой деятельности. Благодаря целому ряду достоинств он с успехом применяется для перемещения сыпучих материалов пищевой промышленности. В основу проектирования различных систем пневматического транспорта положен гидравлический расчет, основной целью которого является выявление сил сопротивления движущемуся двухкомпонентному потоку. Одной из наиболее значащих сил, определение которой вызывает значительные трудности, является сила взаимодействия компонентов потока со стенками канала – материалопровода. Обоснована необходимость рассчитывать объемную силу взаимодействия транспортируемого материала со стенкой канала в зависимости от скорости материала. Предложены расчетные зависимости для сил взаимодействия материала и воздуха со стенками канала. Определены численные значения коэффициентов при транспортировании некоторых пищевых продуктов (муки, отрубей, комбикормов). Приводятся диаграммы изменения взаимодействия компонентов аэросмеси в зависимости от скорости их движения. Выдвигаются и анализируются причины влияния скорости на характер и величину сил взаимодействия компонентов аэросмеси со стенкой канала. Предлагаются наиболее рациональные режимы движения аэросмеси.

**Ключевые слова:** пищевая промышленность, пневматический транспорт, аэросмесь, силы взаимодействия компонентов со стенкой канала; скорость воздуха, материала, продукты переработки зерна.

---

**Для цитирования:** Тарасов В.П., Тарасов А.В. Силковое взаимодействие фаз двухкомпонентного потока со стенками канала // Ползуновский вестник. 2021. № 1. С. 44-50. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.006.

---

Original article

## FORCE INTERACTION BETWEEN THE PHASES OF TWO-COMPONENT FLOW AND THE TUBE WALLS

Vladimir P. Tarasov <sup>1</sup>, Andrey V. Tarasov <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

<sup>1</sup> mapp.tar@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4673-5646>

<sup>2</sup> ptu110@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6371-9990>

**Abstract.** Pneumatic transport has wide application in various kinds of human activity. It is successfully used in food industry for transporting bulk materials, because of a number of its advantages.

---

©Тарасов В.П., Тарасов А.В., 2021

## СИЛОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ФАЗ ДВУХКОМПОНЕНТНОГО ПОТОКА СО СТЕНКАМИ КАНАЛА

*The design of various pneumatic transport systems is based on hydraulic calculation. Its main purpose is to identify the forces of resistance to moving two-component flow. One of the most significant forces, which is quite difficult to be defined, is the force of the flow components interaction with the channel walls – the material line. The necessity to calculate the volumetric force of transported material interaction with the channel wall depending on the material speed has been substantiated. Calculated dependencies for the forces of material and air interaction with the tube walls are proposed. The numerical values of the coefficients when transporting some food products (flour, bran, mixed fodders) have been determined. The diagrams of changes in interaction of air mixture components depending on their speed are given. The reasons for the velocity influence on the nature and magnitude of interaction forces between the air mixture components and the tube wall are proposed and analyzed. The most rational modes of air mixture movement are offered.*

**Keywords:** food industry, pneumatic transport, air mixture, forces of components interaction with the tube wall; air velocity, material speed, grain products.

**For citation:** Tarasov, V.P., & Tarasov, A.V. (2021). Force interaction between the phases of two-component flow and the tube walls. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 44-50. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.006

Аэродисперсные двухкомпонентные потоки распространены в природе и широко используются в различных отраслях человеческой деятельности. Одной из наиболее известных сфер применения таких потоков на практике является пневматический транспорт – перемещение сыпучих материалов воздухом по каналам (трубопроводам). Разработаны и применяются самые различные системы пневматического транспорта. Вследствие изолированности транспортируемого материала от окружающей среды возможности прохождения трассы в самых стесненных условиях современного производства и других достоинств, пневматический транспорт с успехом используется во многих отраслях пищевой промышленности. Пневматическим способом перемещают зерно, муку, сахар, крахмал, комбикорма и другие пищевые сыпучие материалы.

Выбор оборудования пневмотранспортных установок осуществляется на основе гидравлического расчета, основной целью которого является определение действующих сил. При этом силы, имеющие место при движении двухкомпонентного потока, чаще всего, определяют на основе принципа суперпозиции. Для большинства систем и режимов пневмотранспортирования с энергетической точки зрения наиболее значимой является сила взаимодействия аэросмеси со стенкой канала  $F_{тр}$ . Ее доля в общей сумме действующих сил может превышать 90%. В свою очередь, эту силу считают результирующей двух составляющих – силы взаимодействия со стенкой канала воздуха  $F_{тр.в}$  и транспортируемого материала  $F_{тр.м}$

$$F_{тр.} = F_{тр.в} + F_{тр.м}. \quad (1)$$

Здесь и далее поток считается одномерным, а все силы приведены к единице объема аэросмеси.

Изучению проблемы силового взаимодействия транспортируемого материала со стенками каналов при движении по ним двухкомпонентных потоков посвящены тысячи работ. Особенно сложной и трудно разрешимой задачей является определение силы взаимодействия, транспортируемого материала со стенкой канала. Для определения этой составляющей силового взаимодействия предложено большое количество зависимостей, полученных, как правило, на основании экспериментальных исследований. Поскольку проведение экспериментальных исследований систем пневмотранспорта связано со значительной трудоемкостью, повторить условия опыта не всегда удается, а диапазон физико-механических свойств транспортируемых материалов достаточно широкий, и их перечень все время пополняется, то полученные по результатам опытов расчетные зависимости можно использовать в узком диапазоне режимов движения аэросмеси и параметров процесса. При этом погрешность результатов расчета достаточно велика (может достигать более 50%). Кроме того, ограниченная область применения расчетных зависимостей не позволяет использовать их для анализа переходных и неустановившихся режимов транспортирования, когда параметры процесса могут изменяться в широких пределах.

Еще в середине прошлого столетия американские ученые А. Zenz и G. F. Otmer в [1] предложили фазовую или, так называемую Р-и диаграмму, позволяющую отслеживать изменение параметров процесса в ши-

роком диапазоне. Однако по предлагаемой диаграмме можно анализировать лишь качественную сторону процесса. Его количественные характеристики, которые необходимы для разработки конкретных систем, определить затруднительно. Кроме того, в разработанной диаграмме имеется разрыв, где считается невозможным осуществление процесса. Вследствие всего этого проектировщики вынуждены в ущерб высоким энергозатратам использовать дополнительные меры, исключая нарушение устойчивости работы систем. Оценивать величину взаимодействия материала со стенками канала в большинстве имеющихся зависимостей (в том числе и в [1]) предлагается по скорости непрерывной среды (воздуха), а не по скорости дискретной фазы – транспортируемого материала. Это не соответствует физической сущности происходящих явлений и может привести к существенным отклонениям от действительности, особенно при описании переходных и неустановившихся процессов. В тоже время результаты исследований, проведенных в последнее время, свидетельствуют об исключительной важности учета переходных и неустановившихся режимов, их влиянии на энергетические показатели системы и устойчивость работы пневмотранспортных установок. В конечном итоге все это приводит к тому, что разработанные системы пневматического транспорта по своим энергетическим показателям существенно уступают механическим устройствам.

Теоретические и экспериментальные исследования [2–6], выполненные в Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова на протяжении продолжительного периода времени, позволили установить, что для оценки устойчивости процесса движения двухкомпонентного потока его нельзя считать стационарным. Переходные и неустановившиеся периоды работы пневмотранспортных установок имеют ключевое значение в вопросе обеспечения устойчивости работы таких систем. Установлено, что движение двухкомпонентного потока при определенных характеристиках оборудования может реализовываться без его нарушения в широком диапазоне изменения параметров (без разрыва в P-u диаграмме). По результатам выполненных в [5] исследований установлена двойственная природа силы взаимодействия материала со стенками канала (при небольших скоростях воздуха сила взаимодействия материала со стенкой канала с ростом скорости уменьшается, а при высоких – увеличивается). В [5] предложена, а затем в

[7] уточнена зависимость для определения потерь давления, связанных с внешним силовым взаимодействием. Однако ее дальнейшее практическое применение выявило два недостатка: 1) определять потери давления можно лишь для вертикальных и горизонтальных каналов, тогда как на практике широко применяются и наклонные каналы; 2) из-за несовершенства предложенной зависимости расчет переходных режимов при транспортировании ряда материалов некоторых систем пневмотранспорта (при небольших скоростях материала) выполнить не удавалось.

Для устранения выше названных недостатков, на основании результатов ранее выполненных экспериментальных исследований, промышленных испытаний внедренных систем пневматического транспорта предлагается уточненная зависимость для расчета удельной силы взаимодействия транспортируемого материала со стенками канала

$$F_{TP.M} = \frac{G_m}{S} \left( \frac{a_1 \cos \alpha + a_2}{c + v_m} + b v_m^d \right) \quad , \quad (2)$$

где  $G_m$  – массовый расход материала (производительность установки), кг/с;  $S$  – площадь поперечного сечения канала (материалопровода),  $m^2$ ;  $v_m$  – скорость движения материала, м/с;  $a_1, a_2, b, c, d$  – коэффициенты.

Многочисленные литературные источники свидетельствуют, что величина коэффициентов  $a_1, a_2, b, c, d$  будет зависеть прежде всего от материала трубопровода, шероховатости его стенок и физико-механических свойств транспортируемого материала, а также пространственного положения материалопровода. Обработка экспериментальных данных по пневмотранспортированию продуктов переработки зерна и комбикормов в широком диапазоне изменения скоростей (от 1 до 20 м/с) в стальном материалопроводе позволила получить их численные значения. С удовлетворительной для расчета пневмотранспортных установок погрешностью (не более 20%) найдены значения входящих в зависимость (2) коэффициентов:  $a_1 = 10$ ;  $a_2 = 3$ ;  $b = 0,1$ ;  $c = d = 1$ . При этом влияния пространственного положения материалопровода на значения коэффициентов не установлено. Это подтверждается и другими исследованиями, в частности [8]. Однако распространять это утверждение на пневмотранспортирование других материалов было бы преждевременным, поскольку в опытах были использованы материалы с близкими физико-механическими свойствами.

## СИЛОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ФАЗ ДВУХКОМПОНЕНТНОГО ПОТОКА СО СТЕНКАМИ КАНАЛА

Следует также заметить, что в практических расчетах определить силу по выражению (2) можно только совместно решая систему алгебраических и дифференциальных уравнений, полученных в [2, 6].

Несмотря на то, что относительная доля сил, вызванная взаимодействием транспортирующей среды – воздуха со стенкой канала во многих случаях небольшая, для некоторых систем пневматического транспорта она является значимой. Особенно существенным может оказаться ее влияние при оценке устойчивости переходных режимов работы (например, пуска системы). В этот период работы потери давления, связанные с взаимодействием воздуха со стенками канала, могут составлять значительную долю в общей сумме потерь давления. Кроме того, эта составляющая потерь давления, как следует из проведенных исследований [9, 10], оказывает стабилизирующее влияние на устойчивость работы системы, и не учитывать ее нельзя. Наиболее известной и широко используемой на практике для определения силы и связанных с ней потерь давления на взаимодействие транспортирующей среды со стенками канала является выражение:

$$F_{тр.в} = \lambda \rho_v v_v^2 / 2D, \quad (3)$$

где  $v_v$  – скорость воздуха, м/с;  $\lambda$  – коэффициент аэродинамического сопротивления;  $D$  – диаметр материалопровода, м;  $\rho_v$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

За скорость воздуха следует принимать ее фактическую величину, найденную с учетом стеснения транспортируемым материалом и его плотности. Поскольку в материалопроводе воздух движется по поровым каналам, а величина коэффициента  $\lambda$  зависит от размера канала, то при расчете следует учитывать концентрацию материала в трубопроводе. Для его определения в [11] предлагается использовать выражение

$$d_k = \frac{(1 - \sigma) \cdot D \cdot d_э}{\frac{3}{2} \sigma \cdot D + d_э}, \quad (4)$$

где  $D$  – диаметр материалопровода, м;  $d_э$  – эквивалентный диаметр частиц транспортируемого материала, м;  $\sigma$  – объемная концентрация материала в аэросмеси.

Коэффициент аэродинамического сопротивления находится по одной из известных зависимостей, например, как предлагается в [12]

$$\lambda = \frac{1}{(1,75 + 2 \cdot \lg \frac{d_k}{2 \cdot \delta})^2}, \quad (5)$$

где  $\delta$  – шероховатость внутренней поверхности стенки материалопровода, м;  $d_k$  – диаметр канала, м.

Можно также предполагать, что при нестационарных режимах работы системы величины коэффициентов в выражениях (2) и (3) могут отличаться от аналогичных значений в установившихся режимах работы. Однако известные трудности их экспериментального определения с учетом нестационарности движения пока не позволили установить это влияние. В тоже время убедительных сведений о влиянии нестационарности на величину аналогичных коэффициентов авторы не имеют. Общепринято их величины считать такими же, как и в установившихся периоды работы.

Графическая интерпретация выражений (1), (2) и (3) применительно к пневмотранспортной установке муки Новоалтайского хлебокомбината производительностью 0,83 кг/с и длиной материалопровода 145 м приведена на рисунке 1. При этом, поскольку силы и другие параметры процесса изменяются по длине трассы, результаты приведены для участка материалопровода, расположенного в середине трассы. Скорость материала рассчитывалась исходя из того, что при установившемся режиме она отличается от скорости воздуха на величину скорости витания  $v_{вит}$  ( $v_m \approx v_v - v_{вит}$ ). Полученные результаты свидетельствуют: 1) о качественном соответствии зависимостей (2, 3) с [1]; 2) наиболее рациональными режимами, при которых объёмная сила взаимодействия компонентов смеси со стенкой канала находится в области минимальных значений, являются скорости материала от 5 до 10 м/с (скорости воздуха от 6 до 11 м/с). Именно в этом же диапазоне для муки в [8, 12] рекомендуется при проектировании принимать значение скорости воздуха. Поскольку энергозатраты пропорциональны не только силе, но и расходу воздуха, с энергетической точки зрения рационально принимать меньшие значения скорости. Однако при этом не следует забывать о сохранении устойчивости процесса, которая с уменьшением скорости снижается; 3) увеличение сил взаимодействия материала со стенкой с уменьшением скорости материала при небольших скоростях воздуха можно объяснить образованием неподвижного (или для вертикальных и наклонных материалопроводов даже движущегося в обратном

направлении) пристенного слоя, механизм образования которого подробнее проанализирован в [13]. Это (образование неподвижного или движущегося в обратном направлении пристенного слоя), в свою очередь, приводит: а) к изменению (увеличению) шероховатости поверхности относительного движения; взаимодействие транспортируемого материала происходит уже не со стенкой канала, а с его неподвижным или движущимся в обратном направлении слоем; б) к уменьшению площади поперечного сечения двухком-

понентного потока, вследствие чего сопротивление движению материала увеличивается; 4) увеличение общей силы взаимодействия компонентов потока со стенкой с ростом скорости в области высоких скоростей происходит как за счет составляющей силы взаимодействия материала (в [14] это доказано экспериментально), а также – за счет составляющей силы взаимодействия воздуха со стенкой, что хорошо известно из специальной литературы.

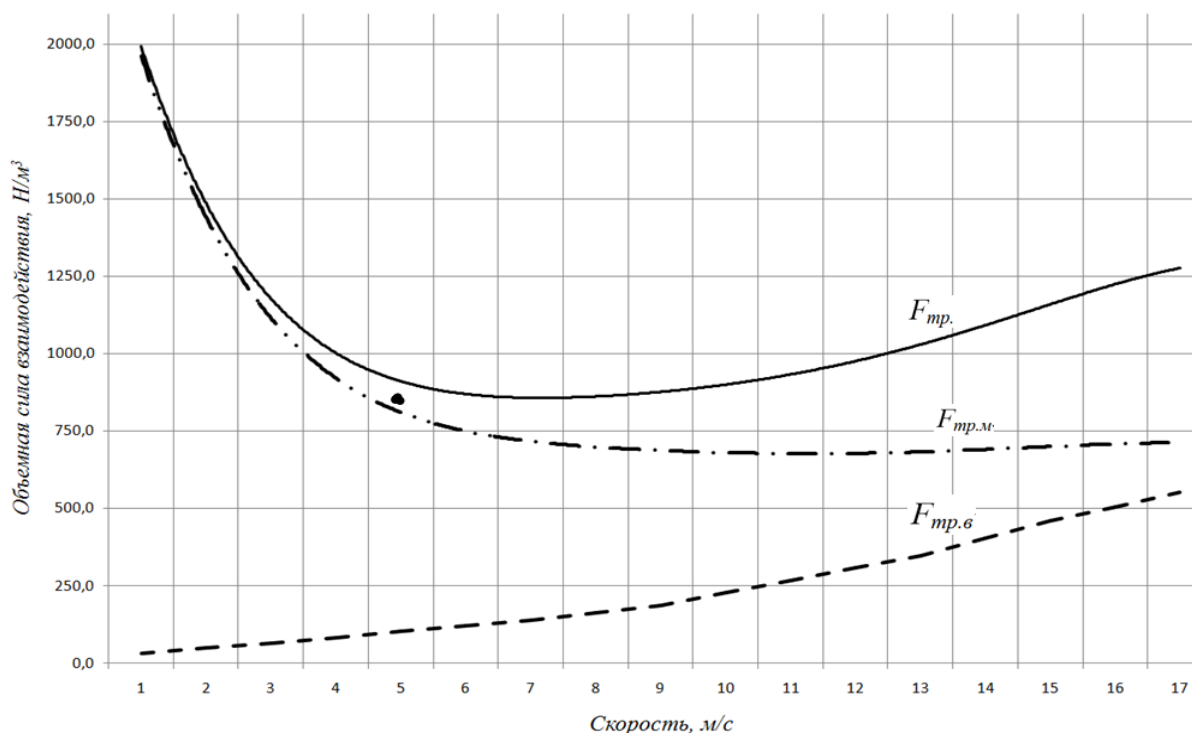


Рисунок 1 – Изменение объемной силы взаимодействия аэросмеси и ее составляющих со стенками материалопровода в зависимости от скорости, \* – результат промышленного испытания пневмотранспортной установки Новоалтайского хлебокомбината

Figure 1 – Change in the volumetric force of interaction of the air mixture and its components with the walls of the material pipeline, depending on the speed, \* – the result of industrial testing of the pneumatic transport unit of the Novoaltaisk bakery

Расчетные зависимости (1–5) апробированы в НПО «Алтайзернопроект» при проектировании систем пневматического транспорта для зерноперерабатывающих предприятий и показали приемлемые отклонения результатов расчета от фактических (полученных при испытаниях) значений параметров пневмотранспортирования.

Предлагаемые в результате проведенных исследований аналитические зависимости для оценки силового взаимодействия компонентов двухфазного потока в большей степени отражают физическую сущность про-

исходящих явлений. С их помощью возможно в более широком диапазоне отслеживать изменения параметров пневмотранспортирования, определять действующие силы, выбирать рациональные режимы работы пневмотранспортных установок, оценивать устойчивость систем пневмотранспорта.

Результаты выполненного сравнения свидетельствует об удовлетворительном для таких технических систем отклонении и позволяет рекомендовать выражения (2, 3) для практического использования при проектиро-

## СИЛОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ФАЗ ДВУХКОМПОНЕНТНОГО ПОТОКА СО СТЕНКАМИ КАНАЛА

вании пневмотранспортных установок продуктов переработки зерна.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zenz F.A., Othmer D.F. Fluidization and fluid-particle systems. – New York: Reinhold, 1960. – 513 p.
2. Тарасов В.П. Элементы теории работы однотрубной пневмотранспортной установки // Известия ВУЗов. Пищевая технология. – 2005. – № 5/6. – С. 81–85.
3. Зуев Ф.Г., Коцюба В.П., Тарасов В.П. Совершенствование процесса нагнетающих пневмотранспортных установок // Труды национальной научно-технической конференции «Интенсификация подъемно-транспортных и строительных процессов». – Казанлык, Болгария. – 1988. – С. 12.
4. Разработка пневмотранспортной установки муки потоком высокой концентрации производительностью 10 т/час : отчет о НИР / исполн. : Коцюба В.П., Тарасов В.П. – Барнаул, 1990. – 43 с. – № ГР 01860098832.
5. Тарасов В.П. Совершенствование работы нагнетающих пневмотранспортных установок : дис. ... канд. техн. наук. – М., 1986. – 24 с.
6. Tarasov V.P., Mukhopad K.A. A Theory on Operation of a Single-Tube Pneumatic Conveyer // Teoreticheskie Osnovy Khmicheskoi Tekhnologii. – 2019. – Vol. 53. – № 3. – P. 349–360.
7. Ярославцев Д.Е., Тарасов В.П. Потери давления в материалопроводе при пневмотранспортировании муки // Горизонты образования : научно-образовательный журнал АлтГТУ. – Барнаул. – 2007. – Вып. 9. – URL: <http://edu.secna.ru/media/f/pp2.pdf> (дата обращения: 20.11.2020).
8. Малис А.Я., Касторных М.Г. Пневматический транспорт для сыпучих материалов. – М. : Агропромиздат, 1985. – 344 с.
9. Глебов А.А., Тарасов В.П. Влияние степени задраселированности пневмотранспортной установки на устойчивость процесса пневмотранспортирования // Научно-техническое творчество студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава АлтГТУ, Ч. 2. – Барнаул. – 1996. – С. 203.
10. Тарасов В.П. Устойчивость работы систем пневматического транспорта // Проблемы стабилизации и развития сельскохозяйственного производства Сибири, Казахстана и Монголии в XXI веке. – Новосибирск, 1999. – С. 109–110.
11. Тарасов В.П., Курилов А.Н. Об определении размера канала (эквивалентного диаметра) в двухфазных системах // Современные проблемы техники и технологии пищевых производств: материалы международной научно-практической конференции. – Барнаул. – 2016. – С. 148.
12. Володин Н.П., Касторных М.Г., Кривошеин А.И. Справочник по аспирационным и пневмотранспортным установкам. – М. : Колос, 1984. – 288 с.
13. Тарасов В.П., Лямкин Е.С., Тарасов А.В. Причины появления неустойчивости при работе пневмотранспортных установок // Известия ВУЗов. Пищевая технология. – 2009. – № 4. – С. 87–91.

14. Экспериментальное определение коэффициента внешнего трения муки по стали / Зуев Ф.Г., Коцюба В.П., Соколов А.Я., Тарасов В.П. // Известия ВУЗов. Пищевая технология. – 1982. – № 4. – С. 105–106.

### Информация об авторах

В. П. Тарасов – кандидат технических наук, профессор кафедры «Машины и аппараты пищевых производств» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

А. В. Тарасов – кандидат технических наук, доцент кафедры «Машины и аппараты пищевых производств» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

### REFERENCES

1. Zenz, F.A. & Othmer, D.F. (1960). *Fluidization and fluid-particle systems*. New York: Reinhold.
2. Tarasov, V.P. (2005). Elements of the theory of operation of a single-tube pneumatic transport installation. *Izvestiya VUZov. Food technology*, (5/6), 81–85. (In Russ.).
3. Zuev, FG, Kotsyuba, V.P. & Tarasov V.P. (1988). Improvement of the process of injection pneumatic transport installations. *Proceedings of the national scientific and technical conference "Intensification of lifting and transport and construction processes"*. Kazanlak, Bulgaria. (P. 12).
4. Kotsyuba, V.P. & V.P. Tarasov. (1990). *Development of a pneumatic conveying plant for flour for high concentration flows with a capacity of 10 t. GR № 01860098832*. Barnaul: ASTU. (In Russ.).
5. Tarasov, V.P. (1986). Improving the work of pumping pneumatic transport installations. *Extended abstract of candidate's thesis*. Moscow. (In Russ.).
6. Tarasov, V.P. & Mukhopad, K.A. (2019). A Theory on Operation of a Single-Tube Pneumatic Conveyer. *Teoreticheskie Osnovy Khmicheskoi Tekhnologii*, 53(3), 349–360.
7. Yaroslavtsev, D.E. & Tarasov, V.P. (2007). Pressure losses in the material pipeline during pneumatic transport of flour. *Education horizons: scientific and educational journal AltSTU*, (9). Retrieved from <http://edu.secna.ru/media/f/pp2.pdf>. (In Russ.).
8. Malis, A.Ya. & Kastornykh, M.G. (1985). *Pneumatic transport for bulk materials*. Moscow: Agropromizdat. (In Russ.).
9. Glebov, A.A. & Tarasov, V.P. (1996). Influence of the degree of throttling of a pneumatic transport installation on the stability of the pneumatic transport process. *Scientific and technical work of students, graduate students and faculty of AltSTU*, (2), (P. 203). (In Russ.).
10. Tarasov, V.P. (1999). Stability of operation of pneumatic transport systems. *Problems of stabilization and development of agricultural production in Siberia, Kazakhstan and Mongolia in the XXI century*. Novosibirsk, (1), 109–110. (In Russ.).

11. Tarasov, V.P. & Kurilov A.N. (2016). On the determination of the channel size (equivalent diameter) in two-phase systems. *Modern problems of technology and technology of food production: materials of the international scientific and practical conference. Barnaul*, (P.148). (In Russ.).

12. Volodin, N.P., Kastornykh, M.G. & Krivoshein, A.I. (1984). Handbook of aspiration and pneumatic transport installations. Moscow: Kolos. (In Russ.).

13. Tarasov, V.P., Lyamkin, E.S. & Tarasov, A.V. (2009). The reasons for the appearance of instability during the operation of pneumatic transport installations. *Izvestiya VUZov. Food technology*. (4), 87–91. (In Russ.).

14. Zuev, F.G., Kotsyuba, V.P., Sokolov, A.Ya. & Tarasov, V.P. (1982). Experimental determination of

the coefficient of external friction of flour on steel. *Izvestiya VUZov. Food technology*, (4), 105–106. (In Russ.).

#### **Information about the authors**

V. P. Tarasov – Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Machines and Apparatuses for Food Production, Polzunov Altai State Technical University.

A. V. Tarasov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Machines and Apparatus for Food Production, Polzunov Altai State Technical University.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
The authors declare that there is no conflict of interest.*

*Статья поступила в редакцию 02.02.2021; одобрена после рецензирования 22.02.2021; принята к публикации 26.02.2021.*

*The article was received by the editorial board on 02 Feb 21; approved after reviewing on 22 Feb 21; accepted for publication on 26 Feb 21.*