



Научная статья

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

УДК 621.867:664

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.007

 EDN: EWXSU

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ НАГНЕТАЮЩИХ СИСТЕМ ПНЕВМОТРАНСПОРТА С ПРИВОДНЫМИ ПИТАТЕЛЯМИ ПРИ ИХ РАБОТЕ В ПЕРЕХОДНЫХ И НЕУСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ

Владимир Петрович Тарасов ¹, Андрей Владимирович Тарасов ²

^{1,2} Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

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

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

Аннотация. Выполнен анализ основных причин и последствий нарушения устойчивости работы нагнетающих систем пневмотранспорта с питателями непрерывного действия (имеющими привод) с учетом их работы в переходные и неустановившиеся периоды. Приведены доказательства существенного изменения параметров процесса пневмотранспортирования и повышенной вероятности нарушения устойчивости в переходных и неустановившихся режимах. Выдвинуты гипотезы, объясняющие существо происходящих явлений при пуске пневмотранспортной установки. Скорректированы с учетом работы в переходных режимах математические модели для описания производительности шлюзовых и шнековых приемно-питающих устройств. Проанализированы причины повышенной подачи материала в трубопровод, экстремального давления и появления «горба» на диаграмме давления в начале трубопровода в период пуска питателя и заполнения трубопровода транспортируемым материалом. Приведены литературные сведения и экспериментальные доказательства, подтверждающие выдвинутые идеи и гипотезы.

Ключевые слова: пневматический транспорт, шлюзовые, шнековые питатели, переходные и неустановившиеся периоды работы, устойчивость, давление, расход, скорость воздуха, производительность, трубопровод.

Для цитирования: Тарасов В. П., Тарасов А. В. Анализ особенностей нагнетающих систем пневмотранспорта с приводными питателями при их работе в переходных и неустановившихся режимах // Ползуновский вестник. 2022. № 3. С. 50 – 57. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.007. EDN: <https://elibrary.ru/ewxsdu>.

Original article

ANALYSIS OF THE FEATURES OF PNEUMATIC TRANSPORT INJECTION SYSTEMS WITH DRIVE FEEDERS DURING THEIR OPERATION IN TRANSIENT AND UNSTEADY MODES

Vladimir P. Tarasov ¹, Andrey V. Tarasov ²

^{1,2} Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

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

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

Abstract. The operation instability main causes and consequences analysis of charging pneumatic transport systems with continuous feeders (having a drive), taking into account their work in transient and unsteady periods, was carried out. The evidences of significant changes in the pneumat-

©Тарасов, В. П., Тарасов, А. В., 2022

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ НАГНЕТАЮЩИХ СИСТЕМ ПНЕВМОТРАНСПОРТА С ПРИВОДНЫМИ ПИТАТЕЛЯМИ ПРИ ИХ РАБОТЕ В ПЕРЕХОДНЫХ И НЕУСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ

ic transporting process parameters and an increased probability of instability in transient and unsteady state modes are given. The hypotheses explaining the essence of the phenomena occurring during the start-up of the pneumatic transporting were put forward. Mathematical models for describing the performance of sluice and auger receiving and feeding devices (sluice and screw feeders) were adjusted taking into account operation in transient modes. The reasons of increased material flow into the pipeline, extreme pressure and the appearance of a hump in the pressure diagram at the beginning of the pipeline during the start-up of the feeder and filling the pipeline with the transported material were analyzed. Literature (references) and experimental evidence confirming the ideas and hypotheses put forward were given.

Keywords: *pneumatic transport, sluice feeder, grinder feed screw (screw feeder), transient and unsteady state operation periods, stability, pressure, consumption (rate, flow), air velocity (speed), delivery (consumption), pipeline.*

For citation: Tarasov, V.P., Tarasov, A.V. (2022) Analysis of the features of pneumatic transport injection systems with drive feeders during their operation in transient and unsteady modes // *Polzunovskiy vestnik* № 3. 50-57. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.007.

В химической, пищевой, строительной и других отраслях для транспортирования самого широкого круга сыпучих материалов с успехом применяется пневматический транспорт. При этом используются всасывающие, нагнетающие и комбинированные пневмотранспортные установки. Нагнетающие системы пневмотранспорта отличаются рядом преимуществ и являются более перспективными. Для подачи материала в область с повышенным давлением чаще всего применяются питатели непрерывного принципа действия, с приводом и роторным основным рабочим органом - винтовые (шнековые) и барабанные (шлюзовые).

Одной из наиболее острых проблем, с которой сталкиваются при применении пневмотранспортных установок, является разрешение противоречия между обеспечением низких затрат энергии на осуществление процесса и устойчивостью работы системы. Проблема заключается в том, что наиболее рациональные в энергетическом отношении режимы движения двухкомпонентных потоков имеют место при минимальных скоростях воздуха. Однако, при этом возникает высокая вероятность нарушения устойчивости процесса. Ранее в [1 – 4] теоретически обосновано и в [1, 5 – 7] экспериментально подтверждено, что нарушение устойчивости процесса пневмотранспортирования тесно связано с переходными* и неустойчивыми** режимами движения двухкомпонентных потоков. Чаще всего именно в эти периоды работы системы имеют место максимальные зна-

чения возмущающих факторов. Это приводит к тому, что давление в трубопроводе возрастает (его градиент положительный), а объемный расход, а значит и скорость воздуха в нем становятся минимальными. Полученные в ходе экспериментальных исследований с применением средств непрерывного контроля результаты наглядно свидетельствуют об этом. Диаграммы изменения основных параметров процесса (давления, P и объемного расхода, Q воздуха в начале трубопровода) одного из опытов приведены на рисунке 1. Скорость воздуха в начале трубопровода при пуске (с 10 по 12 секунду) в этом опыте падала ниже 2 м/с. В то время как в установившемся режиме она не уменьшалась ниже 7 м/с, следовательно, именно в это время может возникнуть максимальная вероятность закупорки трубопровода и нарушение процесса. При этом его возобновление будет невозможно без проведения достаточно трудоемких и продолжительных по времени операций.

Выше указанные и другие ранее выполненные научно-исследовательские работы позволили определить основные причины снижения скорости в переходные и неустойчившиеся периоды работы. В [1–7] установлено, что в это время из-за увеличения сил сопротивления движению компонентов аэросмеси (положительном градиенте давления в оборудовании) скорость воздуха в трубопроводе уменьшается по четырем основным причинам: 1). Вследствие накопления дополнительного количества воздуха во внутрен-

*- под переходными и опасными в смысле нарушения устойчивости режимами работы пневмотранспортных установок, понимаются периоды пуска питателя и загрузки трубопровода;

** - под неустойчивыми и опасными в смысле нарушения устойчивости режимами работы пневмотранспортных установок понимаются периоды возмущений ее параметров (в основном увеличение подачи материала питателем), приводящие к увеличению сопротивлений движению компонентов аэросмеси.

них полостях воздухоподводящего оборудования. 2). По причине увеличения утечек из воздухоподводящего оборудования. 3). Из-за снижения производительности воздуходувной машины в соответствии с ее характеристикой (для подавляющего числа применяемых разновидностей). 4). По причине увеличения плотности воздуха в материалопроводе. Потеря устойчивости работы систем пневмотранспорта особенно нежелательна для производств с непрерывным режимом работы, поскольку приводит к значительным экономическим издержкам. Поэтому проектировщики

закладывают повышенные (иногда в несколько раз) скорости воздуха, что ведет не только к увеличению энергозатрат, но и к еще целому ряду других негативных последствий: увеличению габаритов и стоимости применяемого оборудования, росту пылевоздушных выбросов в окружающую среду, измельчению транспортируемого материала, повышенному износу трубопровода. Все это, в конечном счете, несмотря на целый ряд преимуществ, зачастую приводит к отказу от применения пневматического способа транспортирования.

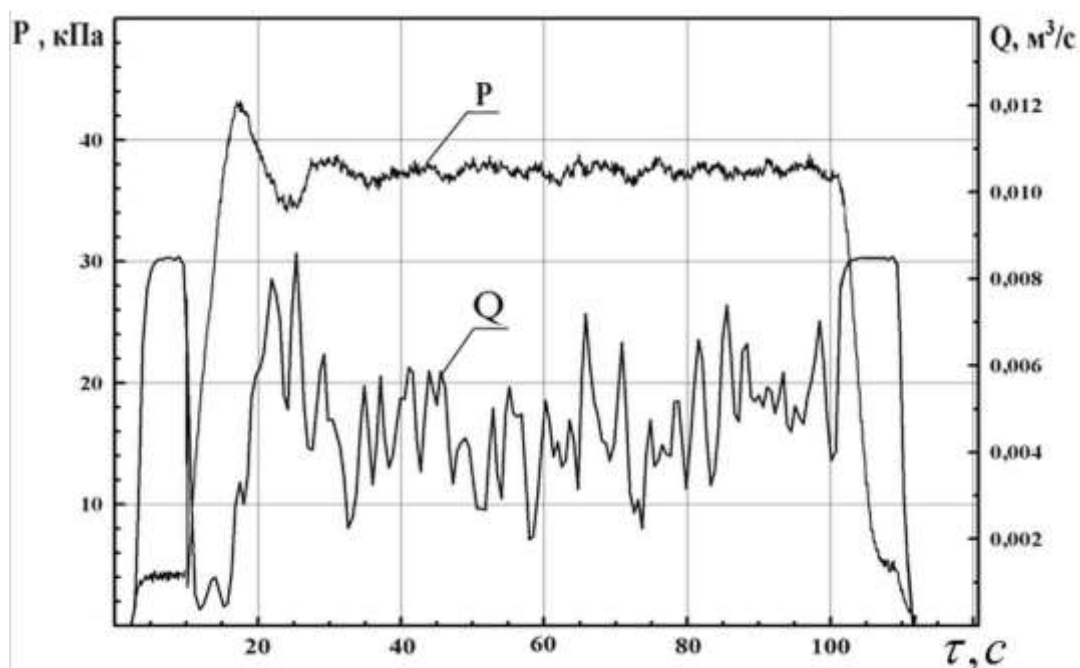


Рисунок 1 – Диаграммы изменения расхода и давления воздуха в начале трубопровода диаметром 0,038 м. при транспортировании муки, питатель шнековый

Figure 1 – Diagrams of changes in air flow and pressure at the beginning of the pipeline with a diameter of 0.038 m. when transporting flour, the screw feeder

Проведенные ранее исследования и испытания промышленных систем пневматического транспорта показали, что кроме снижения скорости воздуха в это время может иметь место еще один нежелательный эффект. Во многих случаях при положительном градиенте давления в оборудовании, особенно при пуске пневмотранспортных установок, наблюдается существенное повышение максимальной величины сопротивления ее элементов, а значит и потеря давления. На диаграммах давления это отражается в виде появления характерного «горба». Так, в приведенной на рисунке 1 – диаграмме, в период с 14 по 22 секунду наблюдается заметное (по сравнению с установившимся периодом работы) увеличение давления в начале трубо-

провода. Его значение почти на 20 % превышает номинальную в установившемся режиме величину. Вследствие этого увеличивается не только градиент давления, но и время, когда он положительный. Кроме того, появление «горба» на характеристике системы приводит к дополнительному ряду нежелательных последствий. Величина давления может превысить возможности воздуходувной машины и (или) ее энергетический потенциал. Следствием роста градиента давления и увеличения продолжительности этого периода является еще более существенное уменьшение объемного расхода, а значит и скорости воздуха в материалопроводе. В конечном счете, это приводит к повышению вероятности закупорки трубопровода и пре-

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ НАГНЕТАЮЩИХ СИСТЕМ ПНЕВМОТРАНСПОРТА С ПРИВОДНЫМИ ПИТАТЕЛЯМИ ПРИ ИХ РАБОТЕ В ПЕРЕХОДНЫХ И НЕУСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ

кращению процесса (потери устойчивости работы системы). Поэтому представляется крайне важным понимать причины наличия такого «горба» и знать факторы, влияющие на его величину.

Анализируя существо происходящих при пуске явлений, есть все основания предположить, что одной из основных возможных причин появления «горба» давления является повышенная в этот период подача материала в трубопровод (более высокая производительность приемно-питающего устройства). Именно оно обеспечивает подачу материала в трубопровод. Выполненные экспериментальные исследования со шнековыми и шлюзовыми приемно-питающими устройствами показали, что на их характеристиках производительности также имеются аналогичные «горбы». На рисунке 2 приведена диаграмма изменения во времени производительности (массового расхода) шнекового питателя $G_{шн}(\tau)$, начиная с момента его включения. В период с 4 по 10 секунду наблюдается существенное, по сравнению с установившимся режимом, повышение производительности, а на диаграмме отчетливо прослеживается «горб». По сравнению с установившимся периодом превышение производительности в режиме пуска может составлять более 50%. Подтверждения этому также получены при испытаниях промышленных систем пневмотранспорта. Следовательно, анализ факторов, влияющих на производительность различных приемно-питающих устройств, поможет понять причины и оценить масштабы этого явления для различных систем пневмотранспорта. На наличие связи между «горбами» давления в материалопроводе и производительности приемно-питающего устройства дополнительно указывает факт их симметричного по величине и времени взаиморасположения. Экспериментальные исследования подтверждают это. Результаты одного из опытов, приведены на рисунке 3. Имеющийся на 13 – 20 секундах «горб» на диаграмме производительности питателя отражается аналогичным повыше-

нием величины давления в начале трубопровода на диаграмме давления. Чтобы объяснить причины появления «горба» на характеристиках параметров систем пневмотранспорта необходимо проанализировать влияние на производительность приемно-питающих устройств различных факторов. При этом, поскольку известные зависимости для расчета производительности приемно-питающих устройств получены для установившихся режимов работы и не учитывают некоторые особенности изменяющихся параметров, их (эти зависимости) следует скорректировать. Это особенно важно для автоматизированного, с применением программного обеспечения, анализа переходных и неуставившихся режимов работы систем пневматического транспорта.

Основные факторы, влияющие на производительность таких приемно-питающих устройств, можно разделить на 4 группы: конструктивные, кинематические, гидравлические и факторы, связанные с физико-механическими свойствами транспортируемого материала. К основным конструктивным параметрам, оказывающим существенное влияние на производительность шнековых и шлюзовых питателей, относятся характеристики, определяющие объем рабочих полостей питателей. Для шнековых питателей это диаметр винта D_w и шаг винтовой линии, t_i , прежде всего, её последнего, напорного витка; для шлюзовых питателей - размеры ротора (его диаметр D_p и длина L_p). Основным кинематическим параметром шнековых и шлюзовых питателей, непосредственно влияющим на производительность, является частота вращения ротора ν , а гидравлическим – избыточное давление в смесительной камере питателя P_p . Объективнее оценку влияния давления следует вести по его перепаду на входе и выходе питателя; однако, поскольку на входе у них, как правило, давление близкое к атмосферному, то выше сделанное утверждение является вполне приемлемым.

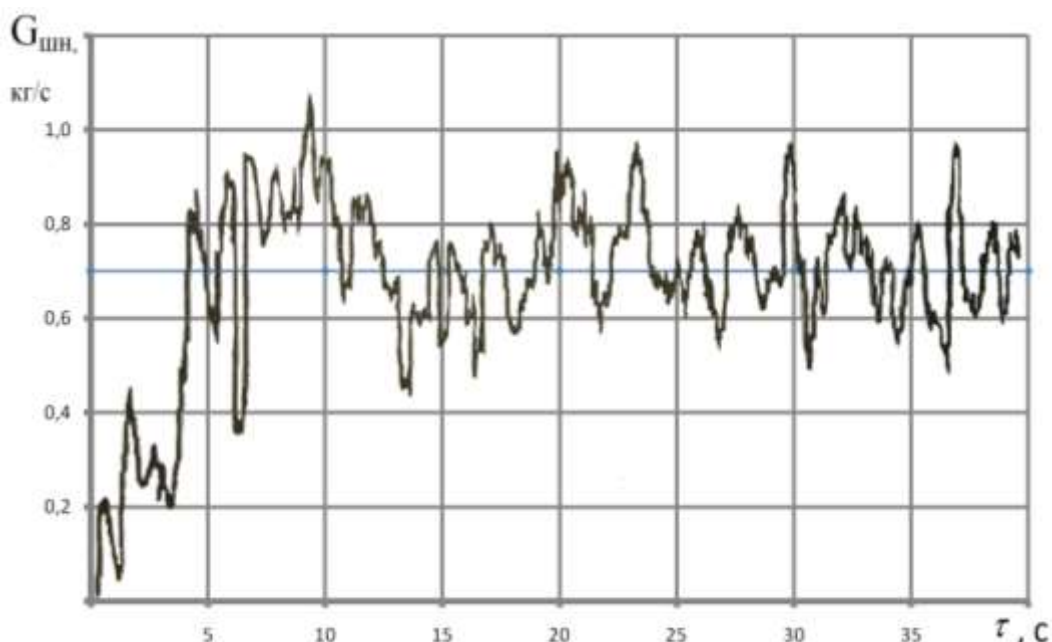


Рисунок 2 – Диаграмма изменения производительности шнекового питателя
Figure 2 – Diagram of the change in the performance of the screw feeder

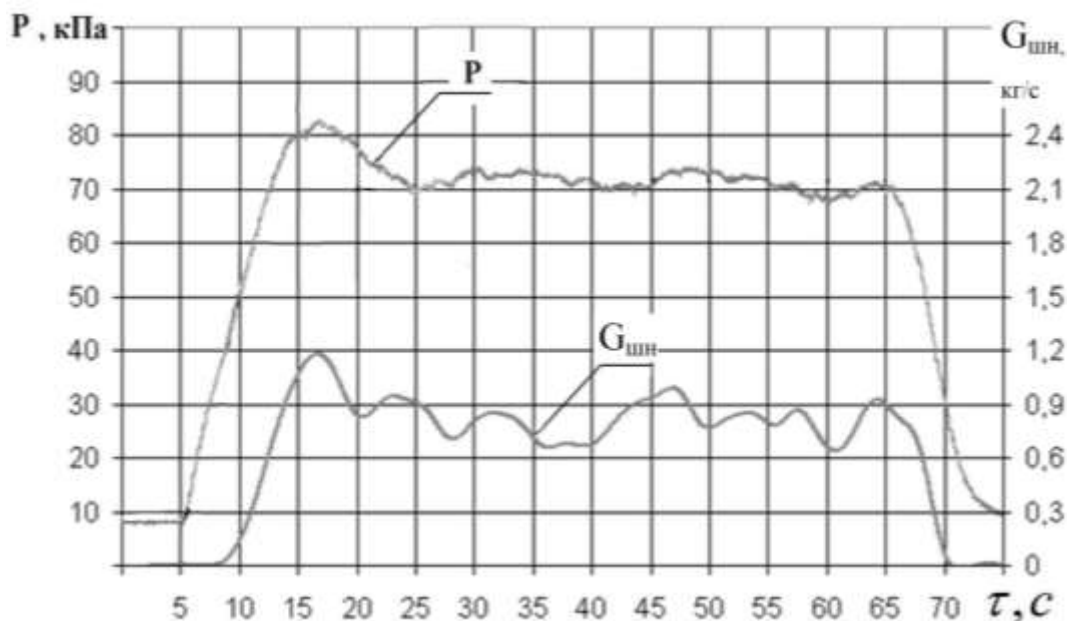


Рисунок 3 – Диаграммы изменения давления(1) в начале трубопровода диаметром 0,038 м. и производительности (2) в пневмотранспортной установке при транспортировании муки на расстояние 56 метров, питатель шнековый

Figure 3 – Diagrams of pressure changes (1) at the beginning of the pipeline with a diameter of 0.038 m. and performance (2) in a pneumatic conveying unit when transporting flour to a distance of 56 meters, screw feeder

Следует заметить, что с ростом давления в смесительной камере, производительность роторных питателей уменьшается вследствие ухудшения условий поступления материала в основной рабочий орган. Кроме этого, для шнековых питателей с увеличени-

ем давления возрастают силы, препятствующие движению материала вдоль винта. Физико-механические свойства транспортируемого материала обычно учитываются его плотностью ρ_m или насыпной плотностью $\rho_{нас}$. Кроме выше указанных на производитель-

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ НАГНЕТАЮЩИХ СИСТЕМ ПНЕВМОТРАНСПОРТА С ПРИВОДНЫМИ ПИТАТЕЛЯМИ ПРИ ИХ РАБОТЕ В ПЕРЕХОДНЫХ И НЕУСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ

ность шнековых и шлюзовых питателей оказывают влияние и другие факторы. Например, для шлюзовых питателей: размеры приемного и выпускного окон, количество ячеек в роторе и пр.; для шнековых питателей - размеры приемного устройства, наличие приспособлений, препятствующих вращательному движению материала в корпусе и пр. Их (эти конструктивные особенности) и другие физико-механические свойства транспортируемого материала (дисперсность, сыпучесть, адгезионность и пр.), а также величину давления в смесительной камере, частоту вращения ротора для конкретного питателя принимают постоянными и, чаще всего, например, как в [9], учитываются коэффициентом заполнения ротора k_3 . Однако, совместный учет коэффициентом неизменных и значи-

- для шлюзовых

$$G_{\text{шл}}(\tau) = k_3(v) \cdot \pi \cdot D_p^2 \cdot L_p \cdot v(\tau) \cdot \rho_{\text{таб}} \cdot (1 - m \cdot (\Delta P_i(\tau))^n) / 4; \quad (1)$$

- для шнековых

$$G_{\text{шн}}(\tau) = k_3(v) \cdot t_i \cdot \pi \cdot D_\phi^2 \cdot v(\tau) \cdot \rho_{\text{таб}} \cdot (1 - m \cdot (\Delta P_i(\tau))^n) / 4, \quad (2)$$

где τ – время, $k_3(v)$ – коэффициент, учитывающий степень заполнения материалом рабочего пространства питателя, зависящий от свойств транспортируемого материала, параметров конструкции питателя и изменяющийся во времени вследствие изменения частоты вращения ротора $v(\tau)$, $\Delta P_n(\tau)$ – изменяющийся во времени перепад давления между входным P_a и выходным P_n сечениями питателя; m, c – коэффициенты, учитывающие влияние перепада давления в питателе на его производительность.

Производители шлюзовых и шнековых питателей, в технической характеристике приводят сведения о коэффициенте заполнения ротора k_n для транспортируемых материалов при рекомендуемых значениях параметров. При этом иногда даются рекомендации для пересчета его величины для фактических условий работы (в определенном диапазоне изменения частот вращения ротора и давления в смесительной камере k_ϕ .) Однако, при пуске частота вращения ротора и давление в смесительной камере изменяются в более широких пределах. Следовательно, величина коэффициента заполнения ротора также может измениться значительно от 1 (при небольших оборотах) до фактической величины (при номинальных оборотах).

Учитывая это, существо происходящих при пуске шнековых и шлюзовых питателей явлений, результаты проведенных экспериментов и промышленных испытаний, предла-

тельно изменяющихся в переходных и неустановившихся периодах работы параметров, нельзя считать оправданным. Это может привести к существенным несоответствиям математических моделей реальной действительности и значительным отличиям спрогнозированных параметров работы системы от фактических значений.

Для устранения этих недостатков предлагается в математических моделях производительности питателей учитывать влияние частоты вращения ротора переменным коэффициентом его заполнения. Для учета влияния давления на производительность аналогично [9] использовать дополнительный коэффициент. Тогда выражения для определения производительности питателей будут иметь вид:

гается следующий вид выражения для определения коэффициента заполнения

$$k_3(v) = 1 - (1 - k_\phi) \cdot \left(\frac{v}{v_\phi} \right)^n, \quad (3)$$

где v и v_ϕ – соответственно текущее (мгновенное) и фактическое (в соответствии с заводскими характеристиками) значения частоты вращения ротора, n – коэффициент, зависящий от свойств транспортируемого материала, особенностей конструкции питателя.

Совместный анализ выражений (2) и (3), экспериментальные исследования и опыт практического внедрения показали, что основной причиной повышенной подачи материала в смесительную камеру в пневмотранспортных установках со шнековым питателем в начальный период его работы может быть повышенный коэффициент заполнения шнека. Поскольку в качестве питающих устройств в пневмотранспортных установках обычно применяют быстроходные шнеки, то существенное влияние на коэффициент заполнения оказывает эффект отбрасывания материала витками. Центробежная сила, действующая на частицы транспортируемого материала в установившемся режиме работы, может быть не только сопоставима с силой тяжести, но и в несколько раз превышать ее. Кроме того, из-за высокой угловой скорости материала время его движения в зоне приемного патрубка к оси вращения небольшое. Поэтому центральные зоны витков

остаются существенно недозаполненными. В номинальном (установившемся) режиме работы коэффициент заполнения шнека может быть небольшим (это подтверждают литературные данные [9] и результаты выполненных экспериментов [1,5,7]). Кроме того, перед пуском межвитковая полость шнека, находящаяся под приемным патрубком, может быть заполнена с насыпной плотностью материала ($k_{\phi} = 1$), а после включения привода, когда частота вращения шнека небольшая, а давление в смесительной камере низкое, коэффициент заполнения может также оставаться достаточно большим. Поэтому, по мере продвижения материала вдоль винта, в какой-то период производительность питателя может быть существенно выше ее величины в установившемся режиме работы. Следовательно, при движении вдоль трубопровода аэросмесь заполняет его с различной концентрацией материала по длине. Передние участки движущейся по трубопроводу аэросмеси могут иметь повышенную (по сравнению с установившимся периодом) концентрацию материала. При достижении передним фронтом аэросмеси конца трубопровода в нем будет находиться повышенное по сравнению с установившимся режимом количество материала. Это скажется на потерях давления в этот промежуток времени. Они будут также повышенными. Кроме того, выполненные экспериментальные исследования и опыт внедрения систем пневмотранспорта со шнековыми питателями показали, что на величину производительности существенное влияние может оказать лавинообразное движение продукта из предшествующего оборудования (чаще всего из бункеров). Это явление характерно для некоторых сыпучих, особенно порошковых (мука, цемент и т.п.) материалов. После открытия задвижки из-под бункера образуется движущийся с большой скоростью поток материала. Этот поток, попадая в шнек, может не только заполнить полностью межвитковое пространство, но и вызвать движение материала вдоль оси со скоростью, превышающей ее номинальную величину при нормальном режиме работы. Производительность питателя по этой причине в этот момент может превышать ее теоретическое значение в несколько раз. Это также сказывается на характеристике производительности питателя, появляется «горб», который соответственно отражается на динамической характеристике установки.

В пневмотранспортных системах со шлюзовым питателем в начальный момент

времени может также иметь место повышенная подача материала в смесительную камеру питателя по причине наличия в ячейках ротора избыточного его количества. В начальный, после включения питателя, период времени коэффициент заполнения ротора из-за его небольших оборотов и низкого давления в смесительной камере будет более высоким. Причем, ячейки, находящиеся перед пуском в неподвижном состоянии под приемным окном, могут быть заполнены полностью (их коэффициент заполнения может быть близким к 1). Следовательно, в начальный после включения питателя период, в смесительную камеру, а затем в трубопровод может поступить повышенное количество материала. В этом случае, по мере продвижения материала по трубопроводу, в нем, в какое-то время, будет находиться повышенное количество материала. Это, по сравнению с установившимся режимом работы, также приведет к дополнительным потерям давления в трубопроводе. Кроме того, часто в системах со шлюзовым питателем положение усугубляется по еще достаточно распространенной причине – выбранный питатель имеет повышенный, по сравнению с номинальной величиной, потенциал производительности (принят излишне большой запас). В установившемся режиме, в силу ограниченной подачи материала в питатель предшествующим оборудованием, это может не сказываться на работе установки. Однако, при пуске, в этом случае, подача материала питателем в смесительную камеру может оказаться еще в большей степени, превышающей ее номинальную величину. Это приведет к еще более значительному повышению сопротивления трубопровода со всеми вытекающими отсюда последствиями, главное из которых – потеря устойчивости работы системы.

Выше изложенные процессы, происходящие в системах пневмотранспорта и причины их появлений, являются наиболее вероятными, но не исчерпывающими. В реальных системах имеют место и другие факторы, приводящие к возникновению, так называемого «горба» на переходной характеристике питателя, наличие которого крайне нежелательно. Знание природы этого явления позволяет избежать его появления, уменьшить его величину или, по крайней мере, учесть его наличие.

Выполненный выше анализ позволил объяснить причины повышенной подачи материала в трубопровод пневмотранспортной установки в период ее пуска. Предложенные математические модели производительности

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ НАГНЕТАЮЩИХ СИСТЕМ ПНЕВМОТРАНСПОРТА С ПРИВОДНЫМИ ПИТАТЕЛЯМИ ПРИ ИХ РАБОТЕ В ПЕРЕХОДНЫХ И НЕУСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ

шнековых и шлюзовых питателей соответствуют сущности происходящих явлений и позволяют уточнить ее характер и меняющуюся при пуске величину. Использование этих зависимостей совместно с разработанной ранее в [1 - 3] физической и математической моделями работы нагнетающей пневмотранспортной установки даст возможность повысить точность получаемых результатов расчета систем пневмотранспорта. Это, в свою очередь, позволит подобрать более эффективные режимы работы и соответствующее оборудование, обеспечив при этом устойчивость работы системы пневматического транспорта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарасов В. П. Совершенствование работы нагнетающих пневмотранспортных установок : дис. ... канд. техн. наук. М., 1986. 24 с.
2. Тарасов В. П. Элементы теории работы однотрубной пневмотранспортной установки // Известия ВУЗов. Пищевая технология. 2005. № 5/6. С. 81-85.
3. Tarasov V. P., Mukhopad K. A. A Theory on Operation of a Single-Tube Pneumatic Conveyor // Teoreticheskie Osnovy Khmicheskoi Tekhnologii. 2019. Vol. 53, № 3. P. 349-360.
4. Тарасов В. П. Анализ явлений в нагнетающей пневмотранспортной установке // Современные проблемы техники и технологии пищевых производств: материалы XVIII международной научно-практической конференции. Барнаул, 2017. – С. 236.
5. Разработка пневмотранспортной установки муки производительностью 10 т/час : Отчет о НИР Алтайского политехнического института им. И.И. Ползунова (промежуточный): Барнаул, 1988. 54 с. № ГР 81860098832.-
6. Мухопад К. А., Тарасов В. П. Экспериментальное исследование нестационарных процессов при пневматическом транспортировании сыпучих материалов // Ползуновский вестник. 2017. №3. С. 50 – 57.
7. Тарасов В. П., Левин О. Л. Влияние способа загрузки материалопровода на параметры процесса пневмотранспортирования // Изв. ВУЗов. Пищевая технология. 2003. №4. С. 92-94.
8. Исследование и совершенствование систем транспорта сыпучих грузов по трубам : Отчет о НИР Курского политехнического института (промежуточный): Курск, 1984. 101 с. № ГР0285065732.
9. Малис А. Я. Пневматический транспорт сыпучих материалов при высоких концентрациях. Москва: Машиностроение, 1969,- 177 с.

Информация об авторах

В. П. Тарасов – к.т.н., профессор кафедры «Машины и аппараты пищевых производств»

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

Статья поступила в редакцию 14.06.2022; одобрена после рецензирования 25.07.2022; принята к публикации 15.08.2022.

The article was received by the editorial board on 14 June 2022 approved after editing on 25 July 2022; accepted for publication on 15 Aug 2022.

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 656000, г. Барнаул, пр-т Ленина 46, e-mail: mapp.tar@mail.ru, тел. 9609621560.

А. В. Тарасов – к.т.н., доцент кафедры «Машины и аппараты пищевых производств» ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 656000, г. Барнаул, пр-т Ленина 46, e-mail: ptu110@mail.ru, тел. 9039574321.

REFERENCES

1. Tarasov V.P. (1986) Improving the operation of pumping pneumatic transport units. Extended abstract of candidate's thesis. Moscow. (In Russ.).
2. Tarasov V.P. (2005) Elements of the theory of operation of a single-tube pneumatic transmission unit. News of universities. Food Technology, (5/6), 81-85. (In Russ.).
3. Tarasov V.P. & Mukhopad K.A. (2019) A Theory on Operation of a Single-Tube Pneumatic Conveyor. Teoreticheskie Osnovy Khmicheskoi Tekhnologii. (53), (3), 349-360.
4. Tarasov V.P. (2017) Analysis of phenomena in a pressurizing pneumatic transmission system. Modern problems of technology and technology of food production: materials of the XVIII International scientific and practical conference. Barnaul: ASTU. (In Russ.).
5. Development of a pneumatic flour transfer unit with a capacity of 10 tons/hour. (1988). Research report of the Altai Polytechnic Institute named after I.I. Polzunov (interim). Barnaul. (In Russ.). № ГР 81860098832.-
6. Mukhopad K.A. & Tarasov V.P. (2017) Experimental study of non-stationary processes in the pneumatic transportation of bulk materials. Polzunovskiy vestnik, (3), 50 – 57. (In Russ.).
7. Tarasov V.P. & Levin O.L. (2003) Influence of the method of loading the material pipeline on the parameters of the pneumatic conveying process. News of universities. Food Technology, (4), 92-94. (In Russ.).
8. Research and improvement of bulk cargo transportation systems through pipes. (1984). : Research report of the Kursk Polytechnic Institute (interim). Kursk. (In Russ.). № ГР0285065732.
9. Malis A. Y. (1969) Pneumatic transport of bulk materials at high concentrations. Moscow: Mechanical engineering. (In Russ.).

Information about the authors

V. P. Tarasov – Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of «Food production machines and apparatuses» of the Polzunov Altai State Technical University.

A. V. Tarasov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Food production machines and apparatuses» of the Polzunov Altai State Technical University.