

УДК 629.1.039

**Е.Н. Фендьо**

*(Тернопольский национальный  
педагогический университет  
им. В. Гнатюка,  
г. Тернополь, Украина)*

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ КОНСТРУКЦИЙ БЕСКОНТАКТНЫХ СТРУЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ПНЕВМОТРАНСПОРТНЫХ УСТРОЙСТВ**

### **Введение**

Пневматический транспорт – один из видов промышленного транспорта, предназначенный для транспортировки грузов (сыпучих, штучных, пластично-вязких) на определенное расстояние под действием сжатого или разреженного воздуха [1]. Пневматические транспортные устройства широко распространены на предприятиях пищевой промышленности [2, 3], зерноперерабатывающих и мукомольных предприятиях [4], в угольной промышленности, строительстве. Были разработаны и внедрены в технологический процесс разного рода пневмозагрузчики и пневмоподъемники, насосы различных модификаций, вакуумные устройства, компрессоры.

Анализ работ в области создания пневмотранспортных устройств показал [1, 5–7], что их эксплуатационная надежность зависит от конструкции захватных устройств. Последние должны обеспечивать надежный захват, удержание и транспортировку объектов манипулирования, недопустимость повреждения или разрушения объектов, стабильность базирования, возможность манипулирования объектами в широком диапазоне размеров, формы и массы. В последние годы получили широкое распространение бесконтактные струйные устройства, способные к бесконтактному манипулированию объектами с различными физическими и механическими свойствами, структурой поверхностного слоя, температурой, материалом.

С учетом вышесказанного требуют дальнейшего исследования метода инженерного расчета бесконтактных струйных устройств, оптимизация их конструктивных параметров, способы повышения подъемной силы предложенных устройств с целью расширения области их применения.

### **Объекты и методы исследований**

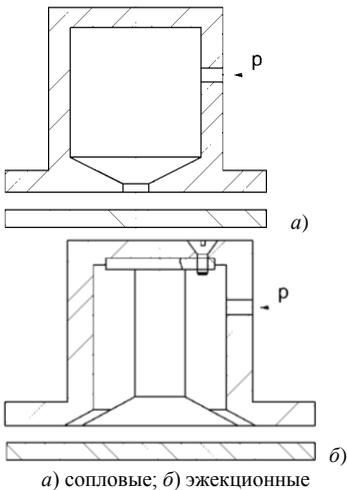
Объектом исследования являются газодинамические процессы, возникающие в воздушном промежутке между активной поверхностью струйных элементов и объектами манипулирования.

При проведении исследований были использованы методы математического моделирования, интегрального и дифференциального исчисления, основанные на классических уравнениях механики жидкостей и газов (уравнении неразрывности потока, законах сохранения энергии и количества движения потока воздуха).

## Результаты исследований

В процессе захвата и транспортировки непрочных, легкоповреждаемых объектов или объектов с покрытием в качестве рабочих органов наиболее эффективным является применение бесконтактных струйных устройств. В процессе работы они обеспечивают захват, удержание и транспортировку объекта манипулирования без контакта с его плоской или цилиндрической поверхностью, а также демпфируют удар объекта в момент его захвата. Кроме того, бесконтактные струйные устройства характеризуются большой универсальностью, простотой конструкции, малыми габаритными размерами и массой, возможностью бесконтактного захвата и транспортирования объектов, независимо от их материала, механических характеристик, структуры поверхностного шара и температуры.

В основе принципиальных схем и конструкций бесконтактных струйных устройств находится аэродинамический эффект притяжения, возникающий при взаимодействии вытекающего из сопла потока воздуха с плоской или цилиндрической поверхностью объекта. Рассмотрим два типа бесконтактных струйных захватных устройств: сопловые и эжекционные (рисунок 31).

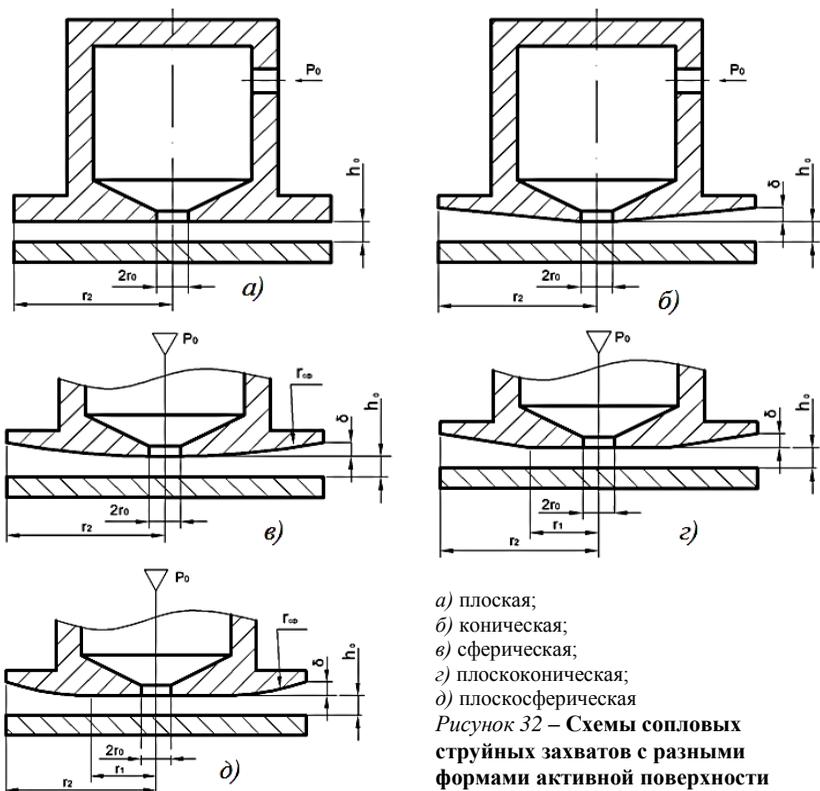


а) сопловые; б) эжекционные  
Рисунок 31 – Бесконтактные струйные захватные устройства

перпендикулярно плоскости объекта. Характерными геометрическими параметрами являются радиус сопла  $r_0$ , радиус захвата  $r_2$ , расстояние между краем сопла и объектом  $h_0$ .  $P_0$  – абсолютное давление питания захвата.

Основным требованием к конструкции рассматриваемых устройств, имеющим существенное влияние на их силовые характеристики, является наличие гладкой активной (взаимодействующей с объектом) поверхности. Она не должна иметь выступов или углублений, которые препятствуют расширению потока, и обязана обеспечивать плавное расширение потока с целью его безотрывного режима движения. При этом активная поверхность соплового захвата может быть плоской, конической, сферической или состоять из комбинации этих элементарных поверхностей (рисунок 32).

В бесконтактных струйных устройствах вытекающий из цилиндрического сопла воздух направлен



а) плоская;  
 б) коническая;  
 в) сферическая;  
 г) плоскоконическая;  
 д) плоскосферическая  
**Рисунок 32 – Схемы сопловых струйных захватов с разными формами активной поверхности**

Принцип действия бесконтактных струйных устройств заключается в возникновении силы притяжения вследствие создания зон разрежения между взаимодействующими поверхностями устройства и объекта. Характер течения, глубина и ширина зоны разрежения, а соответственно, и значение результирующего силового воздействия потока воздуха на поверхность объекта манипулирования существенно зависят от расстояния  $h_0$  между струйным устройством и объектом. Также силовые, динамические и расходные характеристики во многом зависят от конструкции сопел, которые формируют воздушный поток, направления истечения воздуха, а также от энергии потока газа.

С целью качественного и количественного сравнения результатов исследований силовых характеристик для всех бесконтактных струйных устройств с различными формами активной поверхности диаметр сопла был принят равным 6 мм, а расстояние от торца сопла до объекта – 0,2 мм. Результаты исследований представлены в виде графиков зависи-

мости подъемной силы  $F$  от отношений радиусов  $r_1/r_0$  при давлении питания захвата  $p_{0н} = 400 \text{ кПа}$  (рисунок 33).

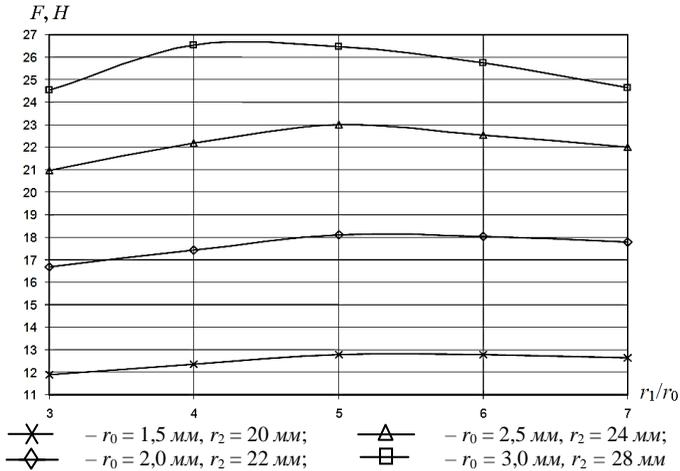


Рисунок 33 – Зависимость силы притяжения  $F$  объектов от отношения радиусов  $r_1/r_0$  для захватов с плоскосферической активной поверхностью

Результаты исследований влияния радиуса сопла  $r_0$  на силовые характеристики струйных захватов с плоскосферической активной поверхностью представлены на рисунке 34.

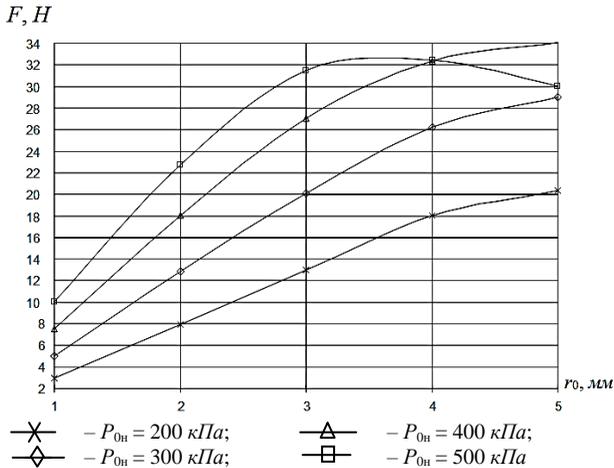


Рисунок 34 – Зависимость силы притяжения  $F$  объектов от радиуса сопла  $r_0$

Бесконтактные струйные устройства эжекционного типа (рисунок 35) характеризуются наличием в плоскости торца кольцевой щели, благодаря которой они значительно превышают силовые характеристики струйных устройств с цилиндрическим отверстием-соплом. Это обусловлено явлением эжекции, когда на поверхности объекта манипулирования создается зона постоянного разрежения, что приводит к появлению аэродинамического эффекта прижатия объекта к торцу захватного устройства.

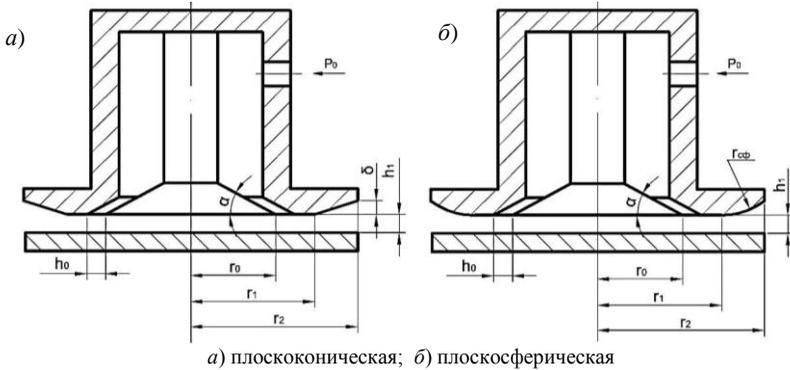
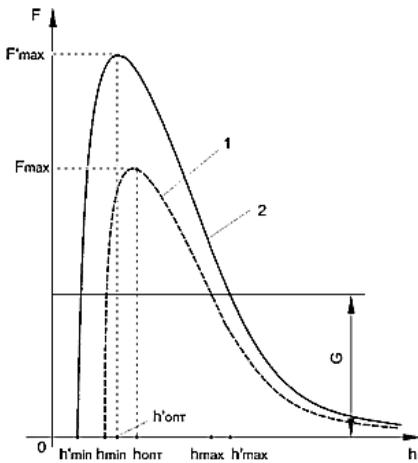


Рисунок 35 – Схемы эжекционных струйных захватных устройств с разными формами активной поверхности



1 – эжекционное устройство с плоским торцом;  
2 – эжекционное устройство с плоскоконической активной поверхностью

Рисунок 36 – Зависимость результирующей силы  $F$  от величины радиального промежутка  $h_1$

Характерными геометрическими параметрами являются радиус конической вставки  $r_0$ , радиус захвата  $r_2$ , угол наклона сопла  $\alpha < 20^\circ$ , высота конического сопла  $h_0$ , расстояние между краем сопла и объектом  $h_1$ .

На рисунке 36 представлены графики зависимости результирующей силы  $F$ , которой струйное устройство действует на объект, от величины радиального промежутка  $h_1$ .

Захват объекта весом  $G$  начинается с расстояния  $h_{max}$  при условии  $F(h_{max}) \geq G$ . Захваченный объект движется в направлении торца захватно-

го устройства под действием возрастающей подъемной силы, которая достигает максимума  $F_{max}$  при определенном значении  $h_{omn} = (0,25...0,35)$  мм,  $h'_{omn} = (0,2...0,25)$  мм. Далее движение объекта замедляется, сначала за счет уменьшения величины силы притяжения, а позже за счет отталкивающего действия воздушной подушки. Упругая воздушная подушка амортизирует динамическое действие объекта, а затем начинает его отталкивать. Следующее увеличение расстояния между взаимодействующими поверхностями захватного устройства и объекта приводит к увеличению силы притяжения, и объект в определенный момент времени снова начнет двигаться в направлении захвата. Таким образом, объект совершает гармонические затухающие колебания. Через несколько периодов колебания исчезнут, а равновесное положение объекта будет удовлетворять условию  $F(h_{min}) = G$ .

### Заключение

Анализ результатов исследований показал, что эффективными являются бесконтактные струйные захватные устройства с цилиндрическим соплом и комбинированными плоскоконической и плоскосферической активными поверхностями. Соотношения геометрических параметров следующие:  $h_0 = 0,2$  мм;  $\delta = 0,2$  мм;  $r_0 < 4$  мм;  $r_1/r_0 = (4,5...5,5)$ ;  $r_2/r_0 = (8,5...10,5)$ . Силовые характеристики струйных захватов с комбинированными плоскоконической и плоскосферической активными поверхностями выше захватов с плоским торцом на 40...60 %.

Теоретические и экспериментальные исследования эжекционных захватов показали, что оптимизация формы их активной поверхности обеспечит повышение силовых характеристик на 20...30 %. В результате исследований можно предложить конкретные пределы соотношений размеров струйных устройств: эффективность их обеспечивается тогда, когда высота конического сопла  $h_0 = (0,08...0,12)$  мм, а значение радиального промежутка  $h_1 = (1,9...2,2) h_0$ .

05.06.2014

### Литература

1. Пневматические устройства и системы в машиностроении: справочник / Е.В. Герц [и др.]; под общ. ред. Е.В. Герца. – М.: Машиностроение, 1981. – 408 с.
2. Зарницына, Э.Г. Вентиляционные установки и пневмотранспорт / Э.Г. Зарницына, О.Н. Терехова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2011. – 228 с.
3. Бурсиан, В.Р. Пневматический транспорт на предприятиях пищевой промышленности / В.Р. Бурсиан. – М.: Пищепромиздат, 1964. – 276 с.
4. Дзядзио, А.М. Пневматический транспорт на зерноперерабатывающих предприятиях / А.М. Дзядзио. – М.: Колос, 1967. – 237 с.
5. Александров, М.П. Подъемно-транспортные машины / М.П. Александров. – М.: Высшая школа, 1985. – 520 с.

6. Вайнсон, А.А. Подъемно-транспортные машины / А.А. Вайнсон. – М.: Машиностроение, 1989. – 536 с.
7. Вакуумная техника: справочник / Е.С. Фролов [и др.]; под общ. ред. Е.С. Фролова, В.Е. Минайчева. – М.: Машиностроение, 1992. – 480 с.: ил.

УДК 637.11

**Ю.А. Линник**

*(Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, г. Днепропетровск, Украина);*

**С.И. Павленко**

*(Отдел биоэкотехнических систем в животноводстве Национального научного центра «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства», г. Запорожье, Украина)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ МОЛОЧНО- ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В ДОИЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ С ВЕРХНИМ МОЛОКОПРОВОДОМ**

### **Проблема**

В процессе перемещения молочно-воздушной смеси по молочному шлангу доильного аппарата наблюдается флуктуация вакуумметрического давления. В зависимости от типа молочной системы, конструктивно-технологических параметров доильного аппарата и режимов его работы режим течения молочно-воздушной смеси можно скорректировать, в результате достигнув уменьшения флуктуации вакуумметрического давления.

### **Анализ последних исследований и публикаций**

Анализ теоретических исследований [1–7] показал, что движение молочно-воздушной смеси как двухфазной среды по молочному шлангу доильного аппарата не изучено в полной мере. В указанных исследованиях нет математических моделей, описывающих динамику изменения вакуумметрического давления в процессе перемещения молочно-воздушной смеси для различных молочных систем доильных установок. Молочные системы современных доильных установок можно разделить на два типа: с верхним и нижним молокопроводом [8]. Понятно, что режимы течения молочно-воздушной смеси в каждой из указанных систем отличаются, поэтому и возникает необходимость их изучения.

Исследовалось движение молочно-воздушной смеси по молочному шлангу доильного аппарата, определялась флуктуация вакуумметрического давления для молочной системы с верхним молокопроводом. Исследование движения молочно-воздушной смеси проводилось методом численного моделирования с использованием программного пакета Star CCM+.