

УДК 621.54

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ
УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОЧИСТКИ СИЛОВЫХ АГРЕГАТОВ И РАБОЧИХ
ОРГАНОВ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН**

Владимир Алексеевич Кочетов

магистрант

vova30483@rambler.ru

Сергей Владимирович Дьячков

кандидат технических наук, доцент

dsv13.06@mail.ru

Сергей Владимирович Соловьев

доктор сельскохозяйственных наук, профессор

sergsol6800@yandex.ru

Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

Аннотация. В статье представлены теоретические исследования характеристик струй сжатого воздуха: определены зависимости для определения площади контакта сжатого воздуха с поверхностью, динамического давления на оси потока сжатого воздуха и расхода воздуха проходящего через сопло. Построены графики зависимости изменения пятна контакта потока сжатого воздуха от расстояния, при использовании конических сопел с диаметром 0,6 и 1,0 см, и углом раствора 5° .

Ключевые слова: сжатый воздух, сечение струи, сопло, пятно контакта.

Для очистки силовых агрегатов и рабочих органов транспортно-технологических машин применяют различные технологические операции – мойка (ручная, автоматическая, бесконтактная) и продувка сжатым воздухом.

Рассмотрим применение потока сжатого воздуха для очистки поверхностей силовых агрегатов и рабочих органов транспортно-технологических машин.

Для оценки воздействия струи сжатого воздуха на поверхности силового агрегата и рабочих органов транспортно-технологических машин необходимо иметь представление о характеристиках растекания свободных затопленных осесимметричных струй (рисунок -1).

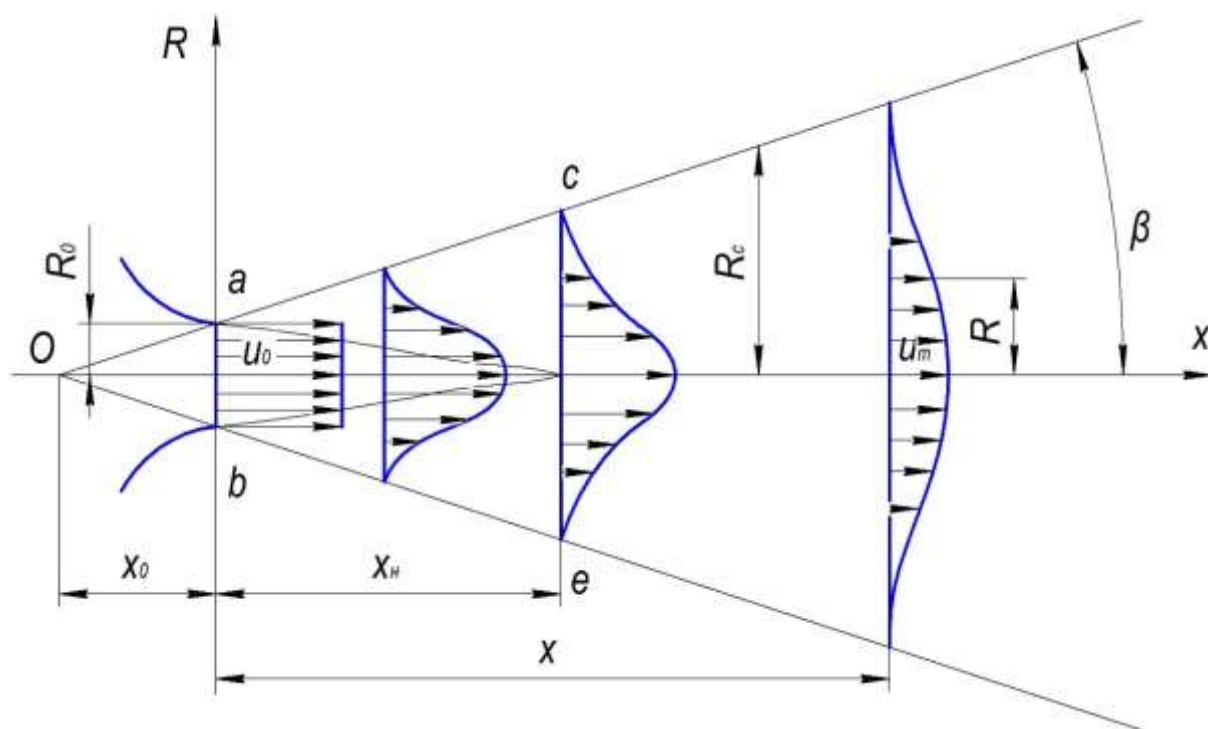


Рисунок 1 - Схема свободной турбулентной струи сжатого воздуха с равномерным начальным распределением скоростей

O – полюс струи; R_0 – радиус сопла; a, b – начальное сечение струи; c, e – переходное сечение струи; x_0 – полюсное расстояние струи; x_n – длина начального участка струи; u_0 – скорость истечения струи из сопла; u_m – скорость на оси струи на расстоянии x от начального сечения; u – скорость на расстоянии R от оси струи и x от начального сечения; R_c – радиус границы струи на расстоянии x от начального сечения; β – половина угла расширения струи

Опытами доказано, что течение струи сжатого воздуха с равномерным начальным профилем скорости остается ламинарным до числа $Re_0 = 103$. При числе Re_0 выше вышеуказанного течение струи становится полностью турбулентным. Критическое число Рейнольдса Re_0 ($Re < Re_0$) определится из уравнения: [1]

$$Re_0 = u_0 \cdot D_0 / \nu, \quad (1)$$

где u_0 – начальная скорость струи, м/с; $D_0 = 2R_0$ – диаметр сопла, м; ν – кинематическая вязкость воздуха, кг/м·с.

Известно, что существует универсальная для всех сечений основного участка функция, [1]

$$u/u_m = f(R/R_c). \quad (2)$$

Замеры давления в струе показывают, что статическое давление в ней одинаково и равно статическому давлению окружающего воздуха. Поэтому полное количество движения I секундной массы во всех сечениях струи одинаково, т.е.

$$I = \int_0^M u \cdot dM = const \quad (3)$$

где M – масса, протекающая в единицу времени сквозь элемент поперечного сечения струи.

Определенность функции f , а также условие (2.3) позволяют рассчитать все параметры сжатой струи воздуха, если экспериментально установлена для неё одна константа, например, тангенс половины угла расширения струи β . Для струи воздуха установлено - $\beta = 14^\circ$, чему соответствует $tg\beta = 0,25$.

На параметры сопла для продувки силового агрегата и рабочих органов транспортно-технологических машин оказывает влияние максимальное расстояние, на котором струя в состоянии разрушить слой материала (пыли, грязи и пр.). Для того чтобы струя сжатого воздуха внедрилась в материал загрязненной поверхности, требуется значительное силовое воздействие этой струи. Степень силового воздействия пропорциональна импульсу силы в заданном сечении струи, отнесенному к площади этого сечения. На некотором расстоянии от сопла из-за увеличения радиуса границы струи R_c и площади

сечения струи силовое воздействие ее становится недостаточным для удаления загрязненного материала. Это расстояние (обозначим через S_0) принято называть глубиной фронта разрушения. Радиус сечения струи на расстоянии S_0 от сопла и, отнесенный к площади сечения, обозначим соответственно R_s и i_s .

В связи с тем, что количество движения в струе сжатого воздуха постоянно, получим:

$$i_s = \frac{\rho \cdot R^2 \cdot u^2}{R_s^2} \quad (4)$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м³.

Радиус сечения струи сжатого воздуха R_s на расстоянии от сопла S_0 , м, рассчитывается из уравнения:

$$R_s = s_0 \cdot \tau + R_0 \quad (5)$$

где $\tau = \operatorname{tg} \beta$

Значение S_0 , м, можно определить по формуле

$$S_0 = \frac{u_0 \cdot R_0}{\tau \cdot \sqrt{\frac{\rho}{i_s} \frac{R_0}{t}}} \quad (6)$$

Начальная скорость струи воздуха зависит от формы насадка, давления перед и за ним, вязкости и плотности воздуха. Начальную скорость струи воздуха на выходе из сопла u_0 , м/с, можно определить по формуле

$$u_0 = \varphi \cdot \sqrt{2 \cdot (p_0 - p_{\text{ср}}) / \rho} \quad (7)$$

где φ – коэффициент скорости; p_0 , $p_{\text{ср}}$ – соответственно, давление перед соплом, давление среды, куда истекает струя (в нашем случае $p_{\text{ср}} = p_{\text{атм}}$, Па).

Для расчета падения осевой скорости u_m , м/с, струи можно использовать формулу, предлагаемую Абрамовичем Г.Н. [1]

$$u_m = \frac{0.96 \cdot u_0}{0.29 + \alpha \cdot s_0 \cdot R_0^{-1}} \quad (8)$$

где α – коэффициент структуры потока.

Коэффициент α растет с увеличением неравномерности начального профиля скорости, но не зависит от числа Рейнольдса в очень широком диапазоне $Re_0 = (0,2 - 40,0) \cdot 10^5$. Коэффициент α характеризует степень

турбулентности струи. По данным различных авторов, для воздуха $\alpha = 0,06 \dots 0,1$.

Динамическое давление на оси потока сжатого воздуха p_m , Па, можно определить по формуле

$$p_m = \frac{\rho \cdot u_m^2}{2} \quad (9)$$

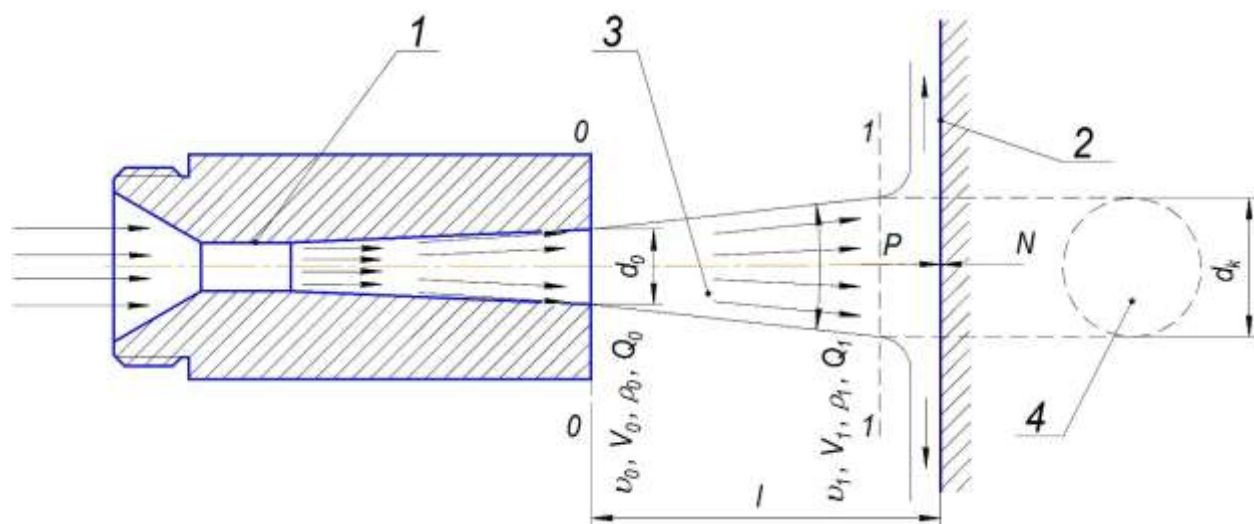
Расход воздуха проходящего через сопло Q_0 , м³/с, можно определить по зависимости:

$$Q_0 = \mu \cdot F_0 \cdot \sqrt{\frac{2(p_0 - p_{cp})}{\rho}}, \quad (10)$$

где μ – коэффициент расхода; F_0 – площадь поперечного сечения выходного отверстия сопла, м².

Значения коэффициента μ зависит от вязкости воздуха, начального давления, от профиля и от качества обработки внутренней поверхности сопла.

Сопла применяемые в различных отраслях классифицируют на цилиндрические, конические и коноидальные. Наиболее эффективными являются коноидальные сопла ($\mu=0,97-0,99$), при из применении струя сжатого воздуха обладает максимальной кинетической энергией. Не смотря на это, они нашли меньшее применение, в связи со сложностью конструктивного исполнения, потому чаще применяются простые в изготовлении конические сопла, имеющие эффективные показатели работы при угле конусности 13–15° ($\mu=0,94$). В цилиндрических соплах параметр $\mu = 0,82$.



1 – сопло; 2 – очищаемая поверхность; 3 – сжатый воздух; l – расстояние от сопла до поверхности; 4 – пятно контакта потока сжатого воздуха с поверхностью.

α – угол зоны потока сжатого воздуха, P – давление, N – реакция поверхности, v_0 – начальная скорость потока, v_1 – скорость потока при контакте сжатого воздуха с поверхностью, V_0 , V_1 – начальный и объём сжатого воздуха при контакте, ρ – плотность сжатого воздуха, Q – массовый расход воздуха

Рисунок 2 – Схема для определения площади контакта сжатого воздуха с поверхностью

На качественные показатели очистки поверхностей сжатым воздухом влияют расстояние от сопла до поверхности, давление воздуха и угол, зависящий от конструктивного исполнения сопла. (рисунок 2)

С целью выявления взаимосвязей описанных выше параметров рассмотрим характер изменения диаметра пятна контакта от расстояния до поверхности l и угла α .

Рассмотрим схему представленную на рисунке 2.

Сопло в процессе работы формирует факел в виде усеченного конуса с диаметрами оснований d_0 и d_k .

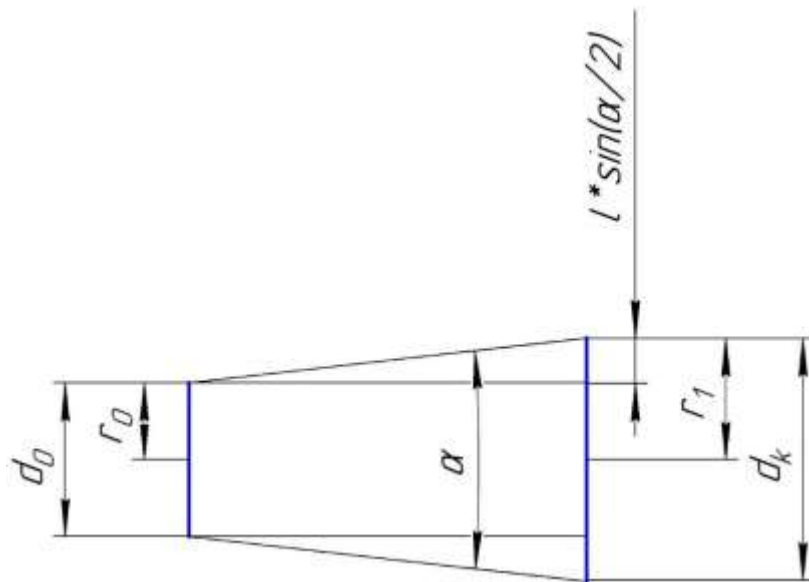


Рисунок 3 – Схема к определению диаметра пятна контакта

Для определения изменения диаметра пятна контакта воспользуемся простейшими математическими формулами [2].

Свяжем радиус r_1 с радиусом r_0 зависимостью:

$$r_1 = r_0 + l \sin \alpha / 2 \quad (11)$$

Так как диаметр пятна контакта равен двум радиусам r_1 , то будет справедливо уравнение:

$$d_k = 2r_1 = 2(r_0 + l \sin \alpha / 2) \quad (12)$$

Тогда по известной формуле определим площадь:

$$S = \frac{\pi d_k^2}{4} = \pi (r_0 + l \sin \alpha / 2)^2 \quad (13)$$

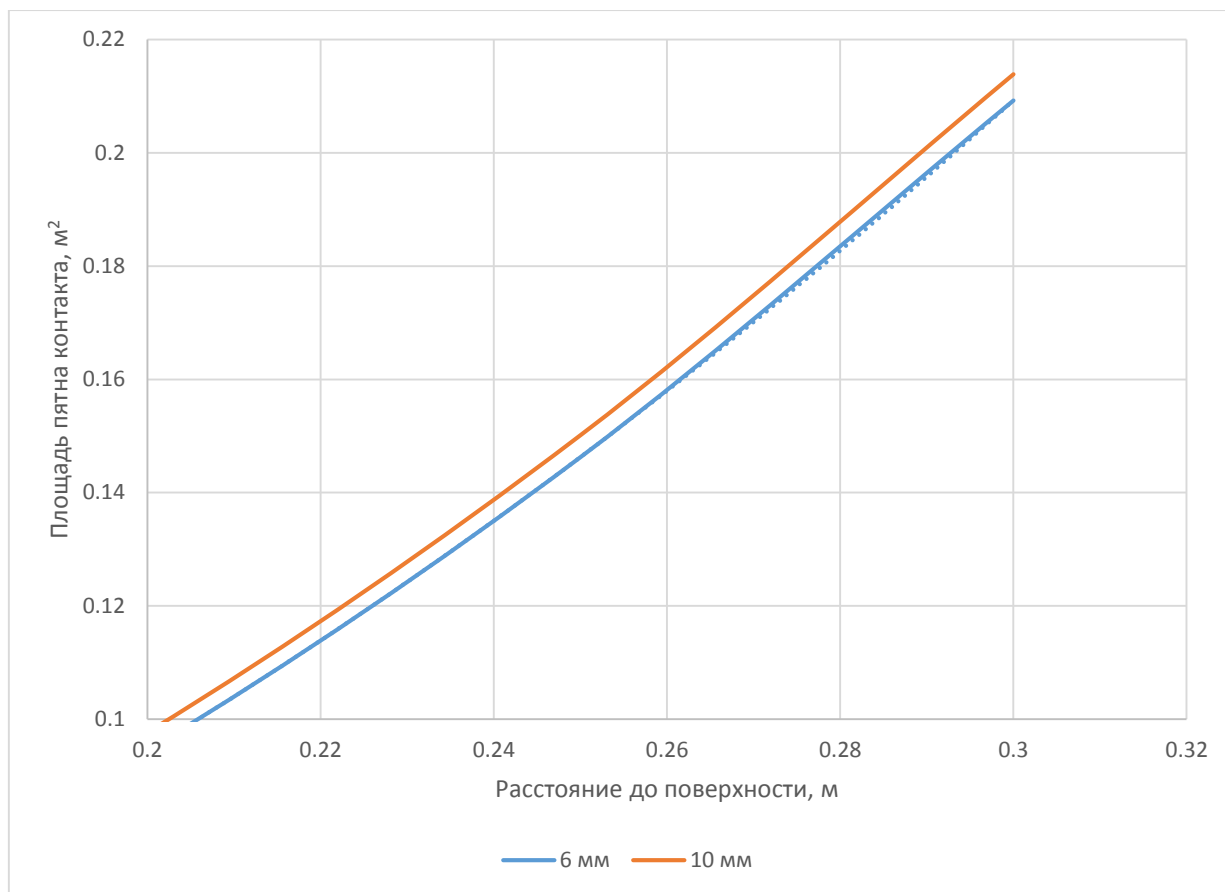


Рисунок 3 – График зависимости изменения пятна контакта потока сжатого воздуха от расстояния, при использовании конических сопел с диаметром 0,6 и 1,0 см, и углом раствора 5°

Установлено, что на форму пятна контакта сжатого воздуха с поверхностью влияют расстояние от сопла до поверхности и конструктивное исполнение сопла. Выведено уравнение для определения диаметра пятна контакта сжатого воздуха с поверхностью при использовании сопла, с круглым профилем. Рассмотрена расчетная схема свободной турбулентной струи сжатого воздуха с равномерным начальным распределением скоростей и определены кинематические зависимости. Построены графики изменения пятна контакта в зависимости от диаметра сопел с диаметрами 6 и 10 мм, расстояния до поверхности и угла α .

Список литературы:

1. Бобков А.А., Дьячков С.В., Соловьёв С.В. Наука и Образование. 2020. Т. 3. № 2. С. 185.

2. Шиманова А. А. Теоретическое обоснование работы всасывающего заборного устройства пневмотранспортной установки // Фундаментальные исследования. 2012. № 11-2. С. 466-471. – EDN PKWLZV.

UDC 621.54

**THEORETICAL SUBSTANTIATION OF APPLICATION OF THE
DEVICE FOR CLEANING POWER UNITS AND WORKING BODIES OF
TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MACHINES**

Vladimir A. Kochetov

Master student vova30483@rambler.ru

Sergey V. Dyachkov

candidate of technical sciences, associate professor

dsv13.06@mail.ru

Sergey V. Solovyov

doctor of agricultural sciences, professor

sergsol6800@yandex.ru

Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

Annotation. The article presents theoretical studies of the characteristics of compressed air jets: dependencies are determined to determine the area of contact of compressed air with the surface, the dynamic pressure on the axis of the compressed air flow and the flow rate of air passing through the nozzle. Graphs of the dependence of the change in the contact patch of the compressed air flow on the distance are plotted, using conical nozzles with a diameter of 0.6 and 1.0 cm, and an opening angle of 5°.

Key words: compressed air, jet cross section, nozzle, contact patch.

Статья поступила в редакцию 10.05.2023; одобрена после рецензирования 15.06.2022; принята к публикации 30.06.2023.

The article was submitted 10.05.2023; approved after reviewing 15.06.2022; accepted for publication 30.06.2023.

