

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСЛОВИЙ РЕАЛИЗАЦИИ КОАНДОВСКИХ ТЕЧЕНИЙ

seminenko.as@bstu.ru

Эффект Коанда приобрел широкое использование в вентиляции, энергетике, авиации. Данная работа посвящена экспериментальным установкам для определения условий реализации двумерных и трехмерных, плоских и осесимметричных коандовских течений. Приведены основные предпосылки и результаты исследований как зарубежных (Newman B.G., Carpenter P.W., Bradshaw P., Patankar U.M. и др.), так и отечественных (Соколовой И.Н., Жулева Ю.Г., Квашина И.М. и др.) исследователей. С учетом которых разработан лабораторный стенд для проверки работоспособности устройства для снижения пылеобразования при загрузке сыпучих материалов. Определены функция отклика и факторы, влияющие на реализацию эффекта Коанда при формировании веерной струи в приближенных технологических условиях пневмотранспортной загрузки бункеров порошкообразными материалами, для составления плана многофакторного эксперимента. Приведены результаты поискового эксперимента, подтверждающие работоспособность предлагаемого устройства и необходимость дальнейших исследований конструктивно-режимных характеристик.

Ключевые слова: коандовское течение, эффект Коанда, вентиляция, аэродинамика.

Введение. Согласно сложившейся научной терминологии под термином «эффект Коанда» подразумевают несколько различных аэрогидродинамических явлений [1], названных по имени румынского изобретателя, который нашел им практическое применение, разработав несколько устройств [2–6], использующих один или несколько из этих свойств потока:

1. Тенденция струи жидкости, приближающейся к криволинейной поверхности, оставаться прикрепленной к ней – эффект пограничного слоя, который характеризует широкий спектр природных явлений;

2. Способность струи жидкости присоединяться к близлежащей поверхности;

3. Свойство струйных потоков (наиболее часто используется в аэродинамике) движущихся у выпуклых криволинейных поверхностей, эжектировать окружающую среду с созданием, так называемых синтетических струй, изменяя при этом направление движения.

Этот феномен обычно связывают с именем Н. Coanda, так как именно он использовал аспекты этого явления в многочисленных изобретениях, первое из которых [2] имеет в качестве даты приоритета – 1911 г. Однако еще раньше, в 1870 году О. Reynolds описал устойчивое равновесие шара, находящегося на вершине вертикальной осесимметричной струи воды, и выявил, что «устойчивость связана с тенденцией струи оставаться присоединенной к шару. Когда шар значительно отклоняется от центра струи, низкое давление на поверхности вызывает искривление потока, порождающего силу, которая стремится

вернуть шар в его устойчивое состояние» [7]

Методология. Несмотря на широкое распространение эффекта Коанда в различных областях науки и техники аэрогидродинамический эффект недостаточно хорошо изучен. Поэтому основным методом подтверждения условий реализации эффекта Коанда является физический эксперимент.

Основная часть. Одними из фундаментальных научных трудов, посвященных эффекту Коанда являются работы Newman [8–9]. В которых приведены результаты исследования двумерного турбулентного течения вокруг кругового цилиндра (см. рисунок 1.). Согласно его теории, основанной на пространственном анализе, принципе моментов и существующей теории для присоединенных струй поток рассматривается как несжимаемый, а окружающая среда – в состоянии покоя.

В статье Newman показано, что эффект прилипания Коанда является прямым следствием баланса сил, действующих на поток. При движении по криволинейной поверхности они представляют собой центробежную силу и радиальное давление [8, 10]. При выходе струи из сопла, из-за наличия вязкого сопротивления потока и твердой стенки, его контактное давление с поверхностью ниже, чем давление окружающей среды. Этот перепад давления является основной причиной сцепления потока и криволинейной поверхности. Контактное давление вдоль поверхности увеличивается и постепенно достигает значения атмосферного, что обуславливает отрыв струи от поверхности.

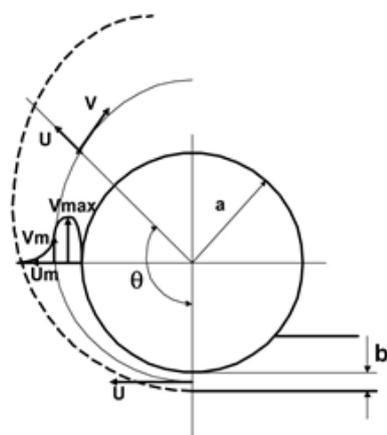


Рис. 1. Схема экспериментальной установки Newman

Bradshaw [11] объясняет эффект Коанда в условиях безвихревого невязкого потока. Предполагая, что поток изначально невязок, формула, описывающая поведение давления потока, выводится из уравнения Бернулли:

$$p_0 = p_\infty - \frac{\rho \cdot U^2 \cdot b}{a} \quad (1)$$

где ρ – плотность потока, U – скорость, b – ширина щели сопла, a – радиус кривизны поверхности (см. рис.1).

Давление невязкого потока ниже, чем давление окружающей среды до тех пор, пока соблюдается неравенство:

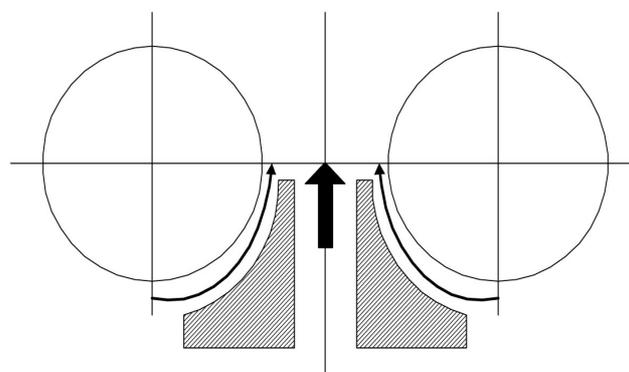
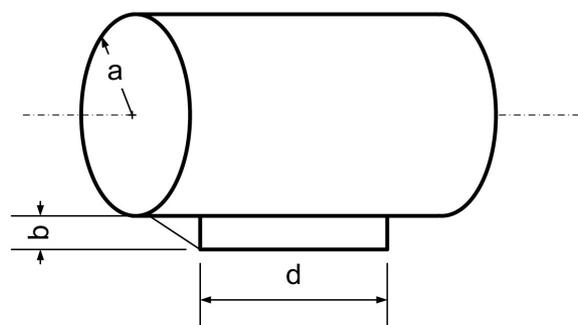


Рис. 2. Схемы экспериментальных установок:

а) применяемой в исследованиях Patankar; б) применяемой в исследованиях Juvet

Большинство работ, были посвящены двумерным течениям, первые эксперименты с коандовским течением в трех измерениях были проведены Patankar и Sridhar [12], которые исследовали трехмерные эффекты турбулентных, несжимаемых, искривленных пристеночных струй. Экспериментальная установка была аналогична установке, представленной на рисунке 1, однако введена координата z для ограничения размера струи (рис. 2а). Patankar и Sridhar изменяя пропорции сопла (15.6, 10.0, 5.0, 2.5 и 1.0), сохраняли площадь сопла и начальную скорость постоянной. Коэффициент сжатия был определен Patankar как длина d к ши-

$$\frac{\rho \cdot U^2 \cdot b}{a} < p_\infty. \quad (2)$$

Выражение (2) используется для первоначального подхода. В реальных вязких течениях прилипание струи жидкости с криволинейной поверхностью вызывает увеличение толщины струи, движущейся вдоль поверхности с уменьшением средней скорости из-за неблагоприятного градиента давления. Средняя скорость уменьшается, а поверхностное давление вдоль стенки увеличивается и в конечном итоге равно атмосферному. Когда $p_s = p_\infty$, поток отделяется от изогнутой поверхности [11]. Следовательно, невязкие течения могут присоединяться в соответствии с балансом центробежных сил, но вязкие эффекты являются причиной отделения струи от криволинейной стенки.

Условия, характеризующие возникновение эффекта Коанда можно описать несколькими основными физическими параметрами. Рассмотрим любое двумерное коандовское течение, например, показанное на рис. 1. Тогда в качестве основные геометрических параметров необходимо выделить: угол отрыва θ ; ширину сопла b ; радиус кривизны a . Другие физические параметры: число Рейнольдса Re , перепад давления $p_s - p_\infty$, (где p_s – давление на срезе сопла).

При проведении эксперимента радиус кривизны a изменялся. Одно из главных сделанных наблюдений заключалось в том, что при использовании прямоугольного потока угол отрыва был значительно сокращен, по сравнению с двумерным вариантом. Как соотношение сторон, так и радиус продемонстрировали большое влияние на значение угла отрыва. Наиболее влияющим параметром является соотношение сторон. Установлено, что угол разделения увеличивается как с соотношением сторон, так и с радиусом кривизны.

Juvet [13] провел исследование на осесимметричной струе, формируемой окружным соплом, при этом первичный поток, выходящий из сопла

большого диаметра D с центром в торе, а вторичный поток, выходящий по окружности, касательной к криволинейной поверхности ($D \gg b$, см. рисунок 2б). Juvet проводил эксперимент с постоянными соотношением $b/a = 0.031$, коэффициент обдува – отношение объемного расхода вторичного потока к расходу первичного потока изменялся от 0 до 0.15, что соответствует значениям коэффициента импульса между 0.0 и 0.33. Соответственно при нулевом расходе вторичного потока коандовского течения не наблюдалось, при увеличении расхода налипание струи происходило более интенсивно.

В качестве отечественных исследователей эффекта Коанда следует отметить коллектив ученых ЦАГИ: Соколовой И.Н., в работе [14] установлены зависимости отрыва потока при различных начальных давлениях, толщинах струй и зазорах между

соплом и цилиндрической поверхностью, обнаружены гистерезисные явления в поведении коандовских течений. В работе [15] исследована возможность использования эффекта для уменьшения воздействия струи на преграду, приведены исследования поведения коандовских течений при экстремальных условиях: сверхзвуковых скоростях [16], при нагревании до $600\text{ }^\circ\text{C}$ [17], отмечено, что и горячие коандовские струи обладают определенной автономностью. Ганич Г.А., Гущина Н.А., Жулев Ю.Г. провели серию экспериментов для изучения зависимости степени проявления прямоугольных коандовских течений от геометрических параметров сопла и от угла выдува струи к плоской поверхности (рис. 3а). [18] Интенсификацией эффекта Коанда для струй из осесимметричных сопел путем создания продольных вихрей занимались Жулев Ю.Г., Макаров В.А., Наливайко А.Г. [19–20].

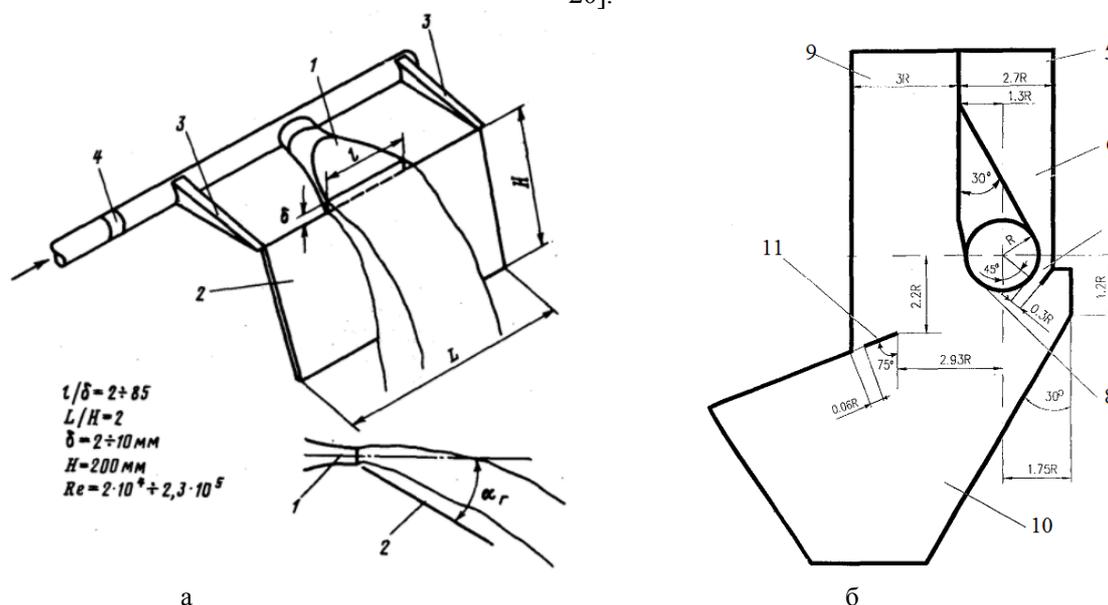


Рис. 3. Схемы экспериментальных установок: а) в исследованиях Ганич Г.А., Гущиной Н.А., Жулева Ю.Г.; б) в исследованиях Квашнина И. М., Зубаревой О. Н., Юнкерова Ю. И.: 1 – сменное сопло, 2 – пластина, 3 – кронштейны, 4 – тензочувствительные датчики, 5 – приток запыленного потока, 6 – сопловое устройство, 7 – шибер, 8 – цилиндр, 9 – отвод очищенного воздуха, 10 – бункер, 11 – поворотный щиток

Квашнин И.М., Зубарева О.Н. и Юнкеров Ю.И. [21] исследовали реализацию эффекта Коанда в струйно-инерционном пылеуловителе, представленном на рис. 3б. опыты показали, что конструкция сопла не влияет на течение Коанда, но заметно изменяет величину коэффициента пылеулавливания, т.к. от нее зависит распределение концентрации пыли по толщине струи на срезе сопла.

Коллективом кафедры ТГВ БГТУ им. В.Г. Шухова предложено несколько конструкций устройств [22–24], в аэродинамическую схему которых включен эффект Коанда, предназначенных для использования в системах пылеочистки.

Устройство для снижения пылеобразования при загрузке сыпучих материалов (рис. 5) состоит из трубопровода 1 пневмотранспорта с соплом 2, образованным тором 3 жестко закрепленном на трубопроводе 1 с помощью стержня 5, зафиксированного контргайкой 6, и расположенного на одной с тором 3 вертикальной оси конусом 4, обращенным вершиной вверх. Данное устройство предлагается к установке в узле пневмотранспортной загрузки бункеров пылящими материалами [25]. Поскольку интенсивность пылеобразования зависит от скорости и расхода соударяющегося потока с преградой, но основным назначением устройства является отклоне-

ние потока воздуха от первоначальной траектории (согласно эффекту Коанда), что обеспечивает снижение пылеобразования при контакте

загружаемого материала с уже лежащим в бункере.

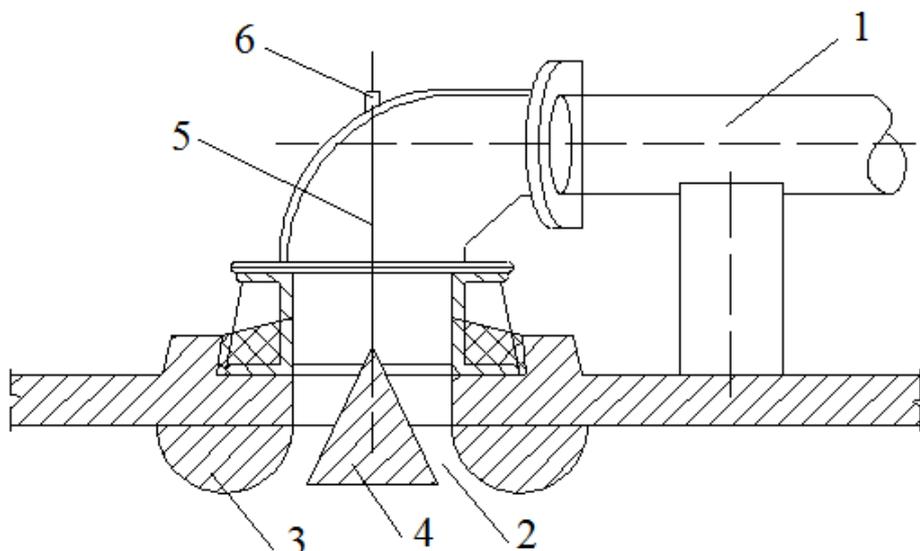


Рис. 4. Устройство для снижения пылеобразования при загрузке сыпучих материалов

Таким образом, согласно схемам экспериментальных установок, рассмотренных выше, в качестве основных факторов, влияющих на налипание струи (реализацию эффекта Коанда) при работе устройства для снижения пылеобразования, показанного на рисунке 4, необходимо выделить следующие геометрические характеристики: диаметр (или радиус) тора, ширина щели между конусом и тором, зависящей от взаимного расположения тора и конуса.

Для проверки работоспособности устройства разработана и сконструирована экспериментальная установка (рис. 5), представляет собой воздухораспределитель, состоящий из патрубка с тороидальной поверхностью и конусного разделителя потока, подключенного к вентиляционной сети гибким (гофрированным)

воздуховодом. Исследования предполагается проводить при различных скоростях воздушного потока, используя количественное регулирование воздушными клапанами сети.

Для проверки формирования коандовского течения предполагается измерение скорости потока у на некотором расстоянии от оси воздухораспределителя. Таким образом, на расстоянии $3,5 d$ отсчитывается линия измерения, на которой выбираются 5 точек по высоте для регистрации скорости потока. Фиксирование скорости воздуха в точках измерения использовался термоанемометр Testo 425, зондом с обогреваемой струной.

В таблице 1 приведены результаты натурных замеров поискового эксперимента, проводимого при начальной скорости 5 м/с при различной высоте разделителя потока (конуса).

Таблица 1

Результаты экспериментальных исследований

№ эксперим.	Высота конуса, м	Положение штока, м	Скорость, м/с					
			точки линии измерения					среднее значение по линии измерения
			1	2	3	4	5	
1	60	0,01	4,63	4,54	4,52	3,97	3,27	4,186
2	60	0,04	0,09	0,23	0,61	1,1	0,73	0,552
3	40	0,03	2,53	1,42	1,21	1,04	0,56	1,352
4	40	0,06	0,91	0,69	0,53	0,51	0,42	0,612

Данные из таблицы 1 подтверждают появление коандовского течения при работе предлагаемого устройства, при этом результаты согласуются с данными предыдущих исследований: эффект наблюдается при истечении тонких

струй. Однако, для определения конструктивно-режимных характеристик необходимо проведение многофакторного экспериментального исследования геометрических характеристик на условия реализации коандовских течений.



Рис. 5. Экспериментальная установка: а) общий вид экспериментальной установки; б) измерительный прибор; в) элементы устройства снижения пылеобразования: 1 – подающий патрубок с тороидальной поверхностью; 2 – конусный разделитель потока: а – с высотой 60 мм, б – с высотой 40 мм; 3 – воздухопровод вентиляционной сети; 4 – воздушный регулирующий клапан; 5 – измерительный зонд; 6 – термоанемометр; 7 – штатив; 8 – координатная сетка

Значения скоростей подтверждают работоспособность конструкции.

Выводы. В ходе проведения аналитических исследований были выявлены основные факторы, влияющие на условия реализации двумерных, трехмерных, плоских и осесимметричных коандовских течений. Так для рассматриваемого устройства для снижения пылеобразования при загрузке сыпучих материалов в качестве факторов, влияющих на налипание струи (реализацию

эффекта Коанда), определены геометрические характеристики: диаметр (или радиус) тора, ширина щели между конусом и тором, зависящей от взаимного расположения тора и конуса. Разработана и сконструирована экспериментальная установка для проверки реализации условий для реализации коандовского течения. Приведены результаты поискового эксперимента, подтверждающие работоспособность предлагаемого

устройства и необходимость дальнейших исследований конструктивно-режимных характеристик.

Источник финансирования. РФФИ (код проекта 16-08-00074 а); Программа развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Trancossi M. An Overview of Scientific and Technical Literature on Coanda Effect Applied to Nozzles, SAE Technical Papers 259, 2011.
2. Patent US 1104963 Coanda H. Improvement in Propellers, 1911.
3. Patent US 3261162 Coanda H. Lifting Device Coanda Effect, 1936.
4. Patent US 2796147 Coanda H. Cyclone Separator, 1957.
5. Patent US 2052869 Coanda H. Device for Deflecting a Stream of Elastic Fluid Projected into an Elastic Fluid, 1936.
6. Patent US 2907557 Coanda H. Apparatus for Imparting Rapid Speed to a Mass of Fluid.
7. Reynolds O. On the suspension of a ball by a jet of water // Proc. Manchester Lit. Phil. Soc. 1870. №. 9. Pp. 115–120.
8. Newman B.G. The deflection of jets by adjacent boundaries - Coanda effect // Boundary Layer and Flow Control. Oxford. 1961. Vol. 1. Pp. 232–264.
9. Bourque C., Newman B.G. Reattachment of a two-dimensional incompressible jet to the Adjacent flat plate // Aeronautical Quarterly. 1960. №. 11.
10. Carpenter P.W., Green P.N. The Aeroacoustics and Aerodynamics of High-Speed Coanda Devices, Part 1: Conventional Arrangement of Exit Nozzle and Surface // Journal of Sound and Vibration. 1997. Vol. 208. №. 5. Pp. 777–801.
11. Bradshaw P. Effects of Streamline Curvature on Turbulent Flow, AGARDograph, AGARDograph AG-169, 1990.
12. Patankar U.M., Sridhar K. Three-Dimensional Curved Wall Jets // Journal of Basic Engineering (changed to Journal of Engineering Materials and Technology; and the Journal of Fluids Engineering). 1972. Vol. 94. №. 2. Pp. 339–344.
13. Juvet J.D. Control of High Reynolds Number Round Jets, Department of Mechanical Engineering, Stanford University, Ph.D. Thesis 1993.
14. Соколова И.Н. Экспериментальное исследование пределов реализации течения Коанда // Ученые записки ЦАГИ. 1983. Т. 14. № 4. С. 124–126.
15. Соколова И.Н. Использование эффекта Коанда для уменьшения воздействия струи на преграду // Ученые записки ЦАГИ. 1985. Т. 16. № 3. С. 118–121.
16. Соколова И.Н. Исследование сверхзвукового течения Коанда // Ученые записки ЦАГИ. 1985. Т. 16. № 2. С. 108–111.
17. Соколова И.Н. Горячие струи Коанда // Ученые записки ЦАГИ. 1990. Т. 21. № 4. С. 100–103.
18. Ганич Г.А., Гущина Н.И., Жулев Ю.Г. Эффект Коанда при выдуве струй из прямоугольных сопел под углом к плоской поверхности // Ученые записки ЦАГИ. 1994. Т. 25. № 3-4. С. 121–125.
19. Жулев Ю.Г., Макаров В.А., Наливайко А.Г. Интенсификация эффекта Коанда с помощью создаваемых в струе продольных вихрей // Ученые записки ЦАГИ. 1997. Т. 28. №1. С. 139–143.
20. Жулев Ю.Г., Макаров В.А., Наливайко А.Г. Интенсификация эффекта Коанда с помощью вводимых в струю продольных вихрей // Ученые записки ЦАГИ. 1996. Т. 27. № 1–2. С. 100–104.
21. Квашнин И.М., Зубарева О.Н., Юнкеров Ю.И. Анализ закономерностей распространения осесимметричной газовой струи вдоль криволинейной поверхности // Известия ВУЗов Строительство. 1998. № 4–5. С. 93–99.
22. Патент РФ 142259 Семенов А.С., Логачев И.Н., Логачев К.И., Аверкова О.А., Алифанова А.И., Попов Е.Н., Киреев В.М., Гольцов А.Б. Аспирационное укрытие мест перегрузки сыпучего материала // Патент на полезную модель, Заявка: 2014105607/03, 14.02.2014; Опубликовано: 27.06.2014
23. Патент РФ 48318 Логачев И.Н., Овсянников Ю.Г., Семенов А.С., Никитенко Б.Л. Устройство для снижения пылеобразования при загрузке сыпучих материалов: // Патент на полезную модель Заявка: №2005117396/22, 06.06.2005; Опубл. 10.10.2005, Бюл. № 28.
24. Патент РФ 161417 Укрытие с рециркуляцией аспирируемого воздуха Гольцов А.Б., Овсянников Ю.Г., Семенов А.С., Емельянов А.В. // Патент на полезную модель, Заявка: 2015155408/03, 23.12.2015; Опубликовано: 20.04.2016 Бюл. № 11
25. Семенов А.С., Логачев И.Н. Снижение пылеобразования при загрузке бункеров сыпучими материалами // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2006. № 14. С. 251–254.

Информация об авторах

Семенов Артем Сергеевич, старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и вентиляции.

E-mail: seminenko.as@bstu.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в январе 2018 г.

© Семенов А.С., 2018

A.S. Seminenko

EXPERIMENTAL UNITS FOR DETERMINING THE CONDITIONS OF IMPLEMENTING COANDA AIR JETS

The Coanda effect has become widely used in ventilation, power engineering and aviation. This paper is devoted to experimental installations for determining the conditions for implementing two-dimensional and three-dimensional, plane and axisymmetric Coanda flows. The main prerequisites and results of the research are presented, including the foreign (Newman B.G., Carpenter P.W., Bradshaw P., Patankar U.M., etc.) and domestic (Sokolova I.N., Zhuleva Yu.G., Kvashnina I.M. et al.) researchers. In view of these, a laboratory bench was designed to test the efficiency of the device for reducing dust formation during the loading of bulk materials. The response function and the factors influencing the implementation of the Coanda effect in the formation of a fan jet in the approximate technological conditions of the pneumatic transport loading of bins with powder materials have been determined, and a plan for a multifactor experiment has been compiled. The results of a searching experiment confirming the operability of the proposed device and the need for further studies of design-mode characteristics are presented.

Keywords: Coanda flow, Coanda effect, ventilation, aerodynamics.

REFERENCES

1. Trancossi M. An Overview of Scientific and Technical Literature on Coanda Effect Applied to Nozzles, SAE Technical Papers 259, 2011.
2. Patent US 1104963 Coanda H. Improvement in Propellers, 1911.
3. Patent US 3261162 Coanda H. Lifting Device Coanda Effect, 1936.
4. Patent US 2796147 Coanda H. Cyclone Separator, 1957.
5. Patent US 2052869 Coanda H. Device for Deflecting a Stream of Elastic Fluid Projected into an Elastic Fluid, 1936.
6. Patent US 2907557 Coanda H. Apparatus for Imparting Rapid Speed to a Mass of Fluid.
7. Reynolds O. On the suspension of a ball by a jet of water // Proc. Manchester Lit. Phil. Soc, 1870, no. 9, pp. 115–120.
8. Newman B.G. The deflection of jets by adjacent boundaries - Coanda effect // Boundary Layer and Flow Control. Oxford, 1961, vol. 1. pp. 232–264.
9. Bourque C., Newman B.G. Reattachment of a two-dimensional incompressible jet to the Adjacent flat plate // Aeronautical Quarterly, 1960, no. 11.
10. Carpenter P.W., Green P.N. The Aeroacoustics and Aerodynamics of High-Speed Coanda Devices, Part 1: Conventional Arrangement of Exit Nozzle and Surface // Journal of Sound and Vibration, 1997, vol. 208, no. 5, pp. 777–801.
11. Bradshaw P. Effects of Streamline Curvature on Turbulent Flow, AGARDograph, AGARDograph AG-169, 1990.
12. Patankar U.M., Sridhar K. Three-Dimensional Curved Wall Jets // Journal of Basic Engineering (changed to Journal of Engineering Materials and Technology; and the Journal of Fluids Engineering), 1972, vol. 94, no. 2, pp. 339–344.
13. Juvet J.D. Control of High Reynolds Number Round Jets, Department of Mechanical Engineering, Stanford University, Ph.D. Thesis 1993.
14. Sokolova I.N. E'ksperimental'noe issledovanie predelov realizatsii techeniia Koanda // Ucheny'e zapiski TCAGI, 1983, vol. 14, no. 4, pp. 124–126.
15. Sokolova I.N. Ispol'zovanie e'ffekta Koanda dlia umen'sheniia vozdeistviia strui na pregradu // Ucheny'e zapiski TCAGI, 1985, vol. 16, no. 3, pp. 118–121.
16. Sokolova I.N. Issledovanie sverkhzvukovogo techeniia Koanda // Ucheny'e zapiski TCAGI, 1985, vol. 16, no. 2, pp. 108–111.
17. Sokolova I.N. Goriachie strui Koanda // Ucheny'e zapiski TCAGI, 1990, vol. 21, no. 4, pp. 100–103.
18. Ganich G.A., Gushchina N.I., Zhulev Iu.G. E'ffekt Koanda pri vy'duve strui' iz priamougol'ny'kh sopl pod uglom k ploskoi' poverkhnosti // Ucheny'e zapiski TCAGI, 1994, vol. 25, no. 3-4, pp. 121–125.
19. Zhulev Iu.G., Makarov V.A., Nalivai'ko A.G. Intensifikatsiia e'ffekta Koanda s pomoshch'iu

sozdavaemy`kh v strue prodol`ny`kh vikhrei` // Ucheny`e zapiski TCAGI, 1997, vol. 28, no. 1, pp. 139–143.

20. Zhulev Iu.G., Makarov V.A., Nalivai`ko A.G. Intensifikatsiia e`ffekta Koanda s pomoshch`iu vvodimy`kh v struiu prodol`ny`kh vikhrei` // Ucheny`e zapiski TCAGI, 1996, vol. 27, no. 1-2, pp. 100–104.

21. Kvashnin I.M., Zubareva O.N., Iunkerov Iu.I. Analiz zakonomernosti` rasprostraneniia osesimmetrichnoi` gazovoi` strui vdol` krivolinei`noi` poverkhnosti // Izvestiia VUZov Stroitel`stvo, 1998, no. 4-5, pp. 93–99.

22. Patent RU 142259 Seminenko A.S., Logachev I.N., Logachev K.I., Averkova O.A., Alifanova A.I., Popov E.N., Kireev V.M., Gol`tcov A.B. Aspiratsionnoe ukry`tie mest peregruzki sy`puchego materiala // Patent na poleznuiu model`, Zaiavka:

2014105607/03, 14.02.2014; Opublikovano: 27.06.2014

23. Patent RU 48318 Logachev I.N., Ovsiannikov Iu.G., Seminenko A.S., Nikitenko B.L. Ustroistvo dlia snizheniia py`leobrazovaniia pri zagruzke sy`puchikh materialov: // Patent na poleznuiu model` Zaiavka: №2005117396/22,06.06.2005; Opubl. 10.10.2005, Biul. № 28.

24. Patent RU 161417 Ukry`tie s retsirkuliatciei` aspiriruemogo vozduha Gol`tcov A.B., Ovsiannikov Iu.G., Seminenko A.S., Emel`ianov A.V. // Patent na poleznuiu model`, Zaiavka: 2015155408/03, 23.12.2015; Opublikovano: 20.04.2016 Biul. № 11

25. Seminenko A.S., Logachev I.N. Snizhenie py`leobrazovaniia pri zagruzke bunkerov sy`puchimi materialami // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2006, no. 14, pp. 251–254.

Information about the author

Artem S. Seminenko, Senior lecturer.

E-mail: seminenko.as@bstu.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in January 2018