

УДК 631.362.3

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ПО РЕГУЛИРОВАНИЮ СКОРОСТИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА В ПНЕВМОСЕПАРИРУЮЩЕМ КАНАЛЕ ДРОССЕЛЬНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

Сайтов В.Е., Суворов А.Н.

ФГБНУ «НИИСХ Северо-Востока», Киров, e-mail: vicsait-valita@e-kirov.ru

Качество очистки зернового материала от примесей в пневматических сепараторах зерна существенно зависит от точности установки скоростного режима в пневмосепарирующем канале (ПСК). Для регулирования скорости воздушного потока используются различные способы, но наиболее распространенным является регулирование скорости воздушного потока с помощью поворотных заслонок, как наиболее простых в изготовлении и управлении. Ранее получен метод теоретического построения расходной характеристики поворотной заслонки с учетом типа и параметров генератора воздушного потока, а также конструктивных особенностей пневматического сепаратора и регулятора расхода воздуха. В данной работе проводится сравнение теоретических расходных характеристик глухой и перфорированной поворотных заслонок и расходных характеристик указанных устройств, полученных экспериментально. Сравнение проводится по попаданию теоретических результатов в поле допуска экспериментальных данных (поле допуска выбрано в пределах $\pm 10\%$ от полученных результатов) и по методу проверки статистической гипотезы о принадлежности двух выборок одной генеральной совокупности по критерию знаков. Для проверки по попаданию теоретических результатов в поле допуска строился коридор погрешностей экспериментальных данных. Для проверки гипотезы о принадлежности выборок одной генеральной совокупности рассматриваются разности экспериментальных и теоретических значений и подсчитывается число положительных результатов. Затем по таблице находится критическое значение, соответствующее заданному уровню значимости и полученному числу положительных разностей. Критическое значение сравнивается с заданным объемом выборки и делается вывод о принятии или отклонении гипотезы. Проверка показывает, что теоретическая расходная характеристика достаточно хорошо согласуется с экспериментально полученными данными. Значит метод теоретического получения расходной характеристики поворотной заслонки имеет смысл применять при совершенствовании существующих и разработке новых пневмосепарирующих устройств для зерноочистительных машин.

Ключевые слова: воздушный поток, регулятор расхода воздуха, пневматический сепаратор, зерноочистительная машина, расходная характеристика заслонки, пневмосепарирующий канал

COMPARISON OF THE RESULTS OF THEORETICAL STUDIES WITH EXPERIMENTAL REGULATORY AIRFLOW FLOW THROTTLING THE AIR PASSAGE DEVICES

Saitov V.E., Suvorov A.N.

Agricultural Research Institute of the North-East, Kirov, e-mail: vicsait-valita@e-kirov.ru

The quality of cleaning grain material from impurities in the air separators grain essentially depends on the accuracy of the installation of speed limits in the air duct (UCS). To regulate the air flow rate of different ways, but the most common is to regulate the airflow by means of rotary valves, as the most simple to manufacture and operate. Obtained by the method of theoretical construction of the rotary valve flow characteristics according to the type and parameters of the generator air flow, and their design features a pneumatic separator and damper. In this paper compares the theoretical flow rate characteristics of deaf and perforated rotary valves and flow characteristics of these devices obtained experimentally. Comparison was based on the theoretical results in penetration of the tolerance of experimental data (selected in the tolerance range of $\pm 10\%$ of the results obtained) and by the method of statistical hypothesis testing of two samples supplies the same general population criterion signs. To check for the ingress of the theoretical results in the field of tolerance built the experimental error data. To test the hypothesis accessories samples the same general population difference considered experimental and theoretical values are calculated and the number of positive results. Then the table is the critical value corresponding to the specified level of significance and the resulting number of positive differences. The critical value is compared with a predetermined volume of sample and concluded to accept or reject the hypothesis. Verification shows that the theoretical description of the expenditure is in good agreement with the experimental data. So the theoretical methodology receiving the rotary valve flow characteristics should be applied in improving existing and developing new pnevмосепарирyuschih devices.

Keywords: air flow, air flow control, pneumatic separator, grain cleaning machine, metering characteristic damper, air channel for separation of grain

Качество очистки зернового материала в пневматическом сепараторе во многом зависит от точности установки скорости v_g воздушного потока в пневмосепарирующем канале (ПСК) [4, 5, 9, 12].

В основном для регулирования скорости v_g воздушного потока в ПСК зерно- и семяо-

чистительных машин применяют глухие поворотные заслонки, вследствие простоты конструкции и изготовления [3, 6, 7, 8, 10, 14].

Расходная характеристика такого регулятора расхода воздуха зависит от особенности работы генератора воздушного потока и сопротивления пневмосистемы зерноочи-

стительной машины. С учетом типа и параметров вентилятора, конструкции пневмосистемы и конструктивных особенностей заслонки получена физико-математическая модель работы регулятора расхода воздуха в пневмосистеме зерноочистительной машины [11, 13].

Разработанный метод расчета расходной характеристики регулятора расхода воздуха дает возможность построения простых устройств автоматического регулирования скорости v_g воздушного потока с помощью дроссельных устройств в пневмосистемах зерноочистительных машин. При этом для оценки соответствия результатов теоретических исследований по регулированию скорости воздушного потока в ПСК зерноочистительной машины дроссельными устройствами требуется сравнительный анализ с экспериментальными данными.

Цель исследования

Целью исследований является проверка соответствия результатов теоретических исследований по разработке метода расчета расходной характеристики регулятора расхода воздуха с экспериментальными данными регулирования скорости воздушного потока в ПСК зерноочистительной машины.

Материалы и методы исследования

Для сравнительного анализа расчетных и опытных данных изменения относительного расхода μ_g воздуха в ПСК зерноочистительной машины, приведенных в работе [15], выбраны поворотные двухплечие глухая и перфорированная заслонки с углом поворота $\alpha = 80^\circ$, соответствующим полному перекрытию проходного сечения воздухоподводящего канала. Ширина l каждого прямоугольного отверстия перфорированных пластин заслонки имела значение 0,028 м, а ее максимальный коэффициент $\mu_{\text{зmax}}$ живого сечения составлял 0,36. Проверку гипотезы о соответствии результатов теоретических исследований с экспериментальными данными осуществляли с принятием области поля допуска различия экспериментальных данных в пределах $\pm 10\%$ и по методу проверки статистической гипотезы о принадлежности двух выборок одной генеральной совокупности по критерию знаков. При соответствии расчетных значений в области допуска различия экспериментальных данных и гипотезы по критерию знаков разработанный метод расчета расходной характеристики регуляторов расхода воздуха в пневмосистемах зерноочистительных машин принимается.

Результаты исследования и их обсуждение

Расходные характеристики изучаемых регуляторов расхода воздуха представлены на рис. 1, 2 и 3. На представленных графиках также выделена штриховкой серого цвета область поля допуска различия экспериментальных данных в принятых пределах $\pm 10\%$

согласно методики проверки соответствия результатов теоретических исследований с экспериментальными данными.

Опытные данные зависимости относительного расхода μ_g воздуха глухой двухплечей заслонки от угла α ее поворота в воздухоподводящем канале описываются уравнением (рис. 1)

$$\mu_g = 1,0 - 0,059\alpha - 0,471\alpha^2, \quad R^2 = 0,996; \quad (1)$$

а расчетные значения данного регулятора выражаются следующей зависимостью

$$\mu_g = 1,0 + 0,232\alpha - 1,454\alpha^2 + 0,579\alpha^3, \quad R^2 = 0,998; \quad (2)$$

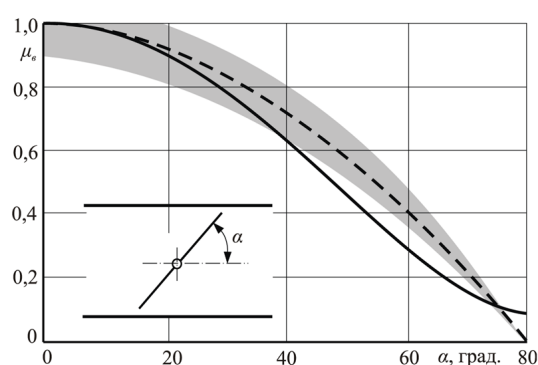


Рис. 1. Зависимости относительного расхода μ_g воздуха глухой двухплечей заслонки от угла α ее поворота в воздухоподводящем канале:

----- — экспериментальные данные;
 ————— — теоретические данные;
 ■■■■■ — область поля допуска различия экспериментальных данных

Анализируя обе полученные зависимости (1) и (2) следует отметить, что при перекрытии воздухоподводящего канала до 40° расчетные значения относительного расхода μ_g воздуха в ПСК находятся в пределах области поля допуска различия экспериментальных данных для глухой поворотной заслонки. Максимальное отклонение теоретических данных от экспериментальных в этом случае составляет 11,94%.

При дальнейшем повороте заслонки теоретические данные находятся за пределами области поля допуска различия опытных данных. В этом случае теоретическая зависимость $\mu_g = f(\alpha)$ находится ниже границы области поля допуска различия экспериментальных данных. Такое расхождение обусловлено тем, что при повороте глухой заслонки в зазоре между ее пластиной и стенкой воздухоподводящего канала возникает инжекционный эффект, а потому показатели функции $\mu_g = f(\alpha)$ экспериментальных данных выше расчетных.

В расчетной расходной характеристике заслонки данное явление не учтено ввиду отсутствия информации в технической литературе. Кроме того, расчетная расходная характеристика $\mu_g = f(\alpha)$ получена для заслонки с углом полного перекрытия воздухоподводящего канала установки $\alpha = 90^\circ$. Это связано также с тем, что в современной технической литературе отсутствуют данные для расчета расходной характеристики глухой поворотной заслонки с другими углами полного перекрытия канала.

В тоже время расчетные значения μ_g от нижней границы области поля допуска различия экспериментальных данных незначительны и при $\alpha = 50, 60, 70$ и 80° составляют 0,10; 0,08; 0,08; и 0,06 соответственно. Поэтому расчетные значения $\mu_g = f(\alpha)$ для глухой поворотной заслонки вполне сопоставимы с полученными экспериментальными данными.

Для проверки гипотезы о том, что уравнения (1) и (2) задают одну и ту же зависимость в статистическом смысле воспользуемся критерием знаков [1]. Вычислим значения μ_g с шагом 5° по формулам (1) и (2), затем найдем разности экспериментальных и теоретических значений ($\mu_{g \text{ экспер.}} - \mu_{g \text{ теорет.}}$), из них количество N разностей не равных нулю составляет 15, а количество положительных разностей $m = 5$. По таблице [2] найдем критическое значение числа испытаний $N_{\text{крит.}}$ соответствующее заданному уровню значимости 0,05 и m : $N_{\text{крит.}}(0,05; 5) = 18$. Вследствие того, что $N_{\text{крит.}} > N$, то гипотеза о совпадении уравнений (1) и (2) принимается.

Расходная характеристика $\mu_g = \varphi(\alpha)$ поворотной двухплечей перфорированной заслонки, представленная на рис. 2, описывается уравнением

$$\mu_g = 1,0 + 0,054 \alpha - 0,097 \alpha^2, R^2 = 0,992, (3)$$

а расчетная расходная характеристика данного регулятора выражается зависимостью

$$\mu_g = 1,0 + 0,067 \alpha - 0,133 \alpha^2, R^2 = 0,997. (4)$$

Из полученных зависимостей (3) и (4) следует, что расчетные значения перфорированной заслонки при перекрытии воздухоподводящего канала установки ($\mu_z = 0,36$) находятся в области поля допуска различия экспериментальных данных. Отклонение теоретических данных от экспериментальных составляет 1,02...8,33%. Только при $\alpha = 80^\circ$ данные отклонения возрастают до 15,38%. Однако расчетное значение μ_g при $\alpha = 80^\circ$ отличается от нижней границы области поля допуска различия экспериментальных данных совершенно незначительно, которое составляет 0,025.

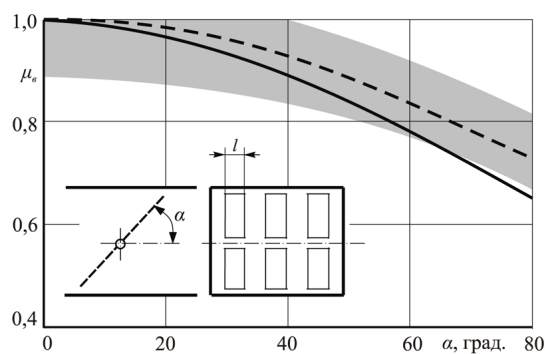


Рис. 2. Зависимости относительного расхода μ_g воздуха перфорированной заслонки от угла α поворота ее в воздухоподводящем канале при коэффициенте живого сечения $\mu_z = 0,36$:
 - - - - - экспериментальные данные;
 — — — — — теоретические данные;
 ■ — область поля допуска различия экспериментальных данных

Следует отметить, что теоретические значения μ_g меньше опытных. Такой характер зависимости $\mu_g = \varphi(\alpha)$ обусловлен тем, что через жалюзи заслонки при ее установке на угол $\alpha = 80^\circ$ в канале вследствие появления в них инжекционного эффекта истекает большее количество воздуха. Данное явление из-за отсутствия в научной литературе необходимой информации не было учтено при получении теоретической зависимости $\mu_g = \varphi(\alpha)$.

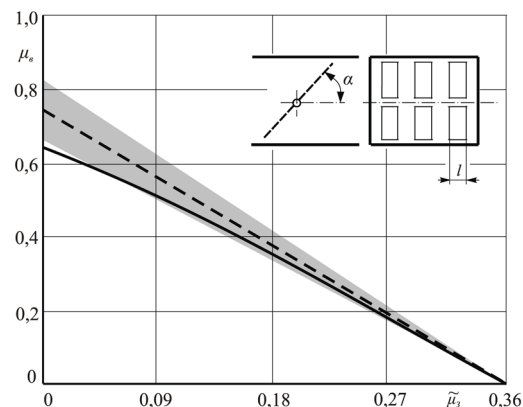


Рис. 3. Зависимости относительного расхода μ_g воздуха перфорированной заслонки от коэффициента μ_z перекрытия ее отверстий:
 - - - - - экспериментальные данные;
 — — — — — теоретические данные;
 ■ — область поля допуска различия экспериментальных данных

При дальнейшем перекрытии канала перфорированной заслонкой с уменьшением ее начального коэффициента μ_z живого

сечения с 0,36 до 0 (или изменением коэффициента μ_3 перекрытия ее отверстий с 0 до 0,36) ее расходная характеристика описывается уравнением (рис. 3)

$$\mu_e = 0,75 + 2,070\mu_3, R^2 = 0,999, \quad (5)$$

а расчетные значения этого регулятора в данном случае выражаются следующей зависимостью

$$\mu_e = 0,65 + 1,497\mu_3 - 0,983\mu_3^2, \\ R^2 = 0,999, \quad (6)$$

Следует отметить, что при $\mu_3 = 0$ различие опытных и расчетных данных составляет 15,38%, при этом расчетное значение μ_e от нижней границы области допуска экспериментальных данных отличается только на 0,025. В остальной области изменения μ_3 расчетные значения зависимости $\mu_e = \psi(\mu_3)$ находятся в области допуска различия экспериментальных данных.

Выводы

Таким образом, результаты теоретических исследований по расчету расходных характеристик поворотных двухплечих глухой $\mu_e = f(\alpha)$ и перфорированной $\mu_e = \varphi(\alpha)$ и $\mu_e = \psi(\mu_3)$ заслонок согласуются с полученными экспериментальными данными отмеченных регуляторов расхода воздуха. Разработанный метод расчета расходных характеристик регуляторов расхода воздуха может применяться при создании новых технологических схем пневматических сепараторов зерна.

Список литературы

1. Бардасов С.А. Эконометрика: Учебное пособие. – Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2010. – 264 с.
2. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. – М: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 416 с.
3. Бурков А.И., Сычугов Н.П. Зерноочистительные машины. Конструкция, исследование, расчет и испытание. – Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2000. – 261 с.
4. Корн А.М., Воробьев В.И., Матвеев А.С. Аэродинамические характеристики дроссельных устройств // Тракторы и сельхозмашины. – 1970. – № 1. – С. 29–31.
5. Миронов А.В., Н.И. Косилов Обоснование некоторых параметров и результаты исследования воздухораспределителя для пневмосепаратора // Повышение производительности и качества работы зерноуборочных и зерноочистительных машин: сб. науч. тр. – Челябинск: Челябинский ин-т механизации и электрификации с.-х., 1985. – С. 68–76.
6. Пат. 2198040 РФ, МПК7 B07B 4/00. Зерноочистительная машина / В.Е. Саитов, Р.Г. Гатауллин, И.Н. Нигматуллин (РФ). – № 2000131016/13; заявл. 13.12.00; опубл. 10.02.03, № 4. – 5 с.
7. Пат. 2464111 РФ, МПК9 B07B 4/02, A01F 12/44. Зерноочистительная машина / В.Е. Саитов, Р.Г. Гатауллин, И.Н. Нигматуллин, В.Г. Фарафонов, А.Н. Суворов (РФ). – № 2011118873/03; заявл. 11.05.2011; опубл. 20.10.2012, Бюл. № 29. – 9 с.
8. Пат. 2525557 РФ, МПК9 B07B 4/00. Пневматический сепаратор сыпучих материалов / В.Е. Саитов, В.Г. Фарафонов, А.Н. Суворов, А.В. Саитов (РФ). – № 2013109664/03; заявл. 04.03.2013; опубл. 20.08.2014, Бюл. № 23. – 6 с.
9. Саитов В.Е. Регулирование скорости воздуха в пневмосистеме зерноочистительных машин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2008 – № 3 – С. 38–39.
10. Саитов В.Е., Гатауллин Р.Г. Малогабаритная машина для первичной очистки зерна // Техника в сельском хозяйстве. – 2011. – № 4. – С. 7–10.
11. Саитов В.Е., Фарафонов В.Г., Суворов А.Н. Регулирование скорости воздушного потока в пневмосепарирующем канале дроссельным устройством // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2012. – № 5. – С. 6–8.
12. Саитов В.Е. Инновации в послеуборочной обработке зернового материала: Монография. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. – 152 с.
13. Саитов В.Е., Фарафонов В.Г., Суворов А.Н. Исследование процессов в рабочих органах сепараторов зерна: Монография. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. – 190 с.
14. Саитов В.Е., Григорьев Д.В. Замкнутый малогабаритный пневматический сепаратор для очистки зерна // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2012. – № 7. – С. 15–18.
15. Саитов В.Е. Повышение эффективности функционирования зерноочистительных машин путем совершенствования их основных рабочих органов и пневмосистем с фракционной сепарацией: дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01 / Саитов Виктор Ефимович. – Чебоксары, 2014. – 519 с.