

УДК 681.12

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ВОЗДУХА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТРУБЫ ВЕНТУРИ

Гатина Гузель Хайдаровна
Ассистент
Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Волкова Мария Михайловна
Канд. техн. наук, доцент
SPIN – код автора: 1501-0229
Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия

Юмадилова Аида Ильдаровна
Студент
Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

В агропромышленном комплексе одним из приоритетных направлений является оптимизация использования ресурсов, таких как вода и удобрения, для повышения эффективности производства. Точные и надежные методы измерения расхода жидкостей и газов играют ключевую роль в управлении технологическими процессами. В статье рассматриваются результаты исследования расходомера на базе трубы Вентури, изготовленной методом 3D-печати из PLA пластика. Исследуемая труба Вентури была спроектирована в программном обеспечении КОМПАС 3D, что позволило учесть все геометрические особенности конструкции и обеспечить высокую точность изготовления. Эксперименты проводились в контролируемых лабораторных условиях с применением дифференциальных манометров и другого метрологического оборудования для измерения перепада давления в широкой и узкой частях трубы. В результате экспериментов было выявлено, что труба Вентури демонстрирует высокую точность при измерении как малых, так и больших расходов воздуха. Абсолютное отклонение расчетного значения расхода от заданного варьировалось в пределах от $-0,75 \text{ м}^3/\text{ч}$ до $19,91 \text{ м}^3/\text{ч}$, а относительное отклонение – от $-7,48 \%$ до $6,69 \%$. Это подтверждает пригодность трубы для использования в агропромышленном комплексе, где важно точное управление потоками воздуха или других газов. Полученные данные позволяют сделать вывод о перспективности использования 3D-печати для разработки и изготовления измерительных

UDC 681.12

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences)

EVALUATION OF AIR FLOW MEASUREMENT ACCURACY USING A VENTURI TUBE

Gatina Guzel Haidarovna
Assistant
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Volkova Mariya Mikhailovna
Cand.Tech.Sci., docent
RSCI SPIN-code: 1501-0229
Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

Yumadilova Aida Ildarovna
Student
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

In the agricultural industry, one of the priority areas is the optimization of resource use, such as water and fertilizers, to improve production efficiency. Accurate and reliable methods for measuring liquid and gas flow play a key role in managing technological processes. This article presents the results of a study on a flow meter based on a Venturi tube, which was manufactured using 3D printing with PLA plastic. The Venturi tube was designed in COMPAS 3D software, which allowed for all geometric features of the design to be taken into account and ensured high manufacturing accuracy. Experiments were conducted under controlled laboratory conditions using differential manometers and other metrological equipment to measure the pressure difference in the wide and narrow sections of the tube. The experimental results showed that the Venturi tube demonstrates high accuracy when measuring both small and large air flows. The absolute deviation of the calculated flow value from the set value ranged from $-0.75 \text{ m}^3/\text{h}$ to $19.91 \text{ m}^3/\text{h}$, and the relative deviation was between -7.48% and 6.69% . This confirms the suitability of the tube for use in the agricultural industry, where precise control of air or other gas flows is important. The obtained data indicate the potential of using 3D printing for the development and manufacturing of measuring instruments

приборов

Ключевые слова: ТРУБА ВЕНТУРИ, РАСХОДОМЕР, 3D-ПЕЧАТЬ, PLA ПЛАСТИК, ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА, ПЕРЕПАД ДАВЛЕНИЯ, АГРОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС, АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, МЕТРОЛОГИЯ

Keywords: VENTURI TUBE, FLOW METER, 3D PRINTING, PLA PLASTIC, FLOW MEASUREMENT, PRESSURE DIFFERENCE, AGRICULTURAL INDUSTRY, ADDITIVE TECHNOLOGIES, METROLOGY

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-202-008>

Введение. В современном агропромышленном комплексе всё более значимыми становятся задачи точного контроля и управления технологическими процессами. Эффективное использование ресурсов, таких как вода и удобрения, требует применения передовых методов измерения потоков жидкостей и газов. Устойчивость и продуктивность сельского хозяйства во многом зависят от своевременного регулирования расхода различных веществ, используемых в производстве. Этот аспект становится особенно важным в условиях усиливающегося дефицита водных и земельных ресурсов, а также в связи с необходимостью повышения эффективности агротехнологий. Одним из методов повышения точности измерений является применение усовершенствованных расходомеров, которые позволяют минимизировать погрешности и обеспечить более надёжный мониторинг потоков.

Развитие технологий создания измерительных приборов идет параллельно с внедрением цифровых решений и современных методов производства. В частности, использование аддитивных технологий, таких как 3D-печать, открывает новые возможности для разработки высокоточных устройств, применимых в самых разных отраслях промышленности, включая агропромышленный комплекс. Сочетание точности измерений и гибкости в проектировании создает условия для разработки инновационных решений, которые могут существенно повысить продуктивность сельскохозяйственного производства.

<http://ej.kubagro.ru/2024/08/pdf/08.pdf>

Прогресс в производстве расходомеров также идет в ногу с развитием материаловедения и методов калибровки, что делает возможным разработку более экономичных и эффективных устройств для управления потоками жидкостей и газов. Внедрение таких устройств в агротехнологии позволяет не только повысить точность расхода ресурсов, но и снизить затраты на эксплуатацию оборудования, повысить рентабельность производственных процессов и улучшить экологическую устойчивость хозяйств.

Состояние исследований и актуальность проблемы. Измерение расхода жидкостей и газов в промышленности уже давно является предметом научных и инженерных исследований. Традиционные методы, такие как применение стандартных труб и сопел для измерения давления и скорости потока, остаются широко распространёнными, однако современные условия требуют более точных и экономически эффективных решений. Проблема точности измерений особенно актуальна для агропромышленных предприятий, где расход воды, удобрений и других жидкостей непосредственно влияет на продуктивность и затраты.

За последние десятилетия было предложено множество модификаций расходомеров для улучшения точности их работы и снижения эксплуатационных затрат. Одним из приоритетных направлений является разработка методов, позволяющих минимизировать погрешности измерений при изменении условий эксплуатации, таких как температура или давление. В связи с этим активно развиваются методы калибровки и поверки расходомеров, а также их адаптация к специфическим условиям работы в агропромышленности.

Среди новейших разработок особое внимание уделяется интеграции современных технологий в производство измерительных приборов, включая использование 3D-печати для создания прототипов и серийных моделей. Аддитивные технологии позволяют быстро и относительно

дешево разрабатывать и тестировать новые конструкции, что значительно сокращает время на производство и внедрение приборов в производство. Эти технологии позволяют добиться не только повышения точности, но и снижения затрат на изготовление и обслуживание измерительного оборудования. Это делает их особенно перспективными для применения в агропромышленном комплексе, где оптимизация затрат на оборудование играет важную роль в рентабельности производства.

Цель исследований. Цель исследований заключается в установлении точности измерения расхода при помощи трубы Вентури, изготовленной с использованием технологии 3D-печати.

Материалы и методы исследований. Для проведения исследований использовалась труба Вентури, изготовленная методом 3D-печати на основе модели, созданной в программном обеспечении КОМПАС 3D. Длина трубы составила 0,55 м, радиусы широкой и узкой частей трубы – 0,04 м и 0,018 м соответственно. Материалом для печати послужил PLA, обладающий высокой точностью при создании сложных геометрических форм. PLA пластик был выбран благодаря его доступности и достаточной жесткости для выполнения лабораторных испытаний.

В качестве оборудования для проведения экспериментов применялся лабораторный стенд с дифференциальными манометрами, обеспечивающими точное измерение перепадов давления в широкой и узкой частях трубы Вентури. Также использовались датчики для измерения температуры и давления окружающего воздуха, обеспечивающие учет влияния внешних условий на результаты эксперимента.

Стоит отметить, что скорость воздуха через широкую часть трубы Вентури может быть определена по формуле (1), учитывающая статические давления p_1 и p_2 в широкой и узкой частях трубы соответственно, плотность воздуха ρ , а также площади сечений F_1 и F_2 .

Для вычисления использовались данные перепада давления, собранные при помощи дифференциального манометра.

Исследования проводились в стандартных лабораторных условиях при температуре воздуха 19,6 °С, относительной влажности 34,7 % и атмосферном давлении. Приборы, применяемые для измерений, имели метрологическую поверку согласно ГОСТ 8.586.1-2005 и соответствующим стандартам, регулирующим измерение расхода и количества жидкостей и газов.

$$W_1 = \frac{2(p_1 - p_2)}{\sqrt{\rho \left[\left(\frac{F_1}{F_2} \right)^2 - 1 \right]}}. \quad (1)$$

Каждое измерение проводилось с трехкратным повторением, после чего вычислялись средние значения для обеспечения максимальной точности. В процессе испытаний использовались калиброванные приборы для измерения давления и скорости потока, а также программное обеспечение «Расходомер ИСО» версии 2.12 для автоматизированного сбора и анализа данных.

На рисунке 1 представлена 3D-модель трубы Вентури, созданная в программном обеспечении КОМПАС 3D и впоследствии распечатанная на 3D-принтере из PLA пластика. Модель включает в себя кольцевые камеры с перегородками, которые были спроектированы с целью упрощения процесса печати без использования поддерживающих элементов. Это конструктивное решение позволяет обеспечить устойчивость модели во время печати и предотвратить деформации, которые могут возникнуть при создании сложных геометрических форм.

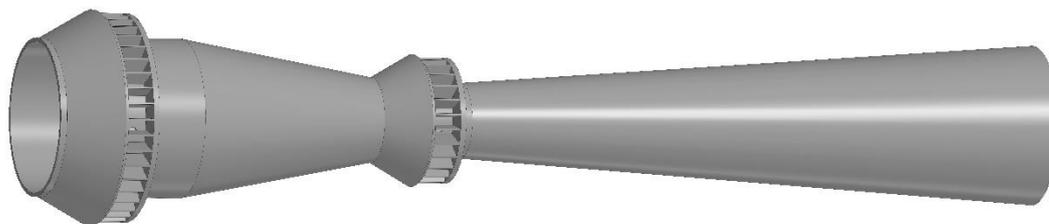


Рисунок 1 – 3D модель расходомера Вентури (подготовка модели к печати на 3D принтере)

Такая структура модели позволила достичь высокой точности изготовления при сохранении прочности конструкции, что важно для последующих экспериментальных измерений.

Результаты исследований. В ходе экспериментов, проведенных с трубой Вентури, созданной методом 3D-печати, были получены измерения фактического расхода воздуха через широкую и узкую части трубы при различных значениях перепада давления. Исследования проводились в условиях контролируемой лабораторной среды, что позволило получить высокоточную информацию о работе устройства и оценить его пригодность для дальнейшего применения в агропромышленности.

Таблица 1 – Результаты поверки трубы Вентури

№ измерения	Расход Q , м ³ /ч	Перепад давления Δp , Па	Расчетное значение расхода Q , м ³ /ч	Абсолютное отклонение ΔQ , м ³ /ч	Относительное отклонение δ , %
1	16,4	9	15,6	-0,75	-4,57
2	32,9	34	30,5	-2,46	-7,48
3	79,42	250	82,57	3,16	3,98
4	153,22	980	163,47	10,25	6,69
5	312	4040	331,91	19,91	6,39
6	389	6090	407,51	18,51	4,76

Для каждого испытания, представленного в таблице 1, задавалось расчетное значение расхода воздуха в $\text{м}^3/\text{ч}$, после чего с помощью дифференциального манометра фиксировался перепад давления между широкой и узкой частями трубы. По этим данным, согласно известной формуле для трубы Вентури, вычислялись фактические значения расхода.

Исследования проводились при значениях расхода от $16,4 \text{ м}^3/\text{ч}$ до $389 \text{ м}^3/\text{ч}$, что позволяет охватить как малые, так и высокие потоки воздуха. Перепад давления на сопле Вентури варьировался от 9 Па при наименьшем расходе до 6090 Па при максимальном. Это подтверждает, что устройство способно работать в широком диапазоне перепадов давления. Абсолютное отклонение расчетного значения расхода от заданного варьируется от $-0,75 \text{ м}^3/\text{ч}$ до $19,9 \text{ м}^3/\text{ч}$. При этом наименьшее отклонение наблюдается при малом расходе ($16,42 \text{ м}^3/\text{ч}$), а наибольшее – при высоком расходе ($312 \text{ м}^3/\text{ч}$).

Выводы. Эксперименты подтвердили, что расходомер на базе трубы Вентури, изготовленный методом 3D-печати, показывает высокую точность измерений при различных условиях работы. Максимальное относительное отклонение составило $7,48 \%$, что соответствует требованиям к точности для данного типа устройств. Измеренные данные и стабильность работы устройства позволяют сделать вывод о его применимости в условиях агропромышленного комплекса, где требуется точное измерение расхода воздуха или других газов.

Библиографический список

1. Зинуров, В. Э. Численное и экспериментальное исследование сужающего устройства на основе трубы Вентури / В. Э. Зинуров, И. И. Насырова, К. Д. Вьюгова, И. Н. Мадышев // Вестник Технологического университета. – 2022. – Т. 25. – № 7. – С. 106-111.

References

1. Zinurov, V. Je. Chislennoe i jeksperimental'noe issledovanie suzhajushhego ustrojstva na osnove trubyy Venturi / V. Je. Zinurov, I. I. Nasyrova, K. D. V'jugova, I. N. Madyshev // Vestnik Tehnologicheskogo universiteta. – 2022. – T. 25. – № 7. – S. 106-111.