

ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОТОКОВ МНОГОФАЗНЫХ СРЕД

Белова Н.В., Стешина Л.А.

ГОУ ВПО «Марийский государственный технический университет», Йошкар-Ола, Россия, e-mail: BelovaNV@marstu.net

Представлена лабораторная установка для измерения параметров потоков многофазных сред. Проведен анализ эффективности использования лабораторной установки при проведении экспериментальных исследований измерения параметров газовой среды. Описана информационно-измерительная система лабораторной установки и результаты полнофакторного эксперимента измерения параметров газового потока.

Ключевые слова: лабораторная установка, измерительная система, газовый поток, эксперимент.

LABORATORY EQUIPMENT FOR MEASURING THE FLOW PARAMETERS OF MULTIPHASE MEDIA

Belova N.V., Steshina L.A.

GOU VPO "Mari State Technical University", Yoshkar-Ola, Russia, e-mail: BelovaNV@marstu.net

Submitted by laboratory apparatus for measuring the flow of multiphase media. The analysis of the effectiveness of the laboratory setup for conducting experimental studies measuring the parameters of the gaseous medium. We describe the information-measuring system of the laboratory setup and the results of the experiment polnofaktornogo measurement of gas flow.

Keywords: laboratory apparatus, measurement system, the gas flow experiment.

Развитие систем управления сложными технологическими процессами направлено на разработку высокоэффективных способов и средств управления. В большинстве случаев, проверка и анализ разработанных средств и способов управления, а также апробация программно-алгоритмического обеспечения систем автоматического управления на реальном объекте, затруднительна. Это обусловлено сложностью технологических процессов, временными и материальными затратами, техническими требованиями к управляемым процессам. В связи с этим, апробация алгоритмов, способов управления и проверка правильности принятых решений возможна только при проведении экспериментальных исследований на макетах, опытных образцах установок реального объекта.

В Марийском государственном техническом университете разработана лабораторная установка для измерения параметров потоков многофазных сред, которая является макетом трубопроводной части установки гранулирования суспензий методом распылительной сушки Кировоградского завода твердых сплавов. Лабораторная установка представлена на рис. 1.

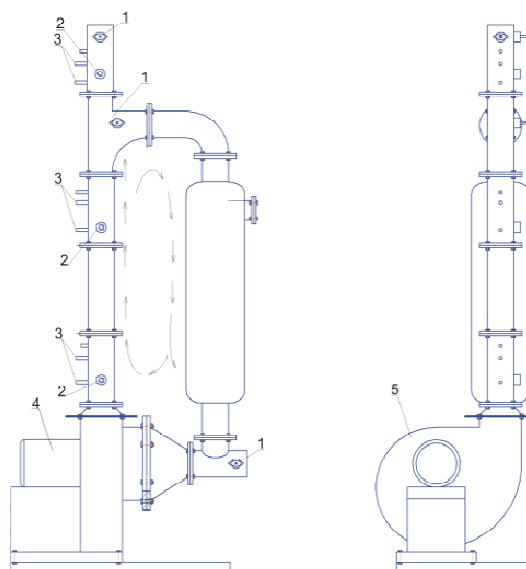


Рис.1. Лабораторная установка измерения параметров газовых потоков (1 – заглушка, 2 – гильза для установки термометра, 3 – штуцер для установки манометра, 4 – двигатель, 5 – вентилятор)

Лабораторная установка оснащена контрольно-измерительными приборами, позволяет воспроизводить различные режимы работы установки гранулирования суспензий и проводить многофакторные экспериментальные исследования процессов гранулирования и измерения параметров газового потока.

Важной проблемой технологического процесса гранулирования суспензий является отсутствие оптимальных алгоритмов управления, позволяющих точно соблюдать условия процесса гранулирования суспензий. Погрешность измерений, вызванная влиянием параметров газовой несущей среды на показания первичных измерительных приборов, не позволяет выдержать необходимые условия процесса гранулирования в динамическом режиме работы системы. Отсутствие достоверной измерительной информации при управлении технологическим процессом и инерционность измерительных приборов влияют на качество выпускаемой продукции. Построение инвариантной системы измерения позволит обеспечить точность и быстродействие измерений, как на протяжении всего хода технологического процесса, так и в режиме работы «start-stop». Для построения информационно-измерительной системы лабораторной установки разработан способ для измерения параметров газового потока, позволяющий повысить динамическую точность и быстродействие процесса измерения параметров за счет адаптивного алгоритма обработки измерительной информации. Способ для измерения параметров газового потока и алгоритм обработки измерительной информации разработан на основе методов современной теории управления и нелинейной математической модели системы измерения параметров газового потока [2]. Математическая модель измерительной системы отражает функциональные зависимости взаимодействия потока и первичных преобразователей, что позволяет учесть взаимное влияние параметров друг на друга при измерении, конструктивные особенности первичных преобразователей и принципы их действия [3].

Структурная схема информационно-измерительной системы лабораторной установки представлена на рис. 2.

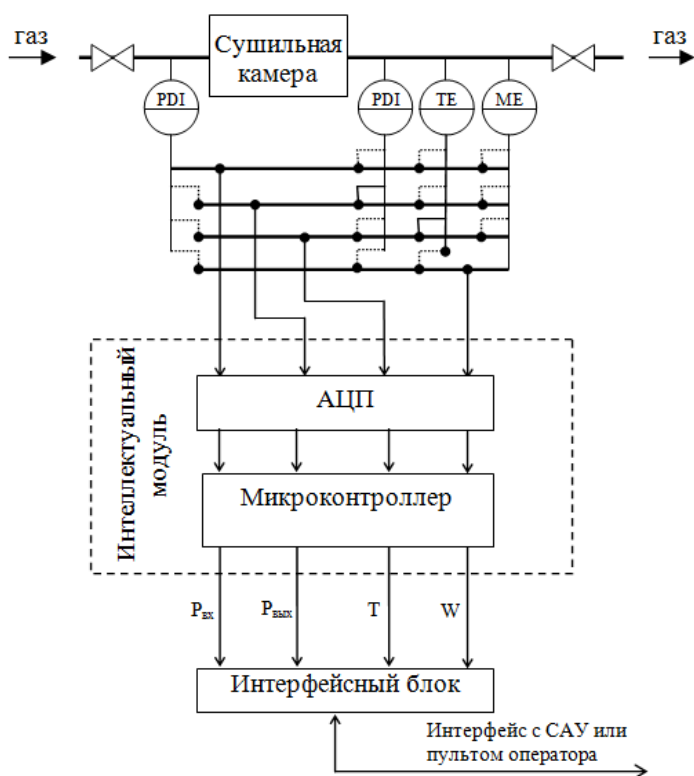


Рис.2. Структурная схема информационно-измерительной системы лабораторной установки для измерения параметров потоков многофазных сред

Для проведения экспериментальных исследований на лабораторной установке определены оптимальные условия проведения измерений, факторы, влияющие на измерения параметров среды, а именно температуру, влажность и давление газа на входе и выходе системы. Интервалы варьирования факторов, влияющих на измерение параметров, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Факторы	-1	0	+1	Интервал варьирования	Размерность
x_1 (температура)	50	75	100	25	°C
x_2 (влажность)	27	29,5	32	2,5	кг/м ³
x_3 (давление)	1,7	1,85	2	0,15	кПа
x_4 (расход)	0,1	0,3	0,5	0,2	кг/с

Для повышения качества проводимых измерений многофакторные экспериментальные исследования проведены в соответствии с методикой полнофакторного эксперимента (ПФЭ). Количество опытов, последовательность их проведения с учетом наименьшего числа переходов уровней факторов в процессе выполнения экспериментальных исследований, определены матрицей планирования ПФЭ. Количество опытов определяется выражением $N=2^k$, где k - количество факторов.

В процессе проведения экспериментальных исследований для исключения влияния систематических ошибок, вызванных внешними условиями при постановке опытов, запланированных матрицей, эксперименты рандомизированы во времени и проведены в случайной последовательности, которую можно определить таблицей случайных чисел [1]. Кроме того, для повышения надежности оценки при проведении эксперимента дополнительно проведено 4 опыта в центре плана эксперимента.

Условия проведения эксперимента и результаты измерений представлены в виде таблицы – матрицы планирования, где строки соответствуют различным опытам, а столбцы – значениям факторов (таблица 2).

Таблица 2

№ опыта	x ₁		x ₂		x ₃		x ₄		x ₁ x ₂	x ₁ x ₃	x ₁ x ₄	x ₂ x ₃	x ₂ x ₄	x ₃ x ₄	y ₁ (кПа)	y ₂ (кПа)	y ₃ (°C)	y ₄ (кг/м ³)
1	-1	50	-1	27	-1	1,7	-1	0,1	1	1	1	1	1	1	1,702	1,702	50,22	28,400
2	1	100	-1	27	-1	1,7	-1	0,1	-1	-1	-1	1	1	1	1,715	1,609	97,31	26,870
3	-1	50	1	32	-1	1,7	-1	0,1	-1	1	1	-1	-1	1	1,704	1,696	56,45	31,800
4	1	100	1	32	-1	1,7	-1	0,1	1	-1	-1	-1	-1	1	1,710	1,693	102,52	31,900
5	-1	50	-1	27	1	2	-1	0,1	1	-1	1	-1	1	-1	2,059	1,973	53,16	26,530
6	1	100	-1	27	1	2	-1	0,1	-1	1	-1	-1	1	-1	2,053	1,998	95,61	28,370
7	-1	50	1	32	1	2	-1	0,1	-1	-1	1	1	-1	-1	2,024	1,993	53,73	33,510
8	1	100	1	32	1	2	-1	0,1	1	1	-1	1	-1	-1	2,034	1,974	109,71	31,780
9	-1	50	-1	27	-1	1,7	1	0,5	1	1	-1	1	-1	-1	1,670	1,685	48,67	28,980
10	1	100	-1	27	-1	1,7	1	0,5	-1	-1	1	1	-1	-1	1,690	1,695	103,38	35,210
11	-1	50	1	32	-1	1,7	1	0,5	-1	1	-1	-1	1	-1	1,710	1,708	46,45	34,570
12	1	100	1	32	-1	1,7	1	0,5	1	-1	1	-1	1	-1	1,687	1,689	102,23	32,830
13	-1	50	-1	27	1	2	1	0,5	1	-1	-1	-1	-1	1	2,017	1,987	47,93	27,670
14	1	100	-1	27	1	2	1	0,5	-1	1	1	-1	-1	1	2,004	1,982	97,42	27,870
15	-1	50	1	32	1	2	1	0,5	-1	-1	-1	1	1	1	2,026	1,867	49,84	33,130
16	1	100	1	32	1	2	1	0,5	1	1	1	1	1	1	2,023	1,998	101,57	32,410
17	0	75	0	29,5	0	1,85	0	0,3	0	0	0	0	0	0	1,836	1,865	74,48	30,080
18	0	75	0	29,5	0	1,85	0	0,3	0	0	0	0	0	0	1,843	1,835	73,13	31,210
19	0	75	0	29,5	0	1,85	0	0,3	0	0	0	0	0	0	1,835	1,832	75,68	28,530
20	0	75	0	29,5	0	1,85	0	0,3	0	0	0	0	0	0	1,828	1,865	74,85	28,980

По результатам проведенных опытов выполнена статистическая обработка данных, которая включает в себя вычисления средних значений параметров, построчной дисперсии и проверку воспроизводимости эксперимента с помощью G-критерия. Данная обработка значений необходима для расчета коэффициентов b_i полиномов статистической математической модели.

С физической точки зрения, значение коэффициента b₀ характеризует среднее значение показателя y (измеряемого параметра) по всем опытам, а b_i – эффект воздействия фактора x_i на параметр y_i.

Коэффициенты, полученные по результатам расчетов представлены в таблице 3.

Таблица 3

Коэффициент	y ₁	y ₂	y ₃	y ₄
b ₀	1,864	1,828	72,874	30,739
b ₁	0,00025	0,002	-21,997	0,166
b ₂	0,0005	-0,001	4,198	2,002

b3	0,166	0,143	3,043	-0,581
b4	-0,011	-0,002	2,077	0,844
b12	-0,001	0,010	1,409	-0,677
b13	-0,002	0,015	3,184	-0,217
b14	-0,003	0,013	2,146	0,331
b23	-0,004	-0,013	3,917	0,547
b24	0,008	-0,010	2,828	-0,351
b34	-0,002	-0,011	3,258	-0,733

Проверка значимости каждого из коэффициентов b_i выполнена в соответствии с t -критерием Стьюдента. Такая проверка необходима для исключения незначимых коэффициентов из полиномов статистической модели. Коэффициент может быть незначимым из-за того, что фактор не влияет на параметр, слишком мал интервал варьирования переменной, велика ошибка эксперимента при наличии неуправляемых или неконтролируемых переменных. [4].

По результатам ПФЭ с учетом значимости коэффициентов получена статистическая математическая модель, которая позволяет получить значения измеряемых параметров с заданной точностью при известных значениях факторов (условий), сопровождающих процесс измерения.

$$P_1 = 1,864 + 0,166P_T - 0,011Q + 0,008W_T Q;$$

$$P_2 = 1,828 + 0,143P_T + 0,015T_T P_T;$$

$$T = 72,874 -$$

$$21,997T_T + 4,198W_T + 3,043P_T + 2,077Q + 1,409T_T W_T + 3,184T_T W + 2,146T_T Q + 3,917W_T P_T + 2,828W_T Q + 3,258P_T Q;$$

$$W = 30,739 + 2,002W_T + 0,844 T_T + 0,331 P_T + 0,547Q.$$

Проверка адекватности полученной модели в статистической обработке данных выполнена с использованием критерия Фишера [1]. Выявлено, что полученная модель с вероятностью 0,99 считается адекватной экспериментальным данным.

Таким образом, лабораторная установка позволяет проводить экспериментальные исследования режимов сушки процесса гранулирования и измерения параметров газового потока. Результаты измерений параметров газового потока подтвердили экспериментальные данные действующей установки гранулирования. Статистическая математическая модель позволяет воспроизводить значения измеряемых параметров с заданной точностью, что позволяет использовать лабораторную установку для апробации новых средств управления и построения оптимальных алгоритмов управления технологическим процессами.

Список литературы

1. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: НАУКА, 1976.

2. Белова Н.В. Программно-аппаратная система измерения параметров газового потока // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2009. – №2. – С. 18-20.

3. Белова Н.В. Способ измерения и обработки параметров газового потока в процессе гранулирования суспензий// Системы управления и информационные технологии. – 4(38). – 2009. – С. 73-77.

4. Захаров Ю.В. Математическое моделирование в технологии электронных средств. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2003.

Рецензенты:

Полянин И.А., д.т.н., профессор кафедры прикладной механики машиноведения и технологии ГОУ ВПО «Марийский государственный университет», г. Йошкар-Ола.

Алибеков С.Я., д.т.н., профессор, зав. кафедрой машиностроения и материаловедения ГОУ ВПО «Марийский государственный технический университет», г. Йошкар-Ола.

Работа получена 12.08.2011.