АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ ДОПЛЕРОВСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ СКОРОСТЕЙ С ВРЕМЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИЕЙ СИГНАЛА

Высокие потенциальные возможности метода лазерного доплеровского измерения скорости не реализованы полностью. Это связано с тем, не решены задачи разработки методов обработки доплеровского сигнала, позволяющие с высокой точностью вести регистрацию и обработку оптических сигналов с интенсивностью от режима одночастичного сигнала до аналогового квазинепрерывного сигнала, что позволяло бы решать комплексно задачи аэро, гидродинамики по изучению потоков с большими вариациями рассеивающих центров и высоким пространственным разрешением.

Выходной результирующий сигнал лазерного доплеровского измерителя скорости (ЛДА) для дифференциальной оптической схемы может быть представлен в виде:

$$x(t)=\sum_{n=1}^{N} A_n F(t-t_n)\left\{1+\cos\left[\omega_0(t-t_n)\right]\right\}=f_{н.ч.}+f_{в.ч.} \quad (1)$$

где $x(t)$ - выходной сигнал фотоприемника, $f_{н.ч.}$, $f_{в.ч.}$- соответственно низкочастотная и высокочастотная составляющая выходного сигнала, t_n- момент вхождения n -ой частицы в измерительный объем; N - число частиц в измерительном объеме, $F(t-t_n)$- характеристика измерительного объема, определяющаяся геометрией и оптической схемой ЛДА, A_n - случайная амплитуда. Если спектры составляющих входного сигнала значительно отличается друг от друга, то после фильтрации:

$$x(t)=\sum_{n=1}^{N} A_n F(t-t_n)\cos\left[\omega_0(t-t_n)\right] \quad (2)$$

Моделирование доплеровского сигнала осуществлено для двух оптических систем: В случае системы с маской размерами $a\times b$

$$F(t-t_n)=\frac{\sin\left[\omega_0/2(b/a)(t-t_n)\right]}{\left\{\omega_0/2(b/a)(t-t_n)\right\}^2} \quad (3)$$

с временем пролёта частиц через измерительный объём

$$\square t=\frac{2\pi b/a}{\omega_0}. \quad (4)$$

Для системы с гауссовскими пучками

$$F(t-t_n)=ce^{-(t-t_n)^2/2\rho^2},\ \square t=8^{0.5}\rho, \quad (5)$$

где $2^{0.5}\rho f_0=(2r_0/\lambda)tg\theta$, , $\omega_0=2\pi f_0$, r_0 - радиус перетяжки пучка в фокусе, λ- длина волны излучения, 2θ- угол схождения пучков.

Размер измерительного объёма ограничивался точками, соответствующими 1/e распределения интенсивности. Модели просчитаны для двух законов распределения расстояния между частицами, влетающими в измерительный объём: гауссовского и пуассоновского. Моменты времени t_n вычислялись методом Монте-Карло.

Предварительно задавались условия моделирования доплеровского сигнала (количество частиц в измерительном объеме , закон влета частиц, координаты измеоительного объема) и вычислялись основные параметры, входящие в (2). Далее определялись моменты времени, в которые функция (2) обращалась в ноль или принимала значение близкое к пороговому и вычислялись промежутки времени между этими моментами, которые и определяли собой последовательность периодов доплеровского сигнала. Вслед за этим вычислялось среднее значение доплеровского периода, величина относительного среднеквадратичного отклонения.

Получена зависимость погрешности от числа интерференционных полос в измерительном объеме при различном количестве рассеивающих частиц в объеме M=1,5,100 и пороговом уровне дискриминации $U_п=0$. Предполагалось, что максимальная длительность периода не может превышать удвоенного значения периода, т.е. $T_{изм.} < 2T_{ср}$.

Полученные результаты показывают, что присутствие в измерительном объеме более одной частицы приводит к дополнительной паразитной модуляции доплеровского сигнала и увеличению погрешности по отношению к одночастичному сигналу на 2-4 %. При усреднении по нескольким периодам эта величина быстро падает и при усреднении по двадцати периодам не превышает 0.5%. При этом пространственное разрешение измерителя определяется величиной измерительного объема. Для случая одночастичного сигнала нами предложено для увеличения пространственного разрешения доплеровского измерителя скоростей проводить усреднение по ансамблям реализаций (т.е. производить усреднение первых периодов от различных частиц в потоке, вторых и так далее), при этом каждый отдельный период рассматривать как мгновенное значение скорости частицы.

Как показало численное моделирование погрешность формирования доплеровских периодов имеет существенную зависимость от величины порога дискриминатора и может достигать 20%. При этом $U_п = A_п / < A^2 >^{1/2}$, где $< A^2 >$ -средний квадрат огибающей, $A_п$ - величина порогового уровня. Для уменьшения погрешности, обусловленной амплитудной модуляцией доплеровского сигнала был предложен и исследован метод формирования доплеровских периодов на основе переменного порога дискриминатора. Функция задания порога полностью определяется видом огибающей доплеровского сигнала и при этом осуществляется формирование импульсной последовательности доплеровских периодов на постоянном относительно мгновенного значения амплитуды доплеровского сигнала уровне в данный момент времени. Результаты исследования позволяют сделать вывод о том, что погрешность формирования доплеровских периодов с переменным порогом в виде огибающей самого сигнала приближается к погрешности при формировании таких последовательностей с постоянным нулевым порогом, когда она минимальна и сравнима с погрешностью порогового способа обработки результатов.[1].

Литература

1. Дубнищев Ю.Н., Ринкевичус Б.С. Методы лазерной доплеровской анемометрии. М.: "Наука" 1982, 303 с.