

МЕТОД НИЗКОКОГЕРЕНТНОЙ ОПТИКО-ВОЛОКОННОЙ ДИАГНОСТИКИ ВЫСОКОДИНАМИЧНЫХ ДВУХФАЗНЫХ РАСSEИВАЮЩИХ СРЕД

В. И. Иванов, Н. И. Иванов

НИИ ядерных проблем Белорусского государственного
университета, Минск

E-mail: ivanov.inp@gmail.com

Рассматривается метод зондовой оптико-волоконной диагностики (ОВД) высокоскоростных двухфазных потоков для диагностики паросодержания водного теплоносителя в реакторах АЭС, исследования спектра размеров аэрозольных атмосферных фракций с беспилотных летательных аппаратов (БЛА) и ряда других задач. Модель ОВД основана на исследовании двухфазных потоков в непосредственной близости к приемно-излучающей апертуре A_d оптико-волоконного свето-водного сенсора (ОВС) с использованием низкокогерентного излучения лазерных диодов. Линейку ОВС располагают перпендикулярно вектору скорости $\vec{W}_{p,i}$ диагностируемых потоков и анализируют длительности отраженных лазерных сигналов $U_i(\tau)$ от одиночных фрагментов (ОФ) в несущей фазе: паровых пузырьков в водной фазе теплоносителя, аэрозольных частиц различной природы в атмосфере, твердых частиц в аэродинамических потоках. В общем виде длительность τ_i отраженного лазерного сигнала (импульса) $U_i(\tau)$ от ОФ на выходе ОВС определяется соотношением

$$\tau_i = \tau_{f,i+} + \tau_{f,i-} + \tau_{p,i} = 2\tau_{f,i} + \tau_{p,i} , \quad (1)$$

где $\tau_{f,i+}$, $\tau_{f,i-}$ – длительности переднего и заднего фронтов импульса, обусловленных временами вхождения в зону апертуры A_d и выхода из зоны A_d ОФ, соответственно; $\tau_{p,i}$ – время нахождения всего ОФ в зоне апертуры A_d

$$\tau_{f,i} = \tau_{f,i+} = \tau_{f,i-} = A_d / \vec{W}_{p,i} , \quad (2)$$

$$\tau_{p,i} = (D_{p,i} - A_d) / \vec{W}_{p,i} , \quad (3)$$

$$\tau_i = 2A_d / \vec{W}_{p,i} + (D_{p,i} - A_d) / \vec{W}_{p,i} , \quad (4)$$

где $D_{p,i}$ – линейный размер ОФ в направлении вектора скорости его движения $\vec{W}_{p,i}$; A_d – диаметр апертуры одиночного ОВС, $A_d \leq D_{p,i.min}$.

Оценка длительности информационных импульсов $U_i(\tau)$ осуществляется при двух параметрах дискриминации k_i по уровню

$$k_i = (U_{g,i} - U_{min,i}) / U_{m,i} ; \quad k_2 = 1 - k_1 , \quad (5)$$

где $U_{g.i}$ – уровень дискриминации; $U_{min.i}$ и $U_{m.i}$ – минимальное значение и амплитуда i -того сигнального импульса $U(\tau_i)$, соответственно. $U_{m.i} = U_{max.i} - U_{min.i}$ – амплитуда сигнального импульса.

С учетом k_i , отношение длительности фронтов сигнального импульса $\tau_{f.i}(U_{g.i})$ на уровне дискриминации $U_{g.i}$ к длительности фронтов импульса по его основанию τ_f определяются отношением

$$\tau_{f.i}(U_{g.i})/\tau_f = k_i U_{m.i}/U_{m.i} = k_i. \quad (6)$$

Из уравнения (2) с учетом уравнения (6) длительности фронтов сигнального импульса на произвольном уровне дискриминации можно представить в виде

$$\tau_{f.i}(U_{g.i}) = \tau_{f.i+}(U_{g.i}) = \tau_{f.i-}(U_{g.i})\tau_{f.i} = k_i(A_d/W_{i.p}). \quad (7)$$

На основании уравнений (4) и (7) длительность импульсов информационных сигналов τ_i для различных значений k_i , равна:

$$\tau_i(k_i) = D_{p.i}/W_{p.i} + A_d(2k_i - 1)/W_{p.i}. \quad (8)$$

В соответствии с условием (5) $k_2 = 1 - k_1$ и уравнения (8) длительности сигнальных импульсов с параметрами дискриминации k_1 и k_2 соответственно равны:

$$\tau_i(k_1) = D_{p.i}/W_{p.i} + A_d(2k_1 - 1)/W_{p.i}, \quad (9)$$

$$\tau_i(k_2) = D_{p.i}/W_{p.i} + A_d(1 - 2k_1)/W_{p.i}, \quad (10)$$

Значения скорости и линейные размеры ОФ (спектр размеров) определяются из уравнений (9) и (10) в виде:

$$W_{p.i} = 2A_d(2k_1 - 1)/[\tau_i(k_1) - \tau_i(k_2)], \quad (11)$$

$$D_{p.i} = \{[\tau_i(k_1) + \tau_i(k_2)]/[\tau_i(k_1) - \tau_i(k_2)]\} A_d(2k_1 - 1). \quad (12)$$

Метод обеспечивает многопараметровую диагностику двухфазных потоков различных рассеивающих сред с определением спектра размеров ОФ, концентрации ОФ в несущей фазе, скорости границы раздела фаз в диапазоне скоростей от 5–10 мм/с до 100 м/с. Минимальный определяемый размер ОФ при соотношении сигнал/шум 10 составляет 1 мкм и 3 мкм при соотношении сигнал/шум 3–5.

В докладе рассматриваются точностные характеристики метода и особенности его реализации для стационарных платформ и платформ БЛА.