

Определение оптимальной частоты дискретизации при представлении непрерывных процессов систем автоматизированного мониторинга

В автоматизированных системах мониторинга непрерывных процессов актуальна проблема определения оптимальной частоты и периода дискретизации временного ряда, отражающего изменение определенных параметров процесса, например концентраций загрязняющих веществ, полученных в ходе автоматизированного экологического мониторинга. Часто, экспериментально получают функцию изменений концентраций загрязняющих выбросов в виде временного ряда, представленного следующим выражением

$$M(k) = \sum_{k=0}^{N-1} M(k \cdot t_{\text{отсч}}),$$

где $t_{\text{отсч}}$ – период дискретизации в экспериментальном временном ряде.

Значение $t_{\text{отсч}}$ в экспериментальном временном ряде принимается в соответствии с ограничениями $t_{\text{отсч}} \ll T_{\text{техн.проц}}$ и $t_{\text{отсч}} \in \{1 \div 15\}$ сек, где $T_{\text{техн.проц}}$ – время реализации технологического процесса. Пример табличной функции отсчетов экспериментального временного ряда концентраций выбросов с периодом $t_{\text{отсч}} = 12$ сек приведен в сокращенном виде в таблице 1.

Таблица 1 – Таблица отсчетов концентраций испарений ацетона

i , номер отсчета	1	2	3	...	601	602	603	...	1198	1199	1200
$x_i(t_i)$, сек	12	24	36	...	7212	7224	7236	...	14376	13988	14400
$y_i [M(t_i)]$, мг/м ³	5,1	5,25	5,38	...	15,94	15,97	15,99	...	5,05	5,04	5,05

Определение минимальной частоты сбора данных об уровнях концентраций загрязняющих веществ осуществляется путем определения верхней частоты спектра дискретной функции $M(i \cdot t_{\text{отсч}})$ по ее спектральной функции представленной в виде отсчетов коэффициентов ДПФ, вычисленных методом дискретного преобразования Фурье (ДПФ).

Вычисления коэффициентов ДПФ последовательности конечной длины из N отсчетов концентраций загрязняющих выбросов и, соответственно, вычисление значений функции спектральной плотности процесса осуществляется по выражению [1]:

$$S(jl2\pi f_1) = \frac{1}{N} \sum_{l=0}^{N/2} \sum_{k=0}^{N-1} M(k) e^{-j \frac{2\pi}{N} l \cdot k}, \quad (1)$$

где $S(l \cdot f_1)$ -коэффициенты ДПФ спектральной плотности временного ряда из N отсчетов в l -равномерно распределенных точках на половине единичной окружности Z -плоскости, l – номер точки на окружности единичного радиуса Z -плоскости [2], в которой вычисляются коэффициенты спектральной плотности $S(l \cdot f_1)$, $l=0,1,\dots,N/2$, $f_1 = \frac{F_o}{N}$ - частотный интервал разрешения

спектральной функции по частоте, $F_o = \frac{1}{t_{\text{отсч}}} = 0,083$ Гц.

Для повышения разрешения спектральной функции по частоте [2], представленной коэффициентами ДПФ через частоту разрешения f_l , производится уменьшение частоты разрешения f_l дополнением временного ряда нулевыми отсчетами, т.е. число отсчетов временного ряда увеличивается с $N=1200$ до $N_l=2400$. В этом случае частотный интервал разрешения спектральной функции определяется выражением

Секция 4. Информационные технологии в образовании и производстве

$$f_1 = \frac{F_0}{N_1} = \frac{0.083 \text{Гц}}{2400} = 0,347 \cdot 10^{-4} \text{Гц}.$$

В соответствии с выражением (1), вычисляются значения модулей коэффициентов ДПФ $S(l \cdot f_1)$ в следующих точках оси частот: $S_0(0)$, $S_1(0,0000347)$, $S_2(0,0000694)$, $S_3(0,0001041)$... $S_l(l \cdot f_1) = S_l(l \cdot 0,347 \cdot 10^{-4})$.

График коэффициентов ДПФ в точках оси частот lf_1 при значениях $l=0,1,2,\dots,7$, приведен на рис. 1.

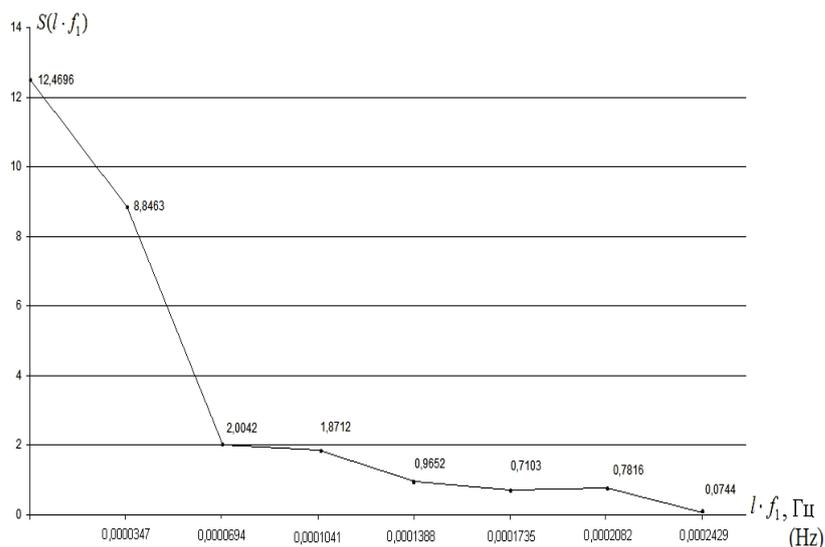


Рис.1. График значений коэффициентов ДПФ

Абсцисса точки, при которой значение $S(l \cdot f_1)$ приближается к нулю принимается равной нулю с погрешностью до 1%, определяет верхнюю частоту спектра временного ряда $F_g = 7f_1$. Максимально допустимое значение периода дискретизации T_{\max} соответственно определяется по формуле

$$T_{\max} = \frac{1}{2F_g} = \frac{1}{14f_1} = 2057,6 \text{ сек.} = 34,3 \text{ мин.} \quad (2)$$

Согласно (2) период процесса, представленного в таблице 1, принимается в соответствии с условием $T \leq T_{\max}$.

Литература

1. Рабинер, Л. Теория и применение цифровой обработки сигналов / Л. Рабинер, Б. Гоулд. – М.: «МИР», 1978. – 848с.
2. Проскураков А.Ю. Автоматизированная система мониторинга загрязняющих выбросов промышленных производств на локальном уровне: Автореф. дис. канд. техн. наук. - ОРЕЛ: Госуниверситет – УНПК, 2014. - 16 с.