

### 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 <sup>3</sup>	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.

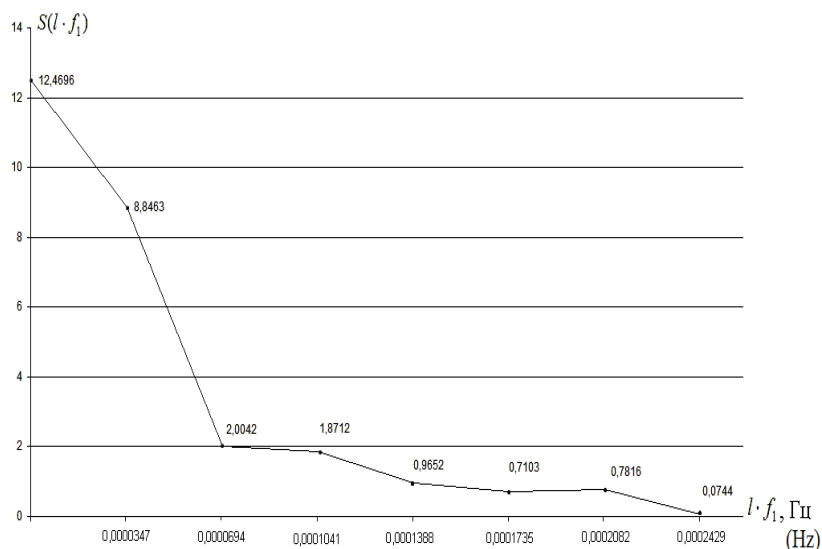
Для повышения разрешения спектральной функции по частоте [2], представленной коэффициентами ДПФ через частоту разрешения  $f_l$ , производится уменьшение частоты разрешения  $f_l$  дополнением временного ряда нулевыми отсчетами, т.е. число отсчетов временного ряда увеличивается с  $N=1200$  до  $N_l=2400$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

#### Секция 4. Информационные технологии в образовании и производстве

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

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.