УДК 355.6

В'ячеслав Леонідович Козачук *(кандидат технічних наук, старший науковий співробітник)*
Василь Петрович Харченко *(кандидат військових наук, старший науковий співробітник)*
Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, Київ, Україна

МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ МОНІТОРИНГУ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ

У нинішній час моніторинг як метод дослідження застосовують у багатьох галузях економіки. Але як і всякий процес моніторинг повинен мати певні параметри. Одним з найважливіших слід вважати такий параметр, як дискретність спостереження та/або фіксації значень характеристик та показників, що характеризують технічний стан об'єкту, за яким ведеться спостереження. Існуючі методи визначення дискретності мають вагомі недоліки, що суттєво обмежують сферу застосування, тому виникає необхідність розробки нового методичного підходу розрахунку цього параметра моніторингу. Вирішення такого завдання стає можливим за умови застосування теореми Котельникова, відомої також як теорема дискретності. Відповідно до цієї теореми спочатку розраховується спектр функції, яка описує процес зміни значень показника, за яким здійснюється моніторинг, визначається верхня частота спектру та розраховується дискретність спостереження. Визначаються умови корегування отриманої моделі в умовах нестаціонарності розглядуваного процесу.

Ключові слова: *моніторинг, теорема Котельникова, дискретність, спостереження, технічний стан, апроксимація.*

Вступ

Постановка проблеми в загальному вигляді. Поняття **"**моніторинг" міцно увійшло в практику не лише науково-дослідних робіт, але й багатьох галузей економіки. Однак загальноприйнятого розуміння сенсу та наповнення поняття "моніторинг" як процесу, як певної сукупності операцій у часі досі не існує. Так, прийняті в ряді джерел формулювання поняття "моніторинг" іноді суттєво відрізняються. Найчастіше поняття "моніторинг" трактують таким чином: "…комплекс заходів, які забезпечують регулярне (постійне) спостереження за технічним станом … з метою попередження негативних явищ, що впливають на цілісність і надійність об'єктів спостереження", а також: "…система планових, безперервних або періодичних спостережень і контролю, яка проводиться за спеціально розробленою програмою для визначення змін у технічному стані об'єктів та оцінки їх з метою недопущення граничних значень контрольованих параметрів" [1, 2]. Тобто, як витікає з наведеної дефініції, моніторинг є процес, який протікає у часі. І якщо це процес, то він має бути описаний низкою параметрів, що повинні піддаватися вимірюванню. Одним з найважливіших слід вважати такий параметр моніторингу, як дискретність спостереження та/або фіксації значень характеристик та показників технічного стану об'єкту, за яким ведеться спостереження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз відкритих джерел, присвячених розглядуваному питанню, свідчить про те, що і раніше проводилися дослідження щодо визначення параметрів моніторингу складних організаційно-технічних об'єктів (СОТО). Так, у роботі [3] розглядались питання дискретності фіксації значень параметрів процесу, що спостерігається. Визначити періодичність контролю параметрів процесу пропонувалось на основі положень теорії апроксимації, виходячи із припустимої точності подання розглянутого процесу. Апроксимуючий степеневий багаточлен $F_и(t)$, що проходить через усі дискретні значення функції x(t) повинен задовольняти таким умовам:

$$\left.\begin{array}{l} F(t_1)=a_0+a_1t_1+...+a_nt_1^n=x_1 \\ F(t_2)=a_0+a_1t_2+...+a_nt_2^n=x_2 \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ F(t_n)=a_0+a_1t_n+...+a_nt_n^n=x_n \end{array}\right\}$$

Рішення наведеної системи рівнянь має вигляд інтерполяційного полінома Лагранжа:

$$F(t_n)=\sum_{k=0}^{n} x\frac{\prod_{i=0,i\neq k}^{n}(t-t_i)}{\prod_{i=0,i\neq k}^{n}(t_k-t_i)}.$$

Погрішність апроксимації розраховується так

$$Дш=\frac{M_n}{n!}\left|\prod_{i=0}^{n}(t-t_i)\right|,$$

де M_n — максимальне значення модуля n-ої похідної функції в інтервалі апроксимації.

При першому ступені апроксимуючого багаточлена прогнозні значення інтервалів часу між моментами контролю параметрів визначається з рівняння:

© В.Л. Козачук, В.П. Харченко

$$|Дш_{max}| = M_1 Дt_1,$$

звідки

$$Дt_1 = |Дш_{max}| / M_1 .$$

Якщо апроксимувати багаточленом другого ступеня, то

$$Дt_2 = \sqrt{\frac{8|Дш_{max}|}{M_2}} .$$

При апроксимації багаточленами третього ступеня інтервал між вимірюваннями має бути таким:

$$Дt_3 = \sqrt{\frac{16|Дш_{max}|}{M_3}} .$$

Якщо погрішність $Дш_{max} \leq 2\%$, то різниця між інтервалами квантування $Дt_1$, $Дt_2$, …, $Дt_n$ незначна.

Для використання методу апроксимації з метою визначення періодичності контролю показників необхідні дані про швидкість зміни кожного параметра та припустимої погрішності його апроксимації степеневим багаточленом. Для одержання такої інформації потрібно зібрати й обробити значну кількість даних, що досить трудомістко й займає багато часу (цей фактор був майже головним у ті часи), тому в практиці розглянутий метод застосування не знайшов. Також слід відмітити, що моделювання процесу, що спостерігається, лише багаточленами, на наш погляд, є помилковим шляхом, тому що реальні процеси зміни, наприклад, технічних параметрів СОТО, можуть мати майже будь-який вигляд.

Відсутність науково обґрунтованого методичного підходу до встановлення частоти вимірів параметрів (дискретності вимірів) приводить або до втрати інформації через великі інтервали квантування часу, внаслідок чого можливі ускладнення та навіть аварії при експлуатації СОТО, або до додаткових трудових витрат при надмірно великій частоті контролю й підвищенню загальної вартості контролю. Виходячи з наведеного, можна зробити висновок про необхідність розроблення методичного апарату, який дозволяв би без зайвого суб'єктивізму визначити та обґрунтувати припустимі інтервали квантування часу дискретного контролю параметрів при здійсненні моніторингу.

Тому **метою статті** є розгляд порядку визначення інтервалів квантування часу в процесі моніторингу технічного стану озброєння та військової техніки (ОВТ).

Виклад основного матеріалу дослідження

Однією з головних цілей моніторингу технічного стану (ТС) ОВТ як об'єкту моніторингу є виявлення динаміки зміни значень параметрів ОВТ (у загальному випадку під технічним станом об'єкту моніторингу розуміють сукупність якостей, що змінюються у процесі виробництва, випробувань та експлуатації, які характеризують його функціональну пристосованість в певних умовах використання [4]). Як правило, ТС визначається шляхом оцінювання показників ТС, серед яких слід виділити, у першу чергу, вимірювані показники та розраховані показники. Вимірювані показники ТС — це показники, які можна представити у вигляді значень вимірюваних параметрів (характеристик) об'єкту моніторингу. Розраховані показники — це показники якостей об'єкту моніторингу, які обчислюють за різноманітними алгоритмами на основі значень вимірюваних показників. Основним способом виявлення (оцінювання) ТС є збирання, обробка та аналіз отриманої внаслідок вимірювання та обчислення інформації про ТС. Збір інформації про ТС — це процес отримання та відповідного розподілу усіх значень вимірюваних показників. Обробка інформації про ТС — це процес отримання оцінок значень вимірюваних показників на основі зібраних даних, які характеризують певним показником ступеню довіри до цих оцінок. Метою аналізу інформації про ТС є отримання узагальнених оцінок сукупності показників ТС, значення яких у явному вигляді вказують або ступінь працездатності об'єкту моніторингу, або — разом з оцінками ступеню довіри до отриманих результатів — місце та вид виниклої відмови.

Внаслідок моніторингу формується деяка наявність накопичених даних про технічний стан систем та підсистем зразків ОВТ, яка дозволяє спрогнозувати працездатність (непрацездатність) ОВТ та попередити появу відмов та аварійних ситуацій. У процесі моніторингу технічного стану ОВТ як діагностична інформація можуть бути використані: результати інспекційного контролю, дані, отримані вимірюванням параметрів, які характеризують поточний технічний стан ОВТ, попередні дані контролю, а також інша подібна інформація. Для здійснення моніторингу потрібна система пристроїв, яка має такі технічні засоби: сукупність вимірювачів (датчиків температури, тиску, корозії, току, деформацій, витоків тощо), які розташовані на контрольованих елементах та зв'язані з пунктом контролю за допомогою дротового або бездротового з'єднання; сервер для збору, обробки та зберігання отриманої інформації та пристрій для відображення результатів моніторингу. Таким чином, з технічної точки зору, практична реалізація системи моніторингу технічного стану ОВТ проблем не викликає.

Але разом з тим залишається не вирішеним питання визначення дискретності фіксації значень параметрів ОВТ, що спостерігаються, тобто мова йде про визначення параметрів процесу

моніторингу, зокрема інтервалів квантування часу Δt_i (рис. 1).

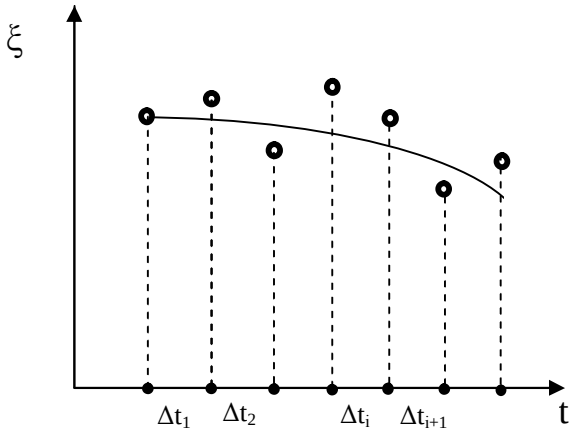

Рис.1. Порядок визначення дискретності фіксації значень параметрів ОВТ

Вирішення цього завдання стає можливим за умови застосування теореми Котельникова, формулювання якої таке: будь-яку безперервну функцію зі спектром, що обмежений смугою частот від нуля до Fв, можна однозначно визначити послідовністю її миттєвих значень, які отримані через інтервали $T_д \le 1/2$ Fв з формули:

$$\tilde{x}(t)=\sum_{t=-\infty}^{\infty} x(iT_Д)\frac{\sin 2pF_В(t-iT_Д)}{2pF_В(t-iT_Д)}$$

Теорему Котельникова також можна використовувати й для випадкових сигналів. У цьому випадку вона формулюється таким чином: для випадкового процесу з односторонньою спектральною щільністю, яка відповідає умові Gx(f)=0 при f >$F_в$ ряд приймає вигляд

$$\sum_{t=-\infty}^{\infty} X(iT_Д)\frac{\sin 2pF_В(t-iT_Д)}{2pF_В(t-iT_Д)},$$

де $X(iT_д)$ — випадкові величини, що є значеннями випадкового процесу, які отримані через інтервали часу $T_д$=1/2Fв [5].

Наведемо приклад розрахунку часу дискретизації. Для цього приймемо, що процес зміни контрольованого параметра описується експоненційною функцією — x(t) = exp(–βt).

Спектр експоненційної функції є рівним:

$$X(щ)=\int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-ivt}dt=-\frac{1}{в+щ}e^{-t(в+iщ)}\Big|_0^{\infty}=$$

$$=-\frac{1}{в+iщ}(0-1)=\frac{1}{в+iщ},$$

де ω — частота спектру.

Таким чином, спектральна функція є величиною комплексною. Її модуль визначається так:

$$|X(щ)|=\frac{1}{\sqrt{в^2+щ^2}}=\frac{1/в}{\sqrt{1+\left(\frac{щ}{в}\right)^2}}.$$

Якщо позначити $T=\frac{1}{в}$, то x(t) = exp(–t/T) та

$$|X(щ)|=\frac{Г}{\sqrt{1+(щT)^2}}.$$

Необхідно відмітити, якщо $щ\to\infty$, то $|X(щ)|\to 0$. Таким чином, необхідно визначити верхню границю — $\omega_{гр}$. Якщо $щ=\frac{1}{T}$, то $|X(щ)|=\frac{T}{\sqrt{2}}$ а при $щ=\frac{2}{T}$, $|X(щ)|\approx 0{,}45T$ (рис.2).

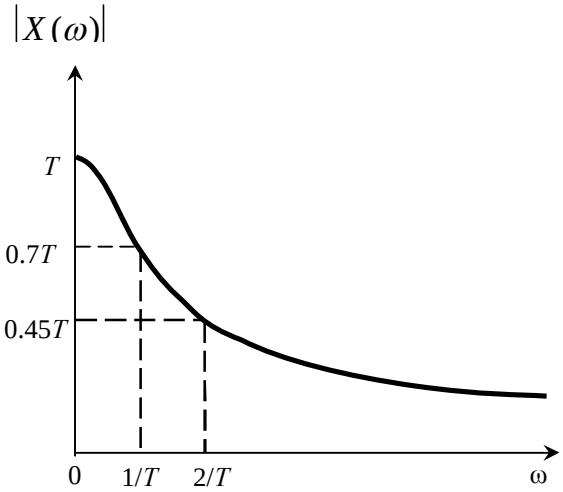

Рис.2. Модуль спектра експоненційної функції

Таким чином, якщо обрати значення модуля $|X(щ)|\approx 0{,}45T$, то $щ_{гр}$ =Fв=$\frac{2}{T}$. Звідси

$T_д$ = 1/2Fв = T/4, а так як $T=\frac{1}{в}$, то $T_д$ = 1/4β.

Крім того, приймається гіпотеза, що процес зміни значень параметра ОВТ ξ(t), що спостерігається, є стаціонарним. У цьому випадку значення дискретності часу фіксації значень процесу зміни параметрів ОВТ визначається, виходячи з передбачуваної моделі процесу змін значень параметру ξ(t) (як правило, як модель такого процесу вибирається часовий ряд [6]. Для формування моделі відповідно з результатами моніторингу процесу змін значень параметру ξ(t) будується апроксимуюча функція. Отримання такої функції в аналітичному вигляді дає можливість розрахувати її, після чого, виходячи із значень верхньої граничної

частоти спектра апроксимуючої функції, згідно з теоремою Котельникова, розраховується значення дискретності часу фіксації значень параметрів Δt. Слід відмітити, що при виконанні умови стаціонарності (квазістаціонарності) процесу на інтервалі спостереження значення Δt = const.

Однак реальні процеси зміни значень параметрів ОВТ найчастіше не є стаціонарними і в цьому випадку може знадобитися корекція як моделі, так відповідно й значення дискретності часу фіксації. Для цього в кожній точці фіксації t_i ($t_i \in T$, T — інтервал моніторингу параметра ξ(t)) значень параметра ξ(t) здійснюється розрахунок $\frac{do}{dt}$. Якщо $\left|\frac{do}{dt}\right| \square 0$, то модель процесу зміни значень параметра, що контролюється, не корегується, та відповідно на інтервалі спостереження значення Δt=const. Якщо після чергового шагу контролю, який здійснений в точці t_j, виконується умова $\left|\frac{do}{dt}\right| \square 0$, то знов виконується розрахунок спектру функції, її верхньої частоти та відповідно розраховується дискретність інтервалу спостереження Δt_{i+1}. Таким чином здійснюється корегування дискретності спостереження.

Після корегування моделі при наступному вимірюванні перевіряється стаціонарність процесу зміни значень параметра ξ(t) — розраховується друга похідна функції — моделі процесу змін значень параметрів — $o''(t)$. Якщо виконується умова $o''(t) = 0$, то модель не корегується, якщо $|o''(t)| \square 0$, то необхідно знову формувати модель процесу змін значень ξ(t).

Висновки й перспективи подальших досліджень

Запропоновано методичний підхід до визначення параметрів процесу моніторингу технічного стану озброєння та військової техніки під час експлуатації, в основу якого покладено суто математичний розрахунок дискретності спостереження процесу зміни значень параметрів технічного стану озброєння та військової техніки як складних організаційно-технічних об'єктів, деградація яких відбувається з плином часу.

Запропонований методичний підхід також передбачає створення можливості корегування виду або типу функцій, які описують процеси зміни значень параметрів та характеристик технічного стану. Корегування є можливим та доцільним у випадку нестаціонарності процесу, що спостерігається.

Перспективами подальших досліджень може бути пошук інших підходів до визначення параметрів процесу моніторингу технічного стану озброєння та військової техніки під час експлуатації. В першу чергу, це стосується подальшого удосконалення раніше розробленого методичного апарату вибору оптимальної (або раціональної) сукупності діагностичних параметрів та характеристик, які з достатнім ступенем вірогідності описують технічний стан озброєння та військової техніки.

Література

1 ДСТУ «Науково-технічний моніторинг об'єктів будівництва» (проект).

2 ДБН В.1.3-2:2010 «Геодезичні роботи у будівництві» / Київ, Мінрегіонбуд. 2010. – 55 с.

3 Булатов А.И. Контроль процессов бурения нефтяных и газовых скважин / Булатов А.И., Демихов В.И., Макаренко П.П. – М.: «Недра», 1998. – 345 с.

4 Зеленцов В.А. Методология создания и применения интеллектуальных информационных технологий наземно-космического мониторинга сложных объектов / В.А. Зеленцов, А.П. Ковалев, М.Ю. Охтилев, Б.В. Соколов, Р.М. Юсупов / Труды СПИИРАН. 2013. Вып. 5(28). – С. 7–81.

5 Радиотехнические системы передачи информации / Под ред. В.В. Калмыкова. – М.: Радио и связь, 1990. – 304 с.

6 Венгринович В.Л. Мониторинг технического состояния. Анализ рисков в технических системах / Неразрушающий контроль и диагностика № 2, 2014. – С.3–25.

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА МОНИТОРИНГА ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ ВО ВРЕМЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Вячеслав Леонидович Козачук *(канд. техн. наук, с.н.с.)*

Василий Петрович Харченко *(канд. воен. наук, с.н.с.)*

Центральный научно-исследовательский институт Вооруженных Сил Украины, Киев, Украина

В нынешнее время мониторинг как исследовательский прием применяют во многих областях экономики. Но как и всякий процесс мониторинг должен иметь определенные параметры. В первую очередь это касается такого параметра, как дискретность наблюдения или фиксации значений

характеристик и параметров, которые характеризуют состояние объекта, за которым ведется наблюдение. Существующие методы определения дискретности имеют весомые недостатки, которые существенно ограничивают сферу применения, поэтому возникает необходимость разработки нового методического подхода расчета этого параметра мониторинга. Решение такой задачи становится возможным при условии применения теоремы Котельникова, известной также как теорема дискретности. Согласно этой теореме сперва рассчитывается спектр функции, которая описывает процесс изменения значений параметра сигнала, за которым осуществляется мониторинг, определяется верхняя частота спектра и рассчитывается дискретность наблюдения. Затем определяются условия коррекции полученной модели в условиях не стационарности наблюдаемого процесса.

Ключевые слова: *мониторинг, теорема Котельникова, дискретность, наблюдение, техническое состояние, аппроксимация.*

METHODICAL APPROACH TO DETERMINING PARAMETERS OF THE PROCESS OF MONITORING THE TECHNICAL CONDITION OF WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT AT OPERATION

Vyacheslav L. Kozachuk ***(Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow)***
Vasyl P. Kharchenko ***(Candidate of Military Sciences, Senior Research Fellow)***
The Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine, Kiev, Ukraine

The monitoring is used as a method of research in many areas of the economy. But like every process, the monitoring ought to have certain parameters. First of all, this concerns such a parameter as the discreteness of observation or fixation of values of characteristics and parameters that characterize the state of the object, which is being monitored. Existing methods for determining discreteness have significant drawbacks, which substantially limit the scope of application, so it becomes necessary to develop a new methodological approach to calculating this monitoring parameter. The solution of such problem becomes possible with condition of applying the Kotelnikov's theorem, also known as the theorem of discreteness. According to this theorem, the function spectrum is first calculated that describes the process of changing the values of the signal parameter, which is monitored, the upper frequency of the spectrum is determined, and the discreteness of the observation is calculated. Then the conditions for correcting the obtained model are determined in conditions of non-stationarity of the observed process.

Keywords*: monitoring, Kotelnikov's theorem, technical condition, discreteness, observation, approximation.*

References

1 DSTU "Scientific and technical monitoring of construction projects" (project).

2 DBN V.1.3-2: 2010 "Geodetic works in construction" / Kyiv, Minregionstroy. 2010. - 55 p.

3 Bulatov A.I. Control of drilling processes of oil and gas wells / Bulatov A.I., Demikhov V.I., Makarenko P.P. - M .: "Nedra", 1998. - 345 p.

4 Zelentsov V.A. Methodology of creation and application of intelligent information technologies for ground-space monitoring of complex objects / V.A. Zelentsov, A.P. Kovalev, M.Yu. Okhtilev, B.V. Sokolov, R.M. Yusupov / Proceedings of SPIIRAS. 2013. Vol. 5 (28). - p. 7-81.

5 Radiotechnical systems of information transmission, Ed. V.V. Kalmykov. - M .: Radio and Communication, 1990. - 304 p.

6 Vengrinovich V.L. Monitoring of technical condition. Risk analysis in technical systems / Nondestructive testing and diagnostics № 2, 2014. - p.3-25