

Принципи автоматизованих системних розрахунків в технологічному аналізі
Принципы автоматизированных системных расчетов в технологическом анализе
Principles of automated system calculations in technological analysis

науковий керівник – докт. техн. наук, проф. каф. «Технологія машинобудування»

Ларшин В. П., Ларшин В. П., Larshin V.

Студент Особа Д. О., Особа Д. А., Osoba D.

Анотація: Показана можливість системних інженерних (технологічних) розрахунків з використанням теоретико-імовірнісного і частотного принципів, які дозволяють в умовах автоматизованого інженерного розрахунку прогнозувати параметри стану технологічної системи шліфування складно-профільних деталей машин (різьблення ходових гвинтів, западини зубчастих коліс, складні поверхні біомедичних імплантів тощо).

Ключові слова: теоретико-імовірнісний підхід, частотний підхід, систематична складова сигналу, випадкова складова сигналу, теорія випадкових процесів, пряме і зворотне перетворення Фур'є.

Аннотация: Показана возможность системных инженерных (технологических) расчётов с использованием теоретико-вероятностного и частотного принципов, которые позволяют в условиях автоматизированного инженерного расчёта прогнозировать параметры состояния технологической системы шлифования сложно-профильных деталей машин (резьба ходовых винтов, впадины зубчатых колес, сложные поверхности биомедицинских имплантов и т.п.).

Ключевые слова: теоретико-вероятностный подход, частотный подход, систематическая составляющая сигнала, случайная составляющая сигнала, теория случайных процессов, прямое и обратное преобразование Фурье.

Annotation: The possibility of system engineering (technological) calculations using the theoretico-probabilistic and frequency principles is shown; in the conditions of automated engineering calculation they allow to predict the grinding system state parameters for complex shaped machine elements (thread of lead screws, gaps of gear wheels, complex surfaces of biomedical implants, etc.).

Keywords: theoretico-probabilistic approach, frequency approach, systematic signal component, random signal component, theory of random processes, direct and inverse Fourier transform.

Технології машинобудування як науці про процеси відповідають два загальнонаукових принципи: теоретико-імовірнісний [1] і частотний [2] (далі підходи). Відповідно до теоретико-імовірнісного підходу будь-який параметр процесу, перетворений в інформаційний сигнал, є комбінацією двох компонентів: систематичної (детермінованої, регулярної) і випадкової (стохастичної, іррегулярної). Оскільки параметри реального процесу рідко можуть бути детермінованими, то в цьому змісті детермінована величина може описувати якийсь абстрактний, віртуальний, тобто реально не існуючий процес. Висновки, які можна витягти з моделювання детермінованого процесу можуть виявитися корисними для практики, якщо вони стосуються, не абсолютної величини, а яких-небудь виявлених тенденцій (тренд, поведінка). Випадкова величина також має місце в технологічному аналізі, наприклад, при оцінці і моделюванні нерівностей обробленої поверхні (шорсткість, хвилястість, відхилення форми), розподілі припуску по зубах зубчастого колеса, при аналізі вібрацій у пружній системі металорізального верстата, при оцінці похибки експерименту і/або виміру [3]. Є відповідний математичний апарат теорії випадкових процесів, що використовують для прийняття технологічних рішень. У цьому випадку розглянуті технологічні параметри (припуск на обробку, параметри шорсткості поверхні тощо) є статистичними (не детермінованими) і, отже, визначаються відповідними законами розподілу випадкової величини, наприклад, законами розподілу Гауса, Ст'юдента тощо, мають середнє значення і довірчий інтервал.

Як правило, у технологічних дослідженнях частіше має місце композиція двох складових процесу: систематичної (детермінованої) компоненти, яка визначає тренд, і випадкової, накладеної на цей тренд. Основні технологічні закономірності проявляються в зміні детермінованої складової (наприклад, при багатофакторному плануванні експерименту), а випадкова складова є при цьому «шумовою» і характеризує надійність оцінки встановлюваної закономірності. Із цієї причини теоретико-імовірнісний підхід [4] за своєю суттю і математичному апарату відповідає природі реального технологічного процесу (операції), у тому числі на настроєних верстатах у серійному виробництві і на верстатах з ЧПК в дрібносерійному і одиничному виробництві.

Відповідність частотного підходу природі технологічних процесів механічної обробки, тобто первинній зміні технологічних параметрів у часі, слідує із сутності інтегрального перетворення Фур'є, призначеного для трансформації часових параметрів процесу в частотні параметри (пряме перетворення Фур'є) і назад із частотних параметрів у часові параметри (зворотне перетворення Фур'є). Частотне представлення технологічних параметрів у вигляді

відповідних сигналів дозволяє приймати ефективні технологічні рішення шляхом внесення відповідний коректив у передатні функції технологічної системи. Наприклад, корективи в режими різання можуть бути внесені для забезпечення сталої роботи технологічної системи, тобто для виводу її з нестійкого стану. Іншим прикладом ефективності частотного підходу є поділ спектра нерівностей обробленої поверхні на частотні складові, які відповідають категоріям шорсткості, хвилястості і відхиленням форми профілю. Цю математичну операцію виконують за допомогою цифрових фільтрів, у тому числі фазокоректуючих або за спеціальним алгоритмом [5].

Позитивною якістю розглянутої методології двох підходів (теоретико-імовірнісного і частотного) є природна взаємодія цих підходів, оскільки результати теоретико-імовірнісного моделювання (математичного опису) технологічних параметрів і результати їхнього експериментального вимірювання можуть бути піддані частотному перетворенню Фур'є. При цьому можливі наступні випадки: систематична складова сигналу превалює над випадковою складовою сигналу або не превалює. У першому випадку, говорять, наприклад, про періодичний сигнал. У протилежному випадку (випадкова компонента сигналу більше систематичної компоненти) говорять про аперіодичний сигнал. Кількісне співвідношення між систематичною і випадковою компонентами виявляють за допомогою автокореляційної функції вихідного сигналу [5].

Практика технологічних досліджень підтверджує правомірність подання технологічного сигналу у вигляді суми систематичної (періодичної, полігармонійної) і випадкової (аперіодичної, іррегулярної) складових. Наприклад, за цим принципом побудовано європейські (ISO) або американські (ANSI, ASME) стандарти по шорсткості і хвилястості поверхні. Такий принцип дозволяє, наприклад, встановити взаємозв'язок між періодичними сигналами вібрацій і хвилястістю обробленої поверхні. У загальному випадку теоретико-імовірнісний підхід або віднесення досліджуваної технологічної до типу детерміновано-стохастичної є науковою гіпотезою дотепер не спростованою технологічною практикою.

Для часових сигналів з переважаючою систематичною компонентою їхнє частотне подання за Фур'є має вигляд дискретного спектра, тобто кожної явно вираженій амплітуді гармоніки відповідає певна частота. Тому, зворотне перетворення Фур'є може бути виконане шляхом суперпозиції відповідних явно виражених і дискретних гармонійних складових. Амплітуду цих складових беруть із амплітудно-частотної характеристики сигналу, а фазу – з його фазочастотної характеристики.

Особливістю технологічних досліджень є обмежений часовий інтервал спостереження сигналу, що характеризує технологічний параметр. Наприклад, запис вібрацій у пружній системі металорізального верстата виконують на дискретних, обмежених інтервалах часу тривалістю 0,2 секунди при частоті дискретизації вихідного часового сигналу 30 кГц. Цей незначний за тривалістю часовий інтервал (0,2 с.) перетворюють у відповідний спектр сигналу і спостерігають за зміною частотних компонентів сигналу в часі. При цьому поточний час складається із суми інтервалів тривалістю 0,2 с. При вимірюванні припуску на окремих западинах зубчастого колеса весь інтервал зміни припуску характеризується довжиною вимірювальної окружності $2\pi R$, де R – радіус вимірювальної окружності зубчастого колеса. Ще одним прикладом обмеженості довжини часового інтервалу спостереження є довжина трасування при вимірі щупом параметрів якості поверхні. Обмеженість зазначеного інтервалу спостереження призводить до декількох складностей застосування зазначених методологічних підходів. По-перше, подання будь-якої часової періодичної функції у вигляді дискретного спектра, тобто у вигляді ряду Фур'є, можливе, якщо зазначена функція існує на нескінченному інтервалі часу. Усяке обмеження цього інтервалу за часом або координатою, що характеризує час, порушує вимоги нескінченності спостережуваного процесу (періодичного або аперіодичного). Це призводить до неможливості гармонійного подання сигналу у вигляді ряду Фур'є (або дискретного частотного спектра). У цьому випадку перетворення Фур'є виражають інтегралом Фур'є. Він дає безперервний спектр у функції частоти зміни сигналу. Аналогом амплітуди сигналу в спектрі є спектральна щільність сигналу. По-друге, при обмеженому (за часом або координатою) сигналі цей сигнал часто містить постійну складову, що має ту ж саму обмежену довжину за часом або координатою. Із властивості лінійності перетворення Фур'є слідує, що вихідний частотний спектр буде містити спектральну частину від одиночного прямокутного імпульсу, довжина якого дорівнює зазначеному відрізку координати. Спектр цього сигналу є безперервним і описується спеціальною функцією $\text{sinc}(x)$. Цей спектр може превалювати над спектром змінної частини сигналу, що може «звести нанівець» результати частотного аналізу сигналу. По-третє, завданням є вибір частоти дискретизації вихідного сигналу, виходячи з необхідного діапазону частот цього сигналу в його частотному поданні. Таке завдання виникає при виборі оптимального числа вимірів припуску на зубошліфування в окремих (не всіх) западинах зубчастого колеса.

Список літератури

1. Хусу А. П. Шероховатостьповерхностей (теоретико-вероятностныйподход) / А. П. Хусу, Ю. Р. Витенберг, В. А. Пальмов.; под ред. А. А. Первозванского. – М.: Наука, 1975. – 344 с.
2. Хемминг Р. В. Цифровыефильтры / Хемминг Р. В.; [пер. с англ.]; под ред. А. М. Трахтмана. – М.: Сов. Радио, 1980. – 224 с.
3. Лищенко Н. В. Спектральныйанализ при измерении параметров шероховатости и волнистости фрезерованной поверхности / Н. В. Лищенко, В. П. Ларшин, Ф. С. Сабиров // Сучасні технології в машинобудуванні: зб. наук. праць. – Харків: НТУ «ХПІ», 2015. – Вип.10. – С.222–234.
4. Ларшин В. П. Теоретико-вероятностный и частотный подходы в технологическом анализе / В. П. Ларшин, Н. В. Лищенко, В. В. Нежебовский // Физические и компьютерные технологии в нар. хоз-ве: Тр.22 междунар. науч.-техн. конф. – Харьков: ХНПК «ФЭД», 2016. – С. 208–212.
5. Larshin, V. & Lishchenko, N. (2020) “Detecting Systematic and Random Component of Surface Roughness Signal”, Scientific Journal Herald of Advanced Information Technology, Odessa, Ukraine, Publ, Science and Technical, Vol. 3, No. 2, pp. 61-71. DOI: 10.15276/hait.03.2019.3.

Науковий керівник:

Ларшин Василь Петрович,

Ларшин Василий Петрович,

Larshin Vasily,

Особа Дмитро Олександрович,

Особа Дмитрий Александрович,

Osoba Dmitry.