

ІНФОРМАЦІЙНО-ДІАГНОСТИЧНІ СИСТЕМИ

УДК 621.891:620.11

С.Ф. Філоненко, д.т.н., проф.
І.К. Корнієнко, асп.
Т.М. Косицька, к.х.н.

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ СИГНАЛІВ КОЛИВАНЬ НА ДОСТОВІРНІСТЬ ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ЗМІЩЕНЬ КОНСТРУКЦІЙ

Розглянуто результати експериментальних досліджень впливу інтервалу дискретизації реєстрованих сигналів прискорення і швидкості коливань на амплітуди сигналів зміщення після виконання операції перетворень. Показано основні закономірності зміни вихідних амплітуд сигналів швидкості та зміщення від часу перетворення при заданих інтервалах дискретизації. Визначено, що інтервал дискретизації не впливає на зміни максимальних амплітуд перетворених сигналів за умови, що перетворення виконуються з постійною часу, величина якої дорівнює половині періоду вхідних сигналів швидкості та прискорення коливань.

The results of experimental researches of influencing a sampling interval of registered acceleration and speed oscillation signals on amplitudes the signals of speed and displacement, after fulfillment the conversions operations are reviewed. Are shown the main regularity a change of signals speed and displacement output amplitudes from time of conversion at given sampling intervals. Is determined, that the sampling interval does not influence to change a maximum amplitudes of converted signals provided that the conversion implements from time constants, that value is peer to which one to half part of period a speed and acceleration oscillations input signals.

амплітуда сигналу, динамічні зміщення, інтервал дискретизації, цифрове перетворення, швидкість коливань

Постановка проблеми

Методологія діагностики мостових конструкцій базується на обробці інформації, що отримують при проведенні статичних і динамічних видів випробувань, описано в працях [1–7].

У разі динамічних випробувань визначають динамічні зміщення, які використовують для розрахунків просторової роботи конструкції в динамічних умовах, а також динамічного коефіцієнта [8–11].

Для дослідження динамічних характеристик мостових конструкцій широкого застосування набули датчики прискорення п'єзокерамічного типу і датчики швидкості індукційного типу. Як показано в працях [12; 13], їх використання дозволяє визначати і контролювати спектральні характеристики конструкцій. Проте визначення динамічних зміщень, що виникають у процесі ударного, динамічного переміщеного або безперервного вібраційного навантаження конструкцій, викликає певні труднощі. Це обумовлено тим, що сигнали, які реєструються на виході датчиків цього типу, несуть інформацію про прискорення і швидкість коливань. А для отримання інформації про зміщення необхідно проводити перетворення сигналів прискорення і швидкості в сигнал зміщення.

Перетворення виконують з використанням операцій відповідно подвійного і одинарного інтегрування. Їх реалізація потребує вибору постійної часу інтегрування.

Відмінність конструктивних рішень мостових конструкцій і наявність широкого спектру основних мод їх коливань обумовлює труднощі у виборі постійної часу інтегрування. Наслідком цього є те, що датчики прискорення і швидкості коливань, не дивлячись на значні їх переваги (високу чутливість, широкий динамічний діапазон і смугу пропускання), практично не використовуються при визначенні динамічних зміщень конструкцій.

У роботах [13; 14] наведено результати впливу постійної часу інтегрування на амплітуду вихідного сигналу зміщення при проведенні перетворення сигналів прискорення і швидкості.

Залежність зміни амплітуди сигналу зміщення від постійної часу перетворення має дзвоноподібний характер. При цьому максимальна амплітуда сигналу зміщення відповідає значенню постійної часу перетворення δ , що дорівнює половині періоду T_1 реєстрованого сигналу коливань, тобто $\delta = T_1/2$. Це дозволило розробити метод визначення динамічних зміщень конструкцій.

У його основі лежить попередня обробка спектру коливань конструкції з визначенням основної моди, подальший вибір постійної часу інтегрування і проведення перетворення сигналів прискорення або швидкості в сигнал зміщення. Результати експериментальних досліджень [13–16] показали високу достовірність визначення динамічних зміщень конструкцій.

У той же час у вираз для проведення амплітудно-часового перетворення сигналів прискорення і швидкості коливань у процесі цифрової обробки входить інтервал дискретизації, значення якого може змінюватися в широких межах. З точки зору достовірності визначення динамічних характеристик конструкцій важливим є визначення впливу інтервалу дискретизації вхідних сигналів (перетворення аналогових сигналів у цифрові коди) на параметри вихідних сигналів зміщення.

Мета роботи – показати, що при зміні величини інтервалу дискретизації аналогових сигналів прискорення і швидкості коливань після проведення їх подвійного або одинарного перетворення в сигнал зміщення не спостерігається відхилення у закономірностях зміни амплітуди сигналу зміщення від постійної часу інтегрування. Залежності мають дзвоноподібний характер.

Закономірності зберігаються як для модельних синусоїдальних сигналів, так і для реальних загасаючих сигналів коливань. При цьому максимум амплітуди сигналу зміщення відповідає значенню постійної часу перетворення, що дорівнює половині періоду реєстрованого сигналу.

При незмінних значеннях параметрів вхідних сигналів амплітуда сигналу зміщення не залежить від інтервалу дискретизації і залишається постійною величиною. Визначено помилки відхилення в отриманих залежностях, які показують високу достовірність перетворення сигналів прискорення і швидкості коливань у сигнал зміщення, відповідно до розробленого методу визначення динамічних зміщень конструкцій.

Методика досліджень

На першому етапі дослідження впливу інтервалу дискретизації на амплітуду сигналу зміщення після перетворення сигналів прискорення і швидкості коливань обробляли стандартний сигнал синусоїдальної форми.

На другому етапі досліджували реальний загасаючий сигнал коливань, що виникає в балці під час її ударного навантаження. При цьому вхідні сигнали мали постійну амплітуду і частоту.

Для проведення досліджень використана методика і установки, які розглянуто в роботі [13]. Структурну схему установок показано на рис. 1. Стандартний сигнал синусоїдальної форми, розглядався як імітаційний сигнал швидкості і прискорення коливань, який формували на виході генератора і подавали на вхід діагностичного комплексу "FREQS" (рис. 1, а).

Він забезпечував перетворення аналогового сигналу в цифрові коди з інтервалом дискретизації Δt . Далі сигнал записували в мобільний комп'ютер (МК) і формували логічний масив даних. Аналоговий синусоїдальний сигнал мав постійні значення частоти f_1 (періоду T_1) і амплітуди U_1' і U_1'' відповідно для швидкості і прискорення коливань.

Величина інтервалу дискретизації змінювалась у діапазоні значень

$$\Delta t = 68,73\text{--}1695,0 \text{ мкс.}$$

Після реєстрації обробляли сигнал з його перетворенням у сигнал зміщення з заданим значенням часу перетворення δ .

Для кожного значення інтервалу дискретизації Δt виконували побудову спектру сигналу швидкості та прискорення, залежності зміни вихідної амплітуди сигналу зміщення від часу перетворення δ і спектру сигналу зміщення. Величина часу перетворення δ сигналів швидкості і прискорення в сигнал зміщення змінювалась в діапазоні значень

$$\delta = (T_1/16) \text{--} (14T_1/16),$$

де

T_1 – період вхідного сигналу.

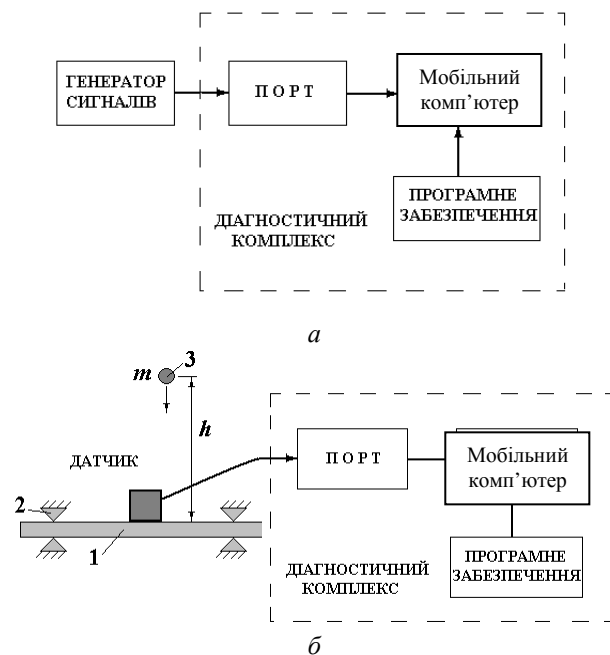


Рис. 1. Структури установок для реєстрації і оброблення сигналів коливань:

а – діагностичний комплекс "FREQS";

б – балка під ударним навантаженням із встановленим датчиком;

1 – дерев'яна балка;

2 – опори кріплення;

3 – кулька, наповнена піском

Так само будували залежності зміни амплітуди вихідного сигналу зміщення в процентному відношенні до максимальної амплітуди і аналіз залежності зміни максимальної амплітуди сигналу зміщення від інтервалу дискретизації вхідного сигналу швидкості і прискорення.

Загасаючі коливання збуджували в балці і ударним вантаженням (рис. 1, б).

Балка розміром 12×30 мм була виготовлена з дубу. Довжина балки між ділянками жорсткого закріплення 2 становила 700 мм. Збудження коливач здійснювали за допомогою кульки 3, наповненої піском, яка падала з постійної висоти h . Маса кульки $m = 50$ г, а висота її падіння $h = 150$ мм.

Колівання реєстрували п'єзокерамічним датчиком прискорення типу А1612 та індукційними датчиками швидкості СВ-5 і СВ10-Ц.

Датчики кріпили до балки за допомогою струбцини. Сигнал з виходу датчиків подавали на вхід діагностичного комплексу "FREQS".

При ударному навантаженні виконувалася постійність умов збудження коливач балки і, як наслідок, постійність параметрів сигналів прискорення і швидкості (постійність максимальної амплітуди і частоти сигналів коливач).

Після реєстрації сигналів подальші процедури його перетворення в сигнал зміщення, обробки, аналізу і результатів здійснювали, як і для модельних сигналів швидкості і прискорення коливач.

Результати досліджень

На першому етапі досліджень сигнал мав постійні параметри:

для сигналу швидкості – амплітуда $U'_1 = 5,25$ В;
частота $f_1 = 5,0$ Гц;

для сигналу прискорення – амплітуда $U''_1 = 5,25$ В;
частота $f_1 = 5,0$ Гц.

Обидва типи сигналів подавали на вхід діагностичного комплексу (рис. 1, а), де їх обробляли і аналізували, згідно з розробленою методикою.

Обробка отриманих результатів показала, що для всіх значень інтервалу дискретизації Δt у діапазоні

$$\Delta t = 68,73\text{--}1695,0 \text{ мкс}$$

проведення перетворення сигналу швидкості в сигнал зміщення приводить до зменшення його амплітуди.

Однак таке перетворення не впливає на його спектр, тобто резонансні частоти, які визначені за спектрами сигналів швидкості і зміщення, рівні між собою.

При постійній амплітуді вхідного сигналу швидкості і заданій величині інтервалу дискретизації ($\Delta t = \text{const}$) зміна часу його перетворення δ у сигнал зміщення, в діапазоні значень

$$\delta = (T_1/16) - (14T_1/16),$$

приводить до нелінійності зміни його амплітуди. Залежності зміни амплітуди сигналу зміщення від часу перетворення для значень інтервалу дискретизації Δt вхідного сигналу швидкості (68,73 і 1695,0 мкс) показано на рис. 2, а, в (амплітуда $U'_1 = 5,25$ В, частота $f_1 = 5,0$ Гц).

Аналогічні залежності отримані для всіх досліджених величин інтервалу дискретизації в заданому діапазоні значень. З отриманих результатів видно, що залежності зміни амплітуди сигналу зміщення від часу перетворення сигналу швидкості для різних значень інтервалу дискретизації мають дзвоноподібний характер (рис. 2, а, в). Максимальне значення амплітуди сигналу зміщення відповідає часу перетворення $\delta = T_1/2$.

З рис. 2, б, г видно, що залежності відхилення амплітуди сигналу зміщення від максимального значення в процентному відношенні мають обернений характер. При цьому для всіх експериментальних даних, не залежно від значення інтервалу дискретизації сигналу швидкості, в діапазоні значень часу перетворення

$$\delta = 0,4T_1 - 0,6T_1$$

помилка відхилення амплітуди сигналу зміщення від максимальної величини не перевищує 5 %. Результати досліджень добре узгоджуються з результатами, отриманими в роботі [13].

Обробка експериментальних даних показала, що залежність зміни максимальної амплітуди сигналу зміщення від інтервалу дискретизації сигналу швидкості має лінійний характер (рис.3).

Залежність, що показана на рис. 3, отримана при проведенні перетворення сигналу швидкості у сигнал зміщення з постійною часу $\delta = T_1/2$ (амплітуда $U'_1 = 5,25$ В, частота $f_1 = 5,0$ Гц).

Аналіз результатів (рис. 3) з використанням пакета прикладних програм "Origin" показав, що залежність зміни максимальної амплітуди сигналу зміщення від інтервалу дискретизації описується функцією вигляду

$$U_{2\text{max}} = A + B\Delta t, \quad (1)$$

де

A і B – константи ($A = 398,5$; $B = -0,0482$).

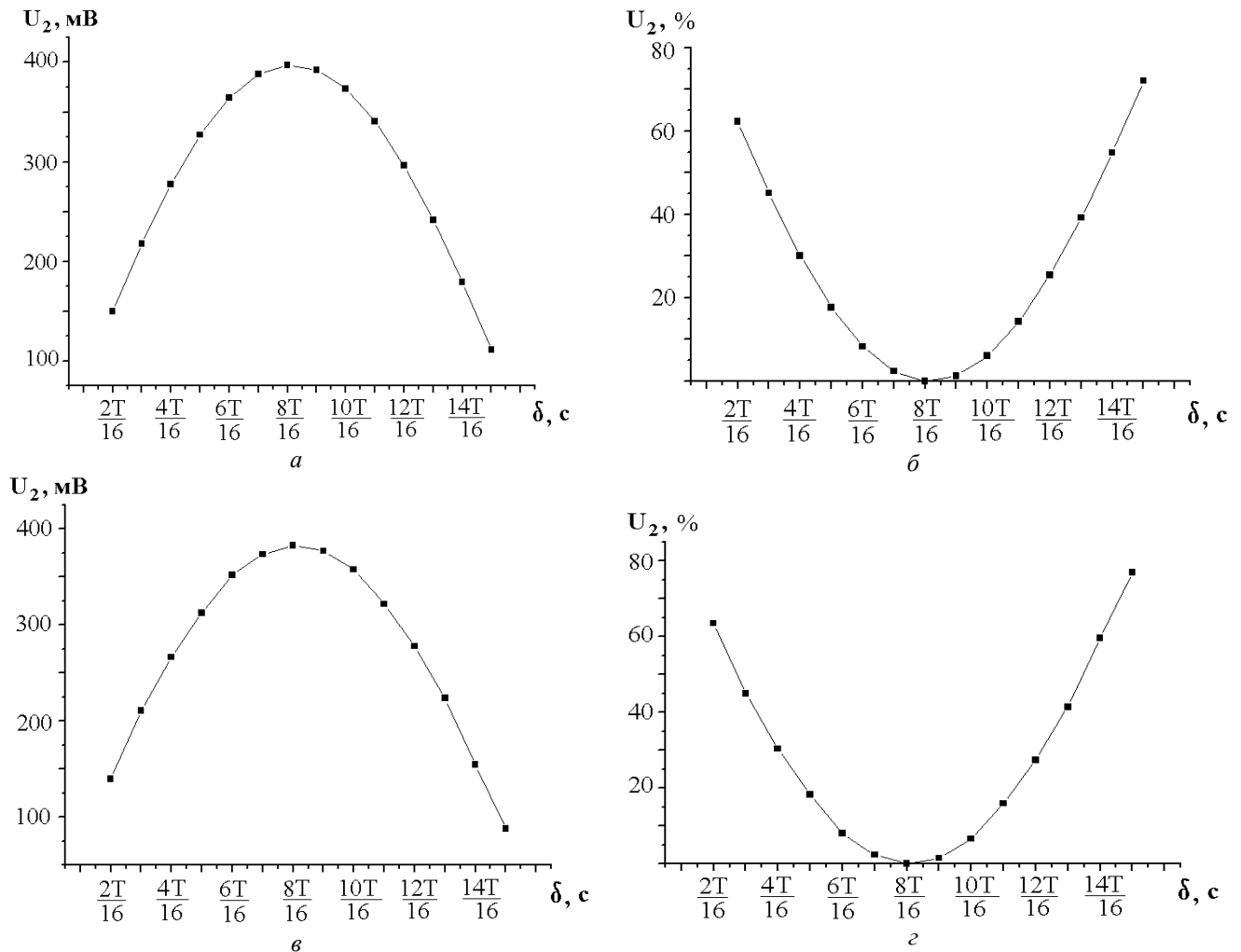


Рис. 2. Зміна амплітуди сигналу зміщення (а, б) і її процентного відхилення від максимального значення (в, г) залежно від часу перетворення δ для модельного синусоїдального сигналу швидкості коливаний:
 а, б – $\Delta t = 68,73$ мкс;
 в, г – $\Delta t = 1695,0$ мкс

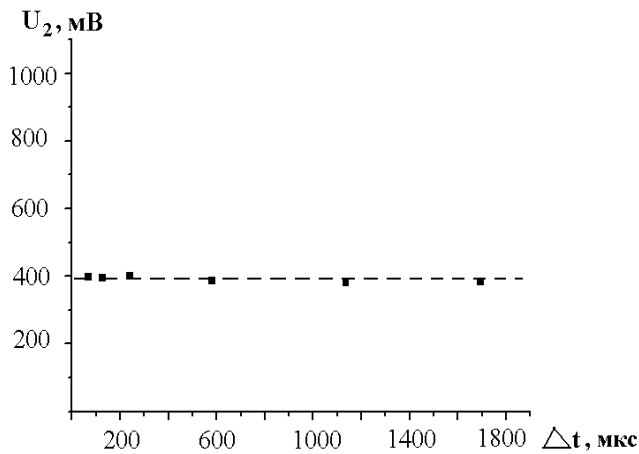


Рис. 3. Залежність зміни максимальної амплітуди сигналу зміщення після перетворення сигналу швидкості з часом перетворення $\delta = 0,5 T_1$

Дисперсія для ймовірності $p = 0,9621$ становить $\sigma^2 = 7,15$, а відносна помилка відхилення амплітуди зміщення від середнього значення у всьому заданому діапазоні значень інтервалу дискретизації не перевищує $\Delta U_{2\max} = \pm 0,7\%$.

Аналогічні дослідження були проведені для імітаційного сигналу прискорення коливаний. Його обробка здійснювалася з використанням подвійного перетворення, тобто перетворення спочатку в сигнал швидкості, а потім у сигнал зміщення. Результати досліджень показали, що для всіх значень інтервалу дискретизації Δt у діапазоні $\Delta t = 68,73\text{--}1695,0$ мкс перетворення сигналу прискорення в сигнали швидкості і зміщення приводить до зменшення їх амплітуди, проте не впливає на спектри сигналів після перетворення.

При постійній амплітуді вхідного сигналу прискорення і заданій величині інтервалу дискретизації ($\Delta t = \text{const}$) зміна часу його перетворення δ у сигнал швидкості, а потім зміщення, в діапазоні значень $\delta = (T_1/16) - (14T_1/16)$, приводить до нелінійності зміни вихідної амплітуди як сигналу швидкості, так і сигналу зміщення.

Залежності зміни амплітуди сигналу зміщення від часу перетворення для значень інтервалу дискретизації Δt вхідного сигналу прискорення (68,73 і 1695,0 мкс) показано на рис. 4, а, в (амплітуда $U'_1 = 5,25$ В, частота $f_1 = 5,0$ Гц).

Аналогічні залежності отримані для всіх досліджених величин інтервалу дискретизації в заданому діапазоні значень.

Залежності зміни амплітуди сигналу швидкості, після перетворення сигналу прискорення, від часу перетворення δ повністю відповідають залежностям, показаним на рис. 2, а, в.

З рис. 4, а, в видно, що залежності зміни амплітуди сигналу зміщення від часу перетворення сигналу прискорення для різних значень інтервалу дискретизації мають дзвоноподібний характер.

Максимальне значення амплітуди сигналу зміщення відповідає часу перетворення $\delta = T_1/2$.

Проте на графіку залежностей, в районі максимальної амплітуди, є поличка. Залежності відхилення амплітуди сигналу зміщення від максимального значення в процентному відношенні мають обернений характер (рис. 4, б, г). При цьому для всіх експериментальних даних незалежно від значення інтервалу дискретизації сигналу прискорення в діапазоні значень часу перетворення $\delta = 0,4T_1 - 0,67T_1$.

Помилка відхилення амплітуди сигналу зміщення від максимальної величини не перевищує 5 %. Отримані результати добре узгоджуються з даними, наведеними в роботі [14].

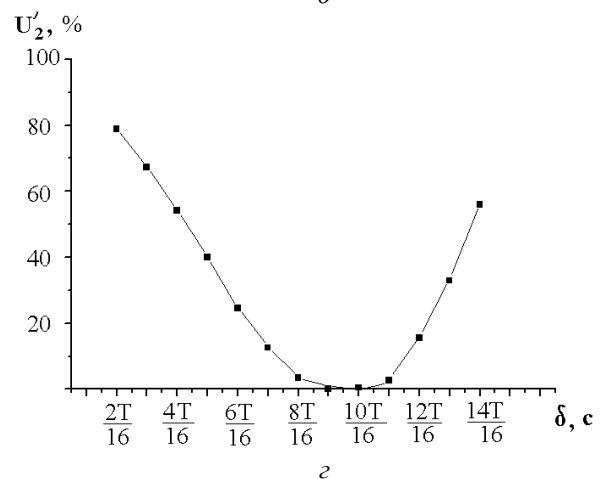
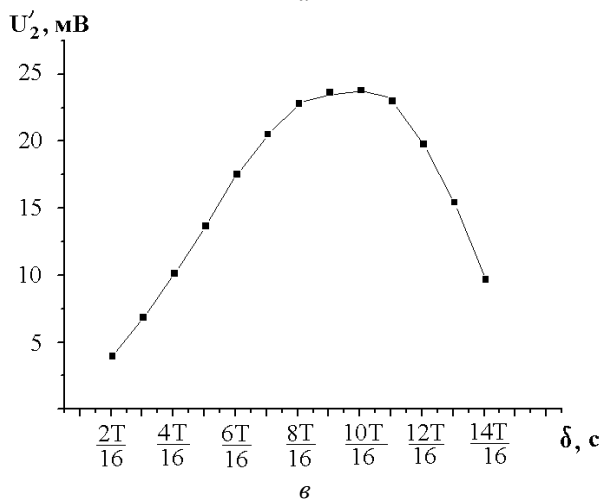
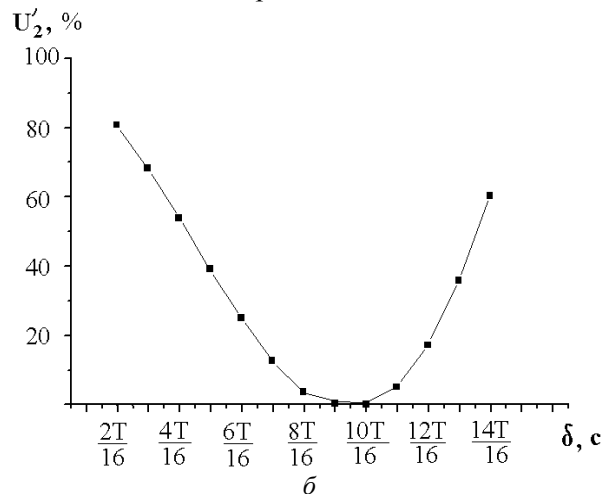
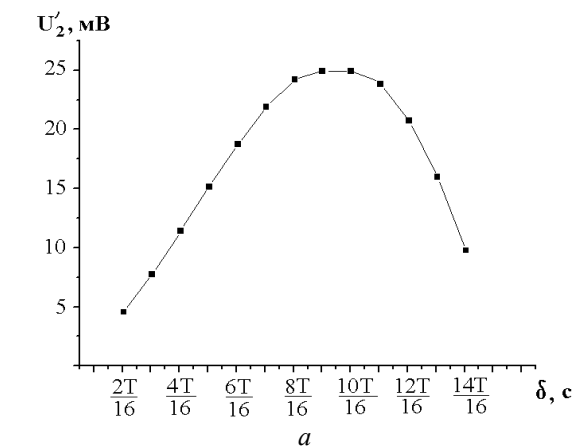


Рис. 4. Зміна амплітуди сигналу зміщення (а, б) і її процентного відхилення від максимального значення (в, г) залежно від часу перетворення δ для модельного синусоїдального сигналу прискорення коливачів:
 а, б – $\Delta t = 68,73$ мкс;
 в, г – $\Delta t = 1695,0$ мкс

Обробка результатів показала, що залежність зміни максимальної амплітуди сигналу зміщення від інтервалу дискретизації сигналу прискорення має лінійний характер (рис. 5). Залежність отримана при проведенні перетворення сигналу прискорення в сигнал швидкості і зміщення з постійною часу $\delta = T_1/2$ (амплітуда $U'_1 = 5,25$ В, частота $f_1 = 5,0$ Гц).

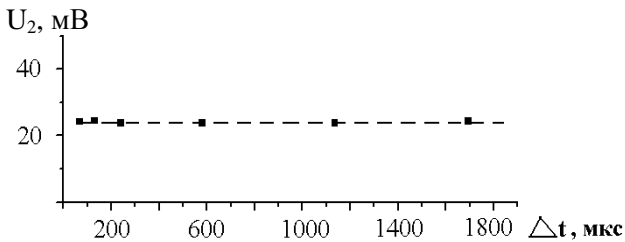


Рис. 5. Залежність зміни максимальної амплітуди сигналу зміщення після подвійного перетворення сигналу прискорення з часом перетворення $\delta = 0,5 T_1$ від інтервалу дискретизації сигналу прискорення

Обробка даних показала, що залежність зміни максимальної амплітуди сигналу зміщення від інтервалу дискретизації після подвійного перетворення модельного сигналу прискорення описується лінійною функцією (1): $A = 24,5$; $B = -0,0013$.

Дисперсія для ймовірності $p = 0,9778$ становить $\sigma^2 = 0,431$. Відносна помилка відхилення амплітуди сигналу зміщення від середнього значення у всьому заданому діапазоні значень інтервалу дискретизації не перевищує $\Delta U_{2\max} = \pm 0,9\%$.

Загасаючі коливання реєстрували датчиками швидкості СВ10Ц, СВ5-Ц і датчиками прискорення типу А1612. Обидва типи сигналів подавали на вхід діагностичного комплексу (рис.1, б), де їх обробляли і аналізували згідно з розробленою методикою.

Типовий сигнал швидкості загасаючих коливань, зареєстрований датчиком СВ10-Ц, його спектр, сигнал зміщення і його спектр показано на рис. 6.

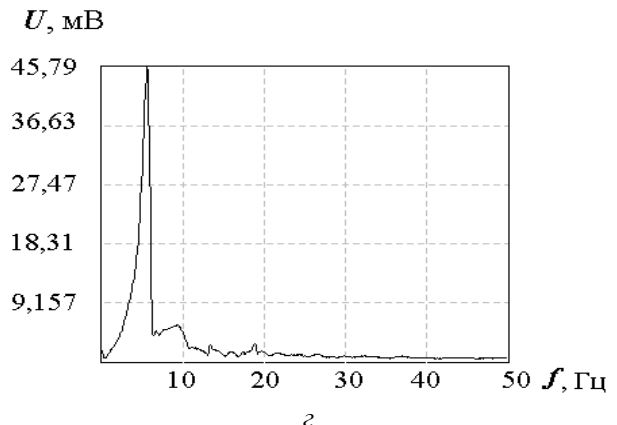
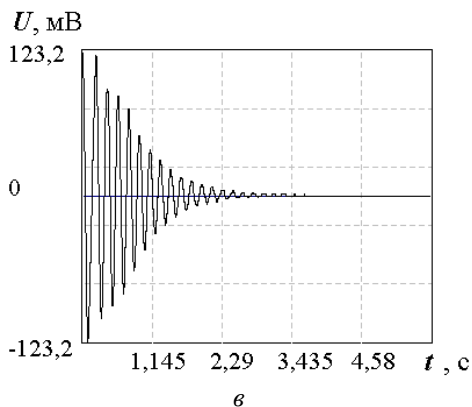
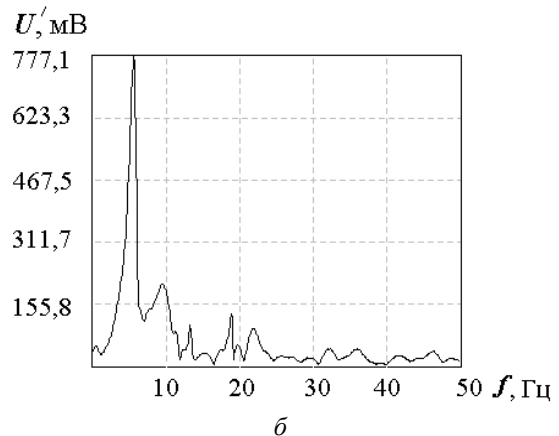
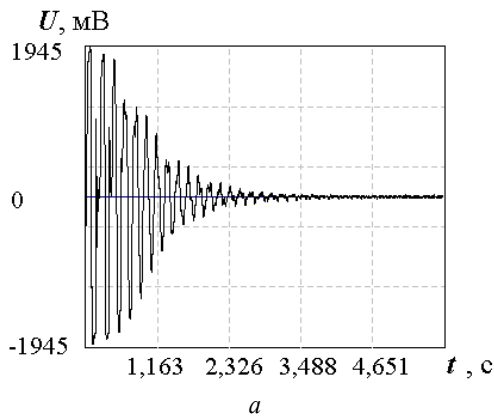
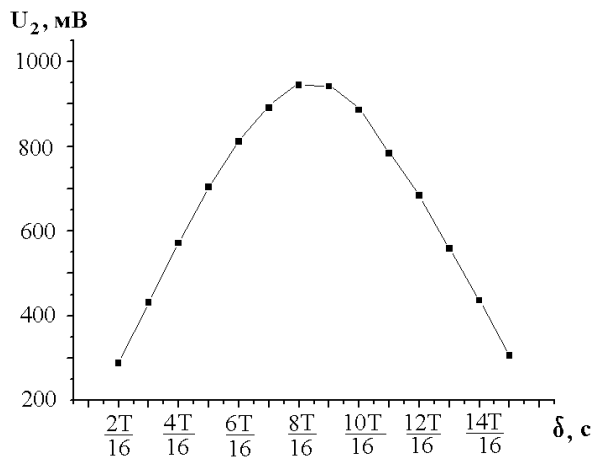


Рис. 6. Результати оброблення сигналу швидкості загасаючих коливань: а, б – сигнал швидкості і його спектр; в, з – сигнал зміщення і його спектр

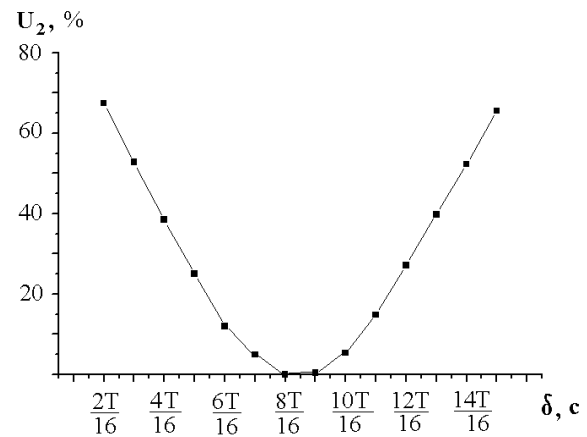
Перетворення сигналу швидкості проводили з часом перетворення $\delta = T_1/2 = 1/2 f_p$. Частота коливань балки, визначена за спектром сигналу швидкості, дорівнює 5,6 Гц. Частота коливань для сигналу зміщення, визначена за його спектром, збігається з частотою сигналу швидкості. Для всіх значень інтервалу дискретизації $\Delta t = 68,73 - 1695,0$ мкс проведення перетворення загасаючого сигналу швидкості в сигнал зміщення приводить до зменшення його амплітуди.

У той же час при постійному значенні максимальної амплітуди загасаючого сигналу швидкості і заданій величині інтервалу дискретизації зміна часу перетворення в діапазоні значень $\delta = T_1/16 - 14T_1/16$ приводить до нелінійності зміни амплітуди сигналу зміщення.

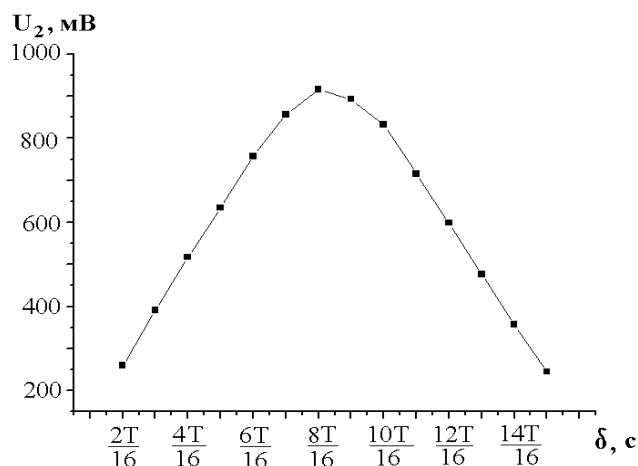
Залежності їх зміни від часу перетворення для значень інтервалу дискретизації $\Delta t = 68,73$ і $1695,0$ мкс загасаючого сигналу швидкості (датчик СВ5-Ц), показано на рис. 7, а, в ($f_1 = 5,6$ Гц). Аналогічні залежності, отримані для всіх досліджених величин інтервалу дискретизації у цьому діапазоні значень. З результатів на рис. 7, а, в видно, що для загасаючого сигналу швидкості коливань залежності зміни амплітуди сигналу зміщення для всіх значень інтервалу дискретизації мають дзвоноподібний характер. Максимальне значення амплітуди сигналу зміщення відповідає часу перетворення $\delta = T_1/2$. Залежність відхилення амплітуди сигналу зміщення від максимального значення в процентному відношенні має обернений характер (рис. 7, б, г).



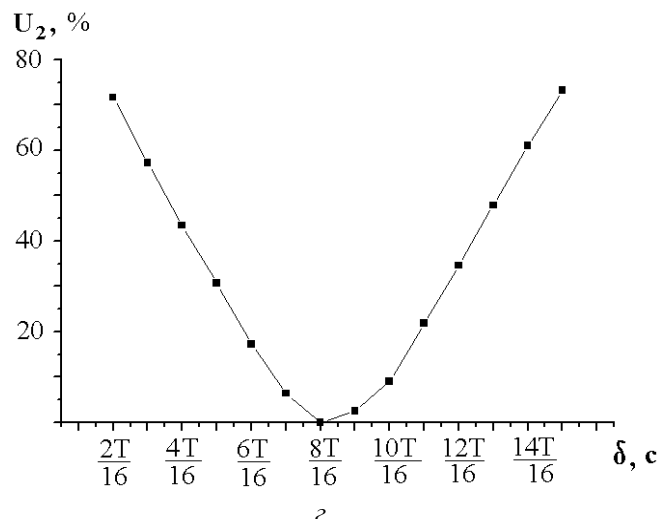
а



б



в



г

Рис. 7. Зміна амплітуди сигналу зміщення (а, б) і її процентного відхилення від максимального значення (в, г) залежно від часу перетворення δ загасаючого сигналу швидкості коливань:

а, б – $\Delta t = 68,73$ мкс;

в, г – $\Delta t = 1695,0$ мкс

Обробка отриманих результатів так само показала, що для всіх експериментальних даних, незалежно від значення інтервалу дискретизації загасаючого сигналу швидкості коливань, в межах часу перетворення $\delta = 0,43T_1 - 0,63 T_1$ помилка відхилення амплітуди сигналу зміщення від максимального значення не перевищує 5 %.

Аналіз зміни максимальної амплітуди сигналу зміщення від інтервалу дискретизації для загасаючого сигналу швидкості коливань балки (рис. 8) показав, що вона описується лінійною функцією (1).

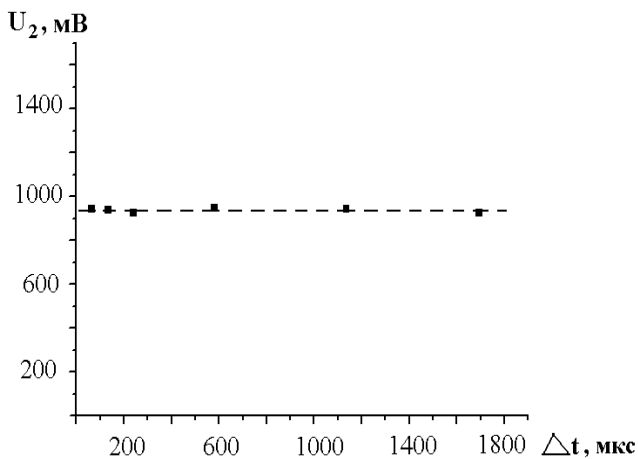


Рис. 8. Залежність зміни максимальної амплітуди сигналу зміщення після перетворення загасаючого сигналу швидкості з часом перетворення $\delta = 0,5T_1$ від інтервалу дискретизації сигналу швидкості

При цьому значення коефіцієнтів апроксимуючого $A = 960,5$, $B = -0,0235$, частота коливань балки становить $f_1 = 5,6$ Гц. Дисперсія для ймовірності $p = 0,9435$ становить $\sigma^2 = 9,423$, а відносна помилка відхилення амплітуди сигналу зміщення від середнього значення у всьому даному діапазоні величин інтервалу дискретизації не перевищує $\Delta U_{2\max} = \pm 0,6\%$.

Аналогічні дослідження були проведені з використанням датчика прискорення. Отримані результати показали, що перетворення загасаючого сигналу прискорення в сигнал швидкості і зміщення не впливають на їх спектри.

Частота коливань балки, яка була визначена за спектрами початкового і перетворених сигналів, становила 3,15 Гц.

Пониження частоти коливань балки було обумовлене збільшенням маси датчика реєстрації коливань.

При постійній максимальній амплітуді вхідного сигналу прискорення і заданому інтервалі дискретизації зміна часу його перетворення в сигнал швидкості і зміщення приводить до нелінійності зміни їх амплітуд.

Залежності зміни амплітуд сигналів швидкості і зміщення для інтервалу дискретизації $\Delta t = 68,73$ мкс вхідного загасаючого сигналу прискорення коливань показано на рис. 9, а, в. Аналогічні залежності отримані для всіх величин інтервалу дискретизації у зазначеному діапазоні значень.

З отриманих результатів (рис. 9, а, в) видно, що для вхідного загасаючого сигналу прискорення залежності зміни амплітуди сигналів швидкості і зміщення мають дзвоноподібний характер.

Частота коливань балки становить $f_1 = 3,15$ Гц. Інтервал дискретизації сигналу прискорення $\Delta t = 68,73$ мкс. Проте для сигналів зміщення (рис. 9, в) в районі максимальної амплітуди спостерігається поличка. Для сигналу швидкості і зміщення максимальне значення амплітуди відповідає часу перетворення $\delta = T_1/2$. Залежності відхилення амплітуди сигналів швидкості і зміщення від їх максимального значення в процентному відношенні мають обернений характер (рис. 9, б, г). Обробка отриманих результатів показала, що для всіх експериментальних даних, незалежно від значення інтервалу дискретизації загасаючого сигналу прискорення коливань, в межах значень часу перетворення $\delta = 0,42T_1 - 0,63T_1$ для сигналу швидкості і $\delta = 0,43T_1 - 0,66T_1$ для сигналу зміщення помилка відхилення їх амплітуд від максимальних значень не перевищує 5 %.

Після перетворення сигналів прискорення в сигнал швидкості і зміщення був проведений аналіз залежностей зміни їх максимальної амплітуди від інтервалу дискретизації вхідного сигналу. Перетворення здійснювали при значенні часу перетворення $\delta = T_1/2$, частота коливань балки $f_1 = 3,15$ Гц. Отримані результати (рис. 10) показали, що залежності добре описуються виразом (1).

Значення коефіцієнтів апроксимуючих виразів A і B дорівнюють:

- для сигналу швидкості $A = 401,02$; $B = -0,00725$;
- для сигналу зміщення $A = 49,57$; $B = -0,00149$.

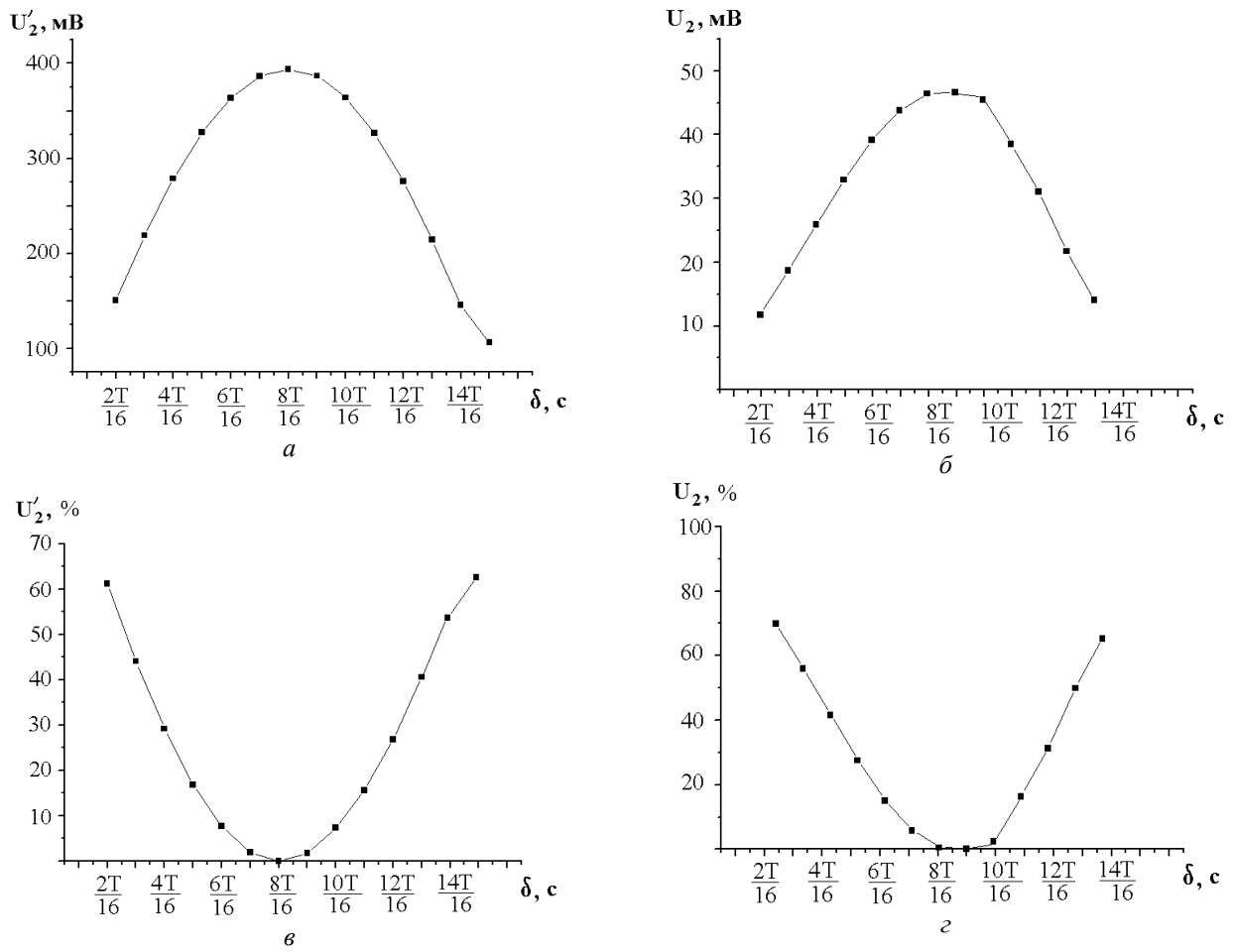


Рис. 9. Зміна амплітуди сигналу швидкості (а), зміщення (в) і їх процентного відхилення від максимальних значень, (б, г) залежно від часу перетворення δ загасаючого сигналу прискорення коливань балки

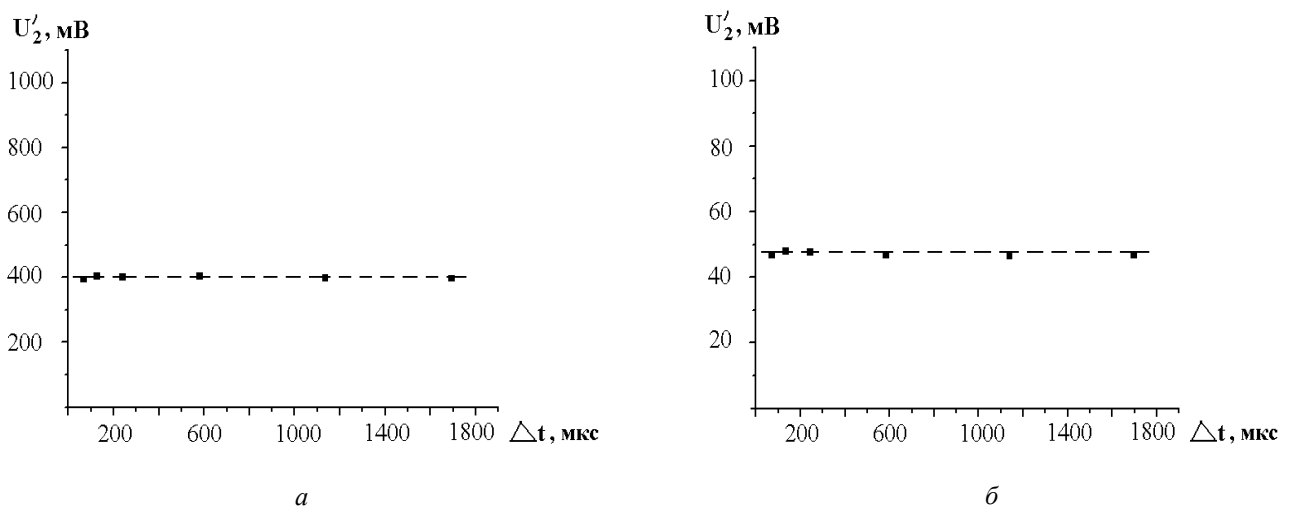


Рис. 10. Залежності зміни амплітуд сигналів швидкості (а) і зміщення (б) від інтервалу дискретизації вхідного загасаючого сигналу прискорення коливань після його перетворення з $\delta = 0,5 T_1$

При цьому дисперсії σ^2 для ймовірності p дорівнюють:

– для сигналу швидкості $p = 0,9638$, $\sigma^2 = 4,273$;

– для сигналу зміщення $p = 0,9879$, $\sigma^2 = 0,1341$.

Відносна помилка відхилення максимальної амплітуди від середнього значення не перевищує:

– для сигналу швидкості $\Delta U'_{2\max} = \pm 0,52\%$;

– для сигналу зміщення $\Delta U_{2\max} = \pm 0,75\%$.

Висновки

Результати проведених досліджень показали, що при заданих частотах вхідних сигналів швидкості і прискорення коливань та заданому інтервалі їх дискретизації операції перетворення приводять до зменшення амплітуд вихідних сигналів швидкості і зміщення коливань, однак не впливають на їх спектр. При цьому залежності зміни амплітуд вихідних сигналів швидкості і зміщення від часу перетворення мають нелінійний (дзвоноподібний) характер зміни. Виконання операції подвійного перетворення сигналу прискорення приводить до появи полички на залежності зміни амплітуди сигналу зміщення від часу перетворення. Проте у всіх випадках максимуми амплітуд вихідних сигналів швидкості і зміщення відповідають часу перетворення, який дорівнює половині періоду вхідних сигналів прискорення і швидкості коливань. Подібні закономірності отримані як на модельних сигналах, так і загасаючих сигналах швидкості і прискорення коливань для різних значень інтервалу їх дискретизації.

Максимальні амплітуди сигналів швидкості і зміщення коливань, після перетворення вхідних сигналів з часом перетворення, який дорівнює половині періоду вхідних сигналів, не залежать від інтервалу дискретизації. Вони описуються лінійною функцією, паралельній осі ординат з мінімальною дисперсією. При цьому максимальна помилка відхилення значень амплітуд сигналів швидкості і зміщення від їх середніх значень не перевищує 1 %.

Отримані результати свідчать про високу достовірність розробленого методу визначення динамічних зміщень конструкцій при обробці сигналів швидкості і прискорення коливань.

Література

1. *Барашиков А.Я. Оценка технического состояния строительных конструкций, зданий и сооружений / А.Я. Барашиков, А.М. Малишев. – К.: НМЦ Держнаглядохоронпраці України, 1998. – 232 с.*

2. *Мости: конструкції та надійність / Й.Й.Лучко, П.М. Коваль, М.М.Корнієв та ін. – Л.: Каменяр, 2005. – 989 с.*

3. *Test of swietokrxyski bridge over vistula river in Warsawa / J. Bien, J. Kmita, P. Rawa, J. Zwolsk // Inzynieria i budownictwo. – 2002. – No. 3/4. – P. 166–170.*

4. *Li Y.F. The pseudo dynamic test of RC bridge columns analyzed through the hilbert-huang transformer/ Y.F. Li, S.Y Chang, W.C. Tzeng, K. Huang 13th world Conf. On Earth. Engin.(Vancouver, Canada, August 1-6, 2004). – Paper No. 3041-15 p.*

5. *Nowak A.S. Verification of girder distribution factors for continuous steel girder bridges/ A.S. Nowak, J. Eom, D. Ferrand / Final report No.RC-1429. Michigan University. May 2003. – 235 p.*

6. *Harlan M.D. Field test of a bridge deck with glass fiber reinforced polymer bars as the top mat of reinforcement /M.D Harlan // Final report. – Jun. 2004. – Virginia Polytechnic Inst. 110 p.*

7. *Remote continuous evaluation of a bridge constructed using high-performance steel / T. Wipf, B. Phares, L.F. Greimann et al.// Final report No. CTRE 02-123. Center for transportation research and education Iowa State Univ.– May 2006. – 141 p.*

8. *Structural load testing and flexure analysis of the route 701 bridge in louisiana county, Virginia/ J. Lucas, T.E. Cousins, M.C. Brown et al.// Final report VTRC 04-R12. Virginia Transportation research council. – June 2004. – 31 p.*

9. *Dynamic response of stress-laminated-deck bridges/ M.A. Ritter, D.L. Wood, T.J. Wipf et al. // Proc. of 4th Intern. Bridge Engin.Conf. (August 28-30, 1995). Washington. – Vol. 2. – P. 381–394.*

10. *Taylor S.E. Development and testing of portable glulam timber bridge systems / S.E Taylor, M.A. Ritte // 79th Annual meeting of transportation research board (January 9-13, 2000), Washington. – Paper No. 00-0334. – 16 p.*

11. *Chaalla O. Experimental evaluation of dynamic amplification for evaluation of bridge performance / O. Chaalla, M. Shahawy // Technical report No. ETS.DRSR.98.1. University of Quebec, Canada. – June 1998. – 67 p.*

12. *Філоненко С.Ф. Методи та засоби діагностики мостових конструкцій /С.Ф. Філоненко, І.К. Корнієнко, Т.М. Косицька // Вісник НАУ. – 2008. – № 3. – С. 172–182.*

13. *Optimization of signal features under objects' dynamic test /V.P. Babak, S.F. Filonenko, I.K. Kornienko-Miftakhova, F.V. Ponomarenko //Aviation-2008. – Vol. 12, No 1. – P. 10–17.*

14. *Обработка сигналов при динамических испытаниях объектов /В.П. Бабак, С.Ф. Філоненко, І.К. Корнієнко-Міфтахова, А.В. Пономаренко // Технологические системы. – 2007. – № 1 (37). – С. 25–32.*

15. *Аналіз динамічних характеристик моста / С.Ф. Філоненко, П.М. Коваль, І.К. Корнієнко, П.М. Старук // Дороги і мости: Зб. наук. пр. Держдор НДІ ім. М.П. Шульгіна. – 2008. – Вип. 9. – С. 119–128.*

16. *Пат. № 84911, Україна, МПК G01N 29/12 G01M 7/02. Спосіб визначення динамічних зсувів конструкцій /С.Ф.Філоненко, В.П. Бабак, І.К. Корнієнко-Міфтахова. – Опубл. 10.12.2008; Бюл. № 23. – 10 с.*