

УДК 621.317

АНАЛІЗ КОРЕЛЯЦІЙНОЇ ОБРОБКИ АКУСТИЧНИХ СИГНАЛІВ ШИРОКОПОЛОСНИХ ДАТЧИКІВ УЗ ДЕФЕКТОСКОПІВ

*Баженов В.Г., Галаган Р.М., Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут", м. Київ, Україна*

Проведено аналіз кореляційних характеристик імпульсів складної форми з метою вибору оптимального імпульсу для збудження широкополосних датчиків і подальшої математичної обробки

Вступ. Постановка задачі

Відомо, що кореляційні методи обробки сигналів широко застосовуються в радіолокації для визначення відстані до певної цілі [1, 2]. Такі методи характеризуються високою завадостійкістю і дуже високою точністю.

Проте при побудові УЗ дефектоскопів кореляційну обробку використовували значно рідше, що обумовлювалось певними чинниками:

1) УЗ датчики, що широко використовувались в дефектоскопії, мали вузьку пропускну смугу (тому традиційно УЗ перетворювачі збуджуються «ударним імпульсом» і мають обмежений спектр; а як відомо, для ефективного використання кореляційних методів бажано мати сигнали складної форми з широким спектром);

2) Кореляційні методи вимагають використання складних апаратних засобів обробки, що призводило до значного збільшення габаритів усієї системи (це було небажано для розроблюваних мобільних дефектоскопів).

Останнім часом в зв'язку з появою композитних широкополосних УЗ датчиків, а також з розвитком і мініатюризацією процесорної техніки, стає актуальним використання кореляційних методів в УЗ дефектоскопії. При цьому змінюються підходи до збудження таких датчиків – замість ударного збудження можливе використання модульованих сигналів складної форми.

При цьому в якості збуджуючого сигналу рекомендується використовувати гаусівський радіоімпульс [3,4]. Це дозволяє отримати задані енергетичні характеристики датчиків.

Гаусівський радіоімпульс використовувався і для збудження звичайних резонансних датчиків. Але формування такого імпульсу вимагає значних апаратних затрат для реалізації збуджуючих генераторів. Відомо, що використання прямокутних імпульсів замість гаусівських значно спростило б схему генератора збуджуючих імпульсів.

Метою роботи є порівняльний аналіз впливу форми збуджуючого сигналу на похибку визначення максимуму кореляційної функції.

Вибір форми збуджуючого імпульсу

В якості імпульсів збудження було запропоновано розглянути три різні форми імпульсів.

Гаусівський радіоімпульс (рис.1a). Ця форма імпульсу є найбільш доцільною для збудження широкосмугових датчиків. Такі датчики характеризуються хоч і широкою, але все ж обмеженою частотною смугою (а, як відомо, важливою властивістю гаусівського радіоімпульсу є те, що його спектр теж описується гаусівською функцією і має ефективну обмежену ширину спектра) [5]. За допомогою мікроконтролера створити такі імпульси нескладно, але для збудження датчика їх треба попередньо підсилювати, що ускладнює схему і збільшує її габарити.

Цуг прямокутних відеоімпульсів (рис.1b). Вбір такої форми обумовлений тим, що високовольтні відеоімпульси простіше технічно реалізувати. Але спектр такого сигналу має вищі гармоніки, тому при передачі та прийомі його широкосмуговим датчиком форма сигналу може спотворюватись.

Цуг прямокутних відеоімпульсів, модульованих функцією Гауса (рис.1c). Останнім часом на ринку з'явилися спеціальні ключові схеми, що дозволяють формувати цуг послідовних високовольтних прямокутних імпульсів різної амплітуди.

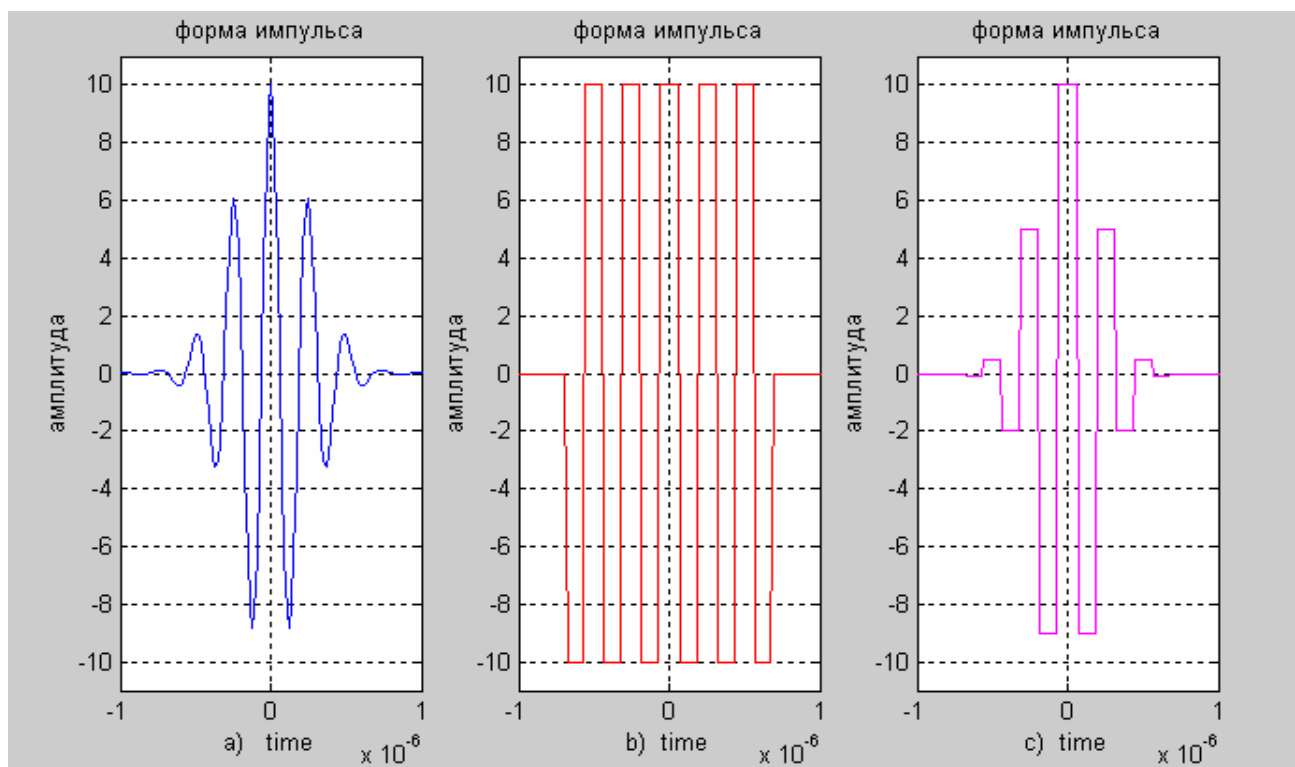


Рисунок 1 – Форми використовуваних сигналів

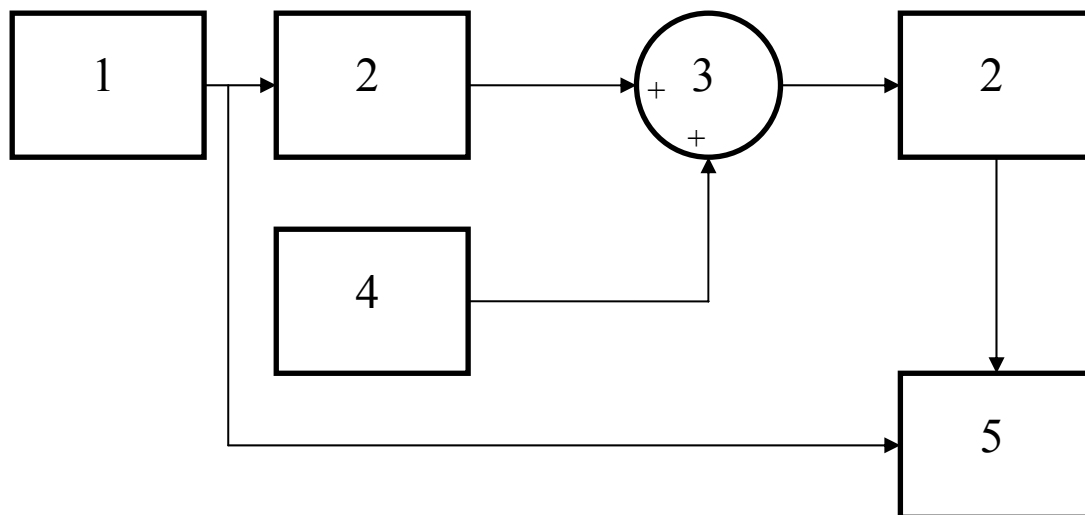
Вибрані форми сигналів були відтворені в середовищі MATLAB 6.0. Математичне моделювання теж проводилось в даному середовищі [6].

Схема експерименту

Основним завданням було дослідити вплив шумів об'єкта контролю та характеристик датчика на точність визначення кореляційної функції (КФ) для заданих форм сигналів.

Опорна частота сигналів обиралась рівною 2 або 4 МГц (кількість періодів дорівнювала 5-6). Частота дискретизації – 65 МГц (з такою частотою працює блок восьмиканальних АЦП ADS 5272 фірми Burr-Brown, рекомендований для побудови ультразвукових систем). Смуга пропускання широкосмугового датчика встановлювалась в межах від 1 до 15 МГц. Еталонний час зсуву складав 5 мкс.

Було запропоновано наступну схему моделювання (рис.2). Еталонний сигнал заданої форми створювався за допомогою вбудованих функцій MATLAB – блок 1. Такий же еталонний сигнал зсувався по відношенню до першого на фіксований час. Оскільки час зсуву був фіксований та відомий, то після певної обробки зсунутого сигналу, можна було б визначити вплив цієї обробки на точність визначення часу затримки за допомогою КФ.



1 – формувач збуджуючого еталонного сигналу заданої форми; 2 – широкосмуговий датчик (в якості схеми заміщення використано еліптичний смуговий фільтр зі смугою пропускання 1-15 МГц); 3 – суматор; 4 – генератор шуму; 5 – корелятор

Рисунок 2 – Схема моделювання

Послідовність дій була наступною: зсунутий сигнал фільтрувався перший раз (таким чином моделювалось збудження датчика на випромінення – блок 2). Потім сигнал через суматор 3 змішувався з шумом, який генерує блок 4 (причому рівень сигнал/шум задавався в межах 0.5-10). Цим самим моделювався

процес проходження корисного сигналу в об'єкті контролю і його відбиття від дефекту. Суміш корисного сигналу і шуму подавалась вдруге на фільтр (таким чином моделювався прийом сигналу широкосмуговим датчиком).

На останньому етапі визначався максимум кореляційної функції двох сигналів: еталонного та обробленого, після чого визначався часовий зсув між еталоном та обробленим сигналом. Цей зсув порівнювався із заданим часом, далі визначалась похибка. Для збільшення точності визначення максимуму КФ застосовувалась інтерполяція отриманої функції з кроком $1/100$.

При моделюванні враховувалась затримка при фільтрації.

Отримані результати

На рис. 3 приведені часові діаграми, отримані для різних форм сигналів при моделюванні.

Для кожної форми сигналу проводилось більше 100 моделювань вимірювань при різних співвідношеннях сигнал/шум (С/Ш), після чого визначалась дисперсія похибки для кожного співвідношення.

Нижче на рис. 4 приведено графіки залежності середнього квадратичного відхилення (СКВ) похибки вимірювання зміщення еталонного сигналу для кожної форми сигналів від співвідношення С/Ш. З графіка чітко видно, що отримана залежність СКВ для кожної форми сигналів має випадковий характер. В даному випадку навіть важко казати про яку-небудь функціональну залежність. З графіку лише видно, що при збільшенні співвідношення С/Ш СКВ зменшується.

«Сплески» на графіку (рис.4) мають приблизно однакову величину. Це наводило на думку, що ці помилкові дані є наслідком певної неоднозначності при визначенні максимуму КФ між еталонним сигналом та зсунутим фільтрованим (на який накладався шум) сигналом.

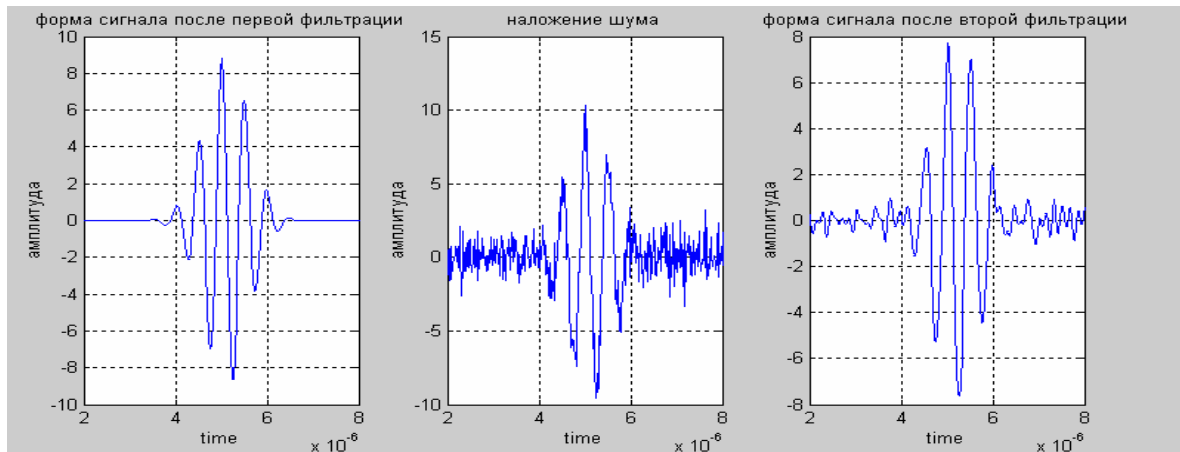
При визначенні СКВ враховувався той факт, що КФ складних періодичних сигналів теж являється періодичною з чітко вираженим одним максимумом. Період цієї функції відповідає періоду корельованих сигналів. Однак при кореляції вихідного сигналу та зсунутого фільтрованого (на який накладався шум) сигналів КФ не мала чітко вираженого максимуму. Таких максимумів ставало два – причому один відповідав дійсному зміщенню сигналу, а інший (помилковий) – був зсунутий на період.

При визначенні максимуму КФ це необхідно було враховувати, щоб не отримати помилкових даних.

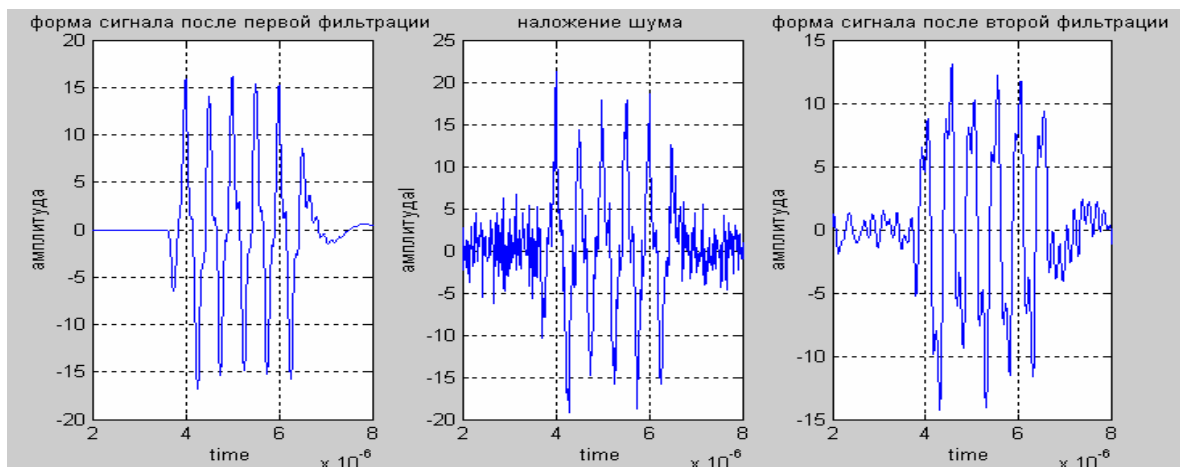
Було розроблено програмний алгоритм відсіювання помилкових даних («сплесків»). Кінцевий результат кореляційної обробки з використанням програмного алгоритму відсіювання «сплесків» представлено на рис.5.

З графіків чітко видно, що СКВ зменшується при збільшенні співвідношення С/Ш.

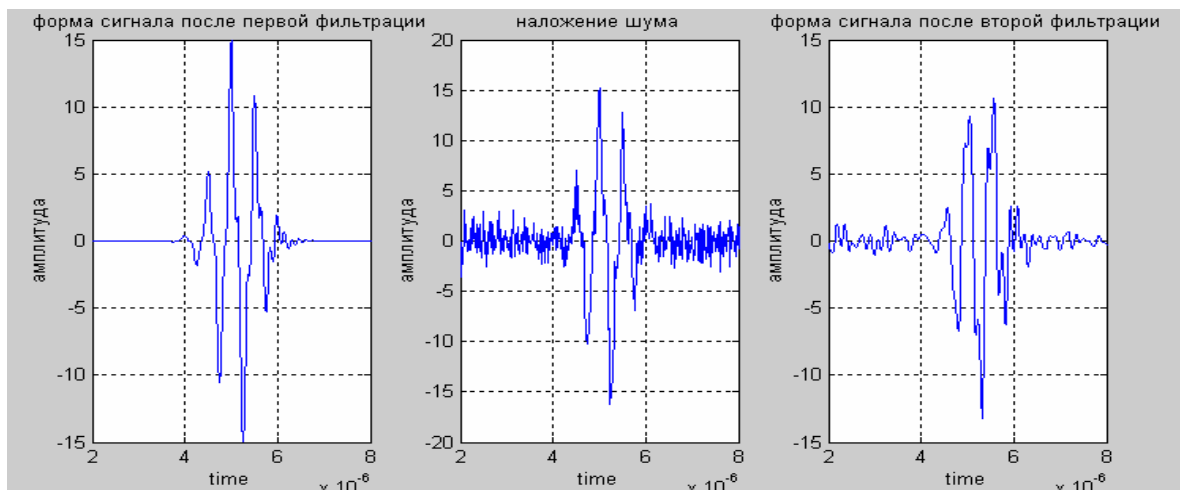
Результати для кожної форми сигналів майже однакові.



а)



б)



в)

а) гаусівський імпульс; б) цуга прямокутних імпульсів; в) цуга прямокутних відеоімпульсів, модульованих функцією Гауса

Рисунок 3 – часові діаграми при співвідношенні С/Ш=1

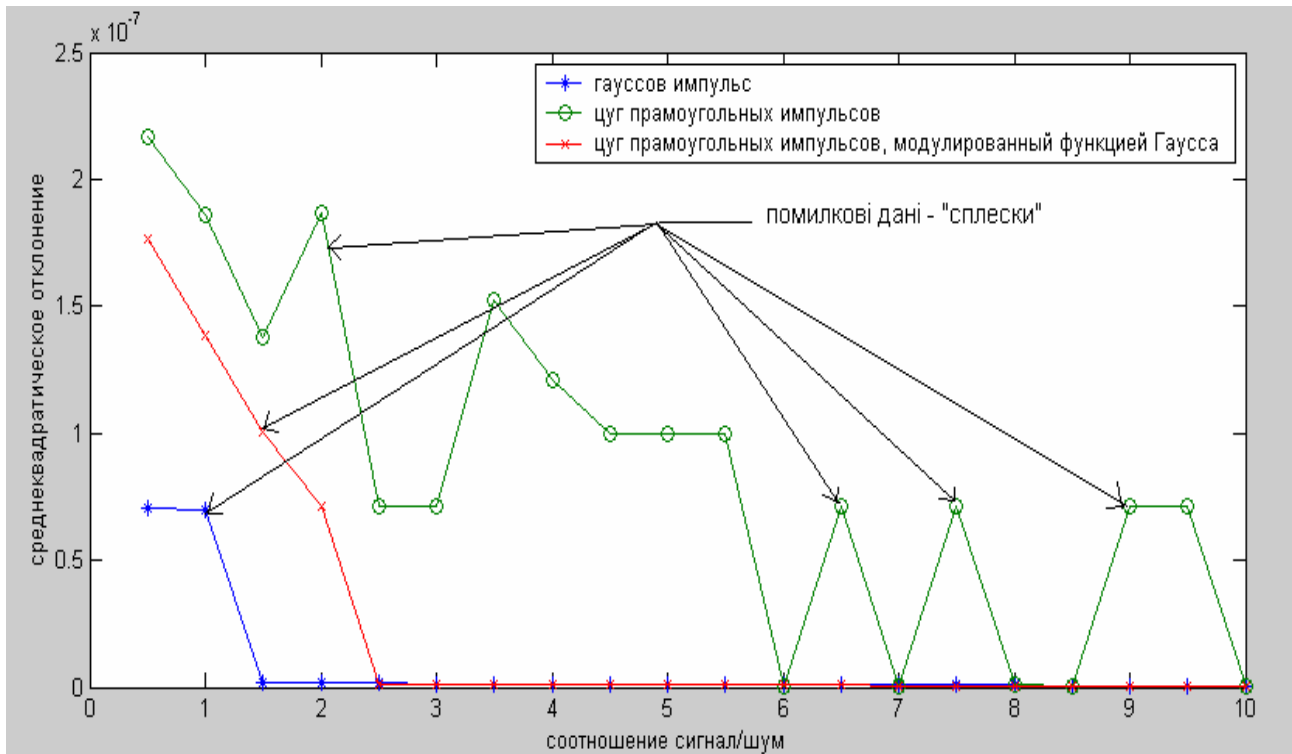


Рисунок 4 – Залежність СКВ від співвідношення сигнал/шум

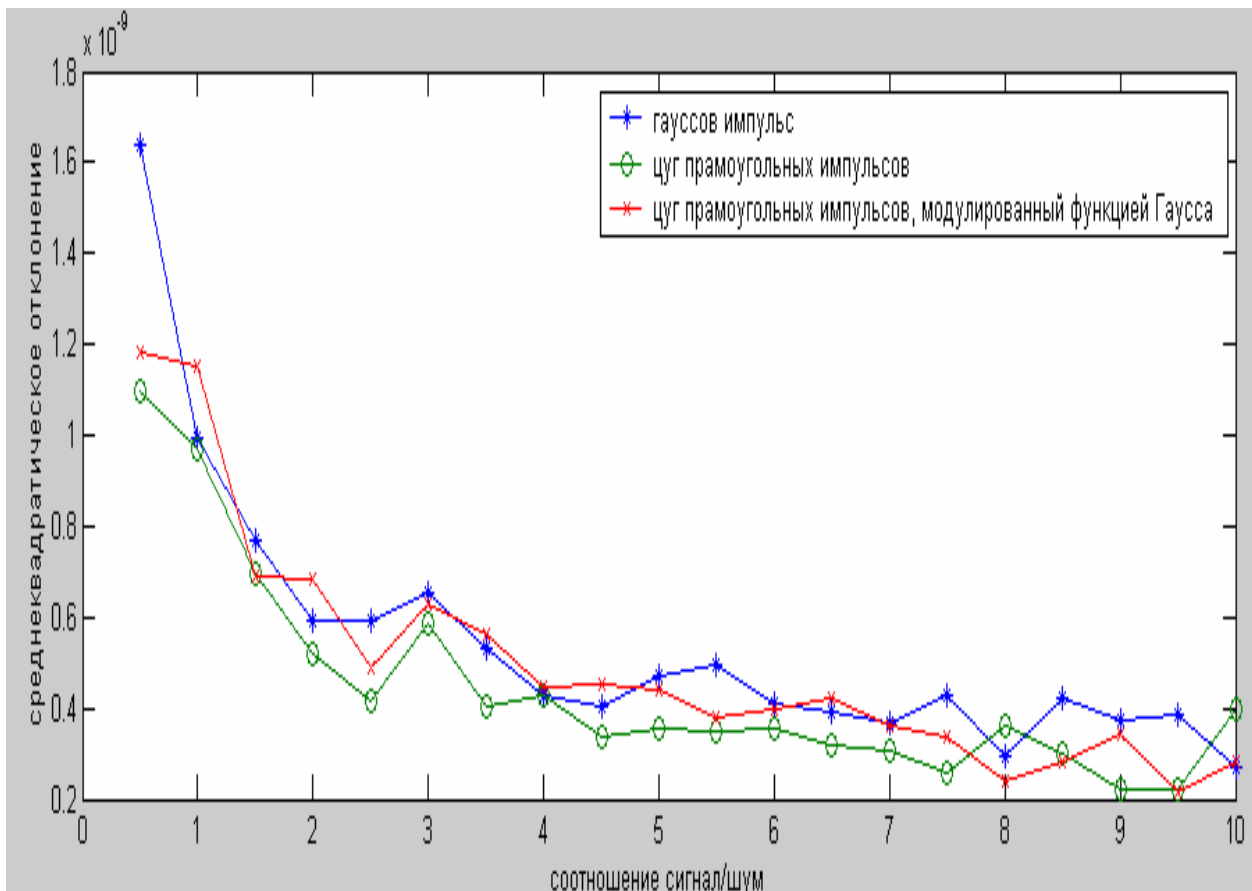


Рисунок 5 – Скорегована залежність СКВ від співвідношення сигнал/шум

Висновки

Отримані результати дають підстави рекомендувати використовувати в якості імпульсів збудження цуг прямокутних відеоімпульсів, модульованих функцією Гауса, або просто цуг прямокутних імпульсів, оскільки ці форми сигналів апаратно простіше реалізувати.

Однак для того, щоб використовувати програмний алгоритм обробки отриманих даних (для збільшення точності), необхідно проводити **n**-вимірювань (принаймні, більше 10). А це збільшує час обробки отриманої інформації.

Доцільним продовженням роботи є експериментальне підтвердження отриманих результатів моделювання.

Література

1. Волощук Ю.І. Сигнали та процеси у радіотехніці. – Х: Сміт, 2003. – С. 580. – Том.1.
2. Зернов Н. В., Карпов В. Г. Теория радиотехнических цепей. – Л: Энергия, 1972, С. 816.
3. Крауткремер Й., Крауткремер Г. Ультразвуковой контроль материалов. Справочник. – М.: Металлургия, 1991. – С.725
4. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 3: Ультразвуковой контроль / И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге. - М.: Машиностроение, 2004. – С.864.
5. Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы. – М: Высшая школа, 2003. – С.462.
6. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов. 2-е издание. – СПб.: Питер, 2006. – С.751.

Баженов В.Г., Галаган Р.М. **Анализ корреляционной обработки акустических сигналов широкополосных датчиков УЗ дефектоскопов.**

Проведён анализ корреляционных характеристик импульсов сложной формы с целью выбора оптимального импульса для возбуждения широкополосных датчиков и последующей математической обработкой.

Galagan R.M., Bazhenov V.G. **Analysis of correlation processing of acoustic defectoscope broadband probe signals.**

The article analyses correlation characteristics of complex form pulses. The purpose of the analysis is determine the most appropriate pulse form for stimulating broadband probes and its subsequent mathematical processing.

*Надійшла до редакції
10 червня 2006 року*