

во регламентувати чи уніфікувати, тому що їх варіацій може бути величезна кількість. Постійно виникають нові форми у процесі дизайнерського опрацювання моделей виробів.

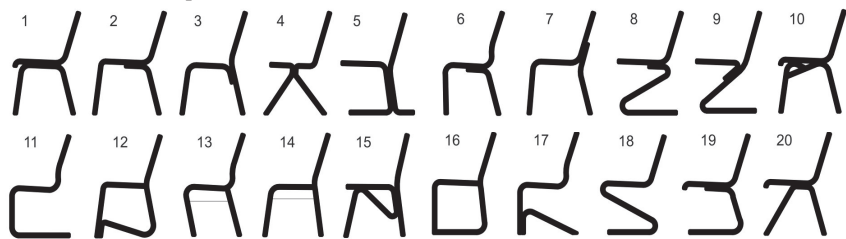


Рис. 4. Формотворення профілів каркасів гнотоклеєних стільців із ДВП

Внаслідок аналізу формування гнотоклеєних стільців виявлено понад 30 різних схем каркасів. На рис. 4 подано 20 каркасів від найпростіших до ускладнених з погляду їхньої форми, конструкції та технології виготовлення. Так, каркаси 1-9, 12, 17, 19, 20 становлять суцільні конструкції, що отримані методом з'єднання між собою двох гнотоклеєних елементів; у конструкції 10 гнотоклеєний елемент складається з трьох частин; каркаси 11 і 18 цілком пресовані.

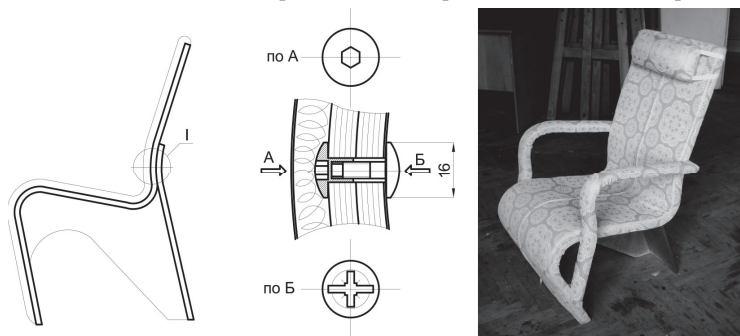


Рис. 5. Застосування двосторонньої гвинтової стяжки для з'єднань деталей каркасу гнотоклеєного крісла

У разі нарощення елементів по довжині найкраще застосовувати з'єднання на мінізубчастий шип або на вставну рейку. Завдяки тому, що конструкції гнотоклеєних стільців і крісел складаються тільки з двох-трьох елементів, то для їх кріплення застосовують обмежену кількість столярних з'єднань. Вузли каркасів з'єднують між собою передньою та задньою царгами на рамковий серединний одинарний шип. Спинки та сидіння до елементів каркасу закріплюють шурупами з тильного боку, часто використовують кутники. Найбільш швидко та надійне з'єднання деталей каркасу гнотоклеєних стільців виконують болтами або двобічними стяжками. На рис. 5 показано з'єднання стяжкою двох гнотоклеєних елементів крісла між собою.

Література

1. Дячун З.И. Исследование гнато-клееных элементов из шпона : дисс. ... канд. техн. наук / Львовский лесотехнический ин-т ; З.И. Дячун. – Львов, 1971. – 189 с.
2. Костриков П.В. Производство гнато-клееной мебели / П.В. Костриков. – М. : Изд-во "Лесн. пром-сть", 1982. – 224 с.
3. Костриков, П.В. Производство гнато-клеёных деталей / П.В. Костриков. – М. : Изд-во "Лесн. пром-сть", 2006. – 64 с.
4. Леонтьев, И.И. Новое в производстве гнутых стульев / И.И. Леонтьев. – М. : Изд-во "Деревообр. пром-сть". – 1961. – № 12. – С. 3-4.
5. Белянкин Ф.П. Прочность и деформативность слоистых пластиков / Ф.П. Белянкин, В.Ф. Яценко, Г.И. Дыбенко. – К. : Изд-во "Наук. думка", 1964. – 218 с.

Надійшла до редакції 08.04.2016 р.

Пылыпив И.З., Максимив В.М. Особенности формирования гнотоклееных элементов стульев из древесноволокнистых плит

Изготовление гнотоклееных элементов стульев из древесноволокнистых плит является одним из путей экономии древесины. Криволинейные элементы, из которых состоит изделие, являются конструкционным и художественным средством, придают изделию своеобразие и эстетическое совершенство. Рассмотрены преимущества гнотоклееных стульев из древесноволокнистых плит, обработано профилирование гнотоклееной спинки-сиденья, что значительно повышает прочность конструкции. Представлен расчет геометрических параметров, систематизировано формообразование профиля каркасов стульев на базе гнотоклееных элементов из древесноволокнистых плит.

Ключевые слова: древесноволокнистая плита, гнутье, криволинейный элемент, гнотоклееный каркас, формообразование профиля.

Pylypiv I.Z., Maksymiv V.M. Features of Forming Elements of Bend-glued Seats from Fiberboard

Manufacturing of chair curved elements from fiberboard is one of the ways to save wood. Curved elements that make up the product are structural and art means that provide product originality and esthetic perfection. The advantages of bend-glued fiberboard chairs are studied. Profiling curved back seat, which greatly increases the strength of the structure, is examined. Calculation of geometrical parameters, systematically shaping profile frames chairs at the bend-glued elements of fiberboard is presented.

Keywords: fiberboard, bending, curved element, bend-glued frame, forming profile.

УДК 644.6

ДОСЛІДЖЕННЯ АДСОРБЦІЇ α -ОКСИПРОПІОНОВОЇ КИСЛОТИ В ДИНАМІЧНИХ УМОВАХ

В.В. Сабадаш¹, А.М. Гивлюд², Я.М. Гумницький³

Представлено результати експериментальних досліджень кінетики та динаміки адсорбції та іонообмінного поглинання оксіпропіонової кислоти цеолітом в апараті з мішалкою. Проаналізовано існуючі теоретичні моделі для опису процесів адсорбції. Розроблено механізм адсорбції і методи ідентифікації експериментальних даних теоретичним моделям процесу. Експериментально досліджено сорбційну місткість цеоліту щодо молочної кислоти в динамічних умовах. Побудовано вихідні криві динаміки ад-

¹ доц. В.В. Сабадаш, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка";

² аспір. А.М. Гивлюд – НУ "Львівська політехніка";

³ проф. Я.М. Гумницький, д-р техн. наук – НУ "Львівська політехніка"

сорбції α -оксіпропіонової кислоти цеолітом в апараті колонного типу. Встановлено взаємозв'язок ступеня насичення сорбенту від критерію Фур'є. Отримані результати експериментальних досліджень дають змогу визначити кінетичні коефіцієнти процесу адсорбції стічних вод молокопереробних підприємств в апаратах колонного типу.

Ключові слова: α -оксіпропіонова кислота, динаміка адсорбції, коефіцієнт масовіддачі.

Вступ та постановка проблеми. Процеси абсорбції розглядають статистично, кінетику та динаміку. Вивчення динаміки дає змогу встановити просторово-часовий розподіл сорбованого компонента у плинному середовищі та адсорбенті. На основі динаміки сорбції визначають час досягнення явища "проскоку", після якого адсорбція у цьому апараті завершується та адсорбент повертається на регенерацію. Технологічні процеси адсорбції відбуваються в апаратах, які в теоретичному плані належать або до реакторів ідеального перемішування, або до ідеального витіснення. В обох випадках процес потрібно розглядати у просторі та часі, що становить задачу динаміки процесу адсорбції.

Аналізований процес адсорбції стосується екологічної проблеми – очищення стічної води молокопереробних підприємств від оксіпропіонової (молочної) кислоти. Екологічна проблема не завжди відповідає технологічним завданням [1, 2]. У технологічних процесах потрібно адсорбувати компонент з якнайвищою активністю, тобто потрібно досягати низьких концентрацій компонента у вихідній суміші. Цим завданням відповідають апарати зі стаціонарним чи рухомим шаром адсорбенту. В апаратах з механічним перемішуванням важко досягнути високих ступенів очищення.

У природоохоронних технологіях вихідні концентрації забруднень визначаються за т. зв. гранично допустимим викидом і концентрація шкідливого компонента у вихідному розчині може бути вищою, що дає змогу використовувати апарати з механічним перемішуванням, які є більш простими конструктивно та доступнішими в експлуатації. У природоохоронних технологіях процеси очищення середовища від забруднення абсорбційними методами відбувається в апаратах з механічним перемішуванням або колонних апаратах з нерухомим або рухомим шаром адсорбенту. Математична модель динаміки адсорбції ґрунтується на такій системі рівнянь:

- диференціальні рівняння балансу маси у рідинному середовищі та зерні адсорбенту;
- зовнішньо- та внутрішньодифузійній кінетиці процесу адсорбції;
- граничних умовах у системі зерно-рідинне середовище;
- рівнянні ізотерми адсорбції, що встановлює рівноважні співвідношення між адсорбентом та плинним середовищем.

Проведення процесу адсорбції за різних гідродинамічних умов свідчить про те, що найефективнішою буде інтенсивна гідродинаміка, яка переводить процес із зовнішньодифузійної стадії до внутрішньодифузійної, за якої лімітуючою стадією буде транспорт адсорбтиву всередині пор і каналів адсорбенту [5]. У зв'язку з тим кінетичне рівняння записується лише у вигляді диференціального рівняння молекулярної дифузії.

Для частинок кулястої форми диференціальне рівняння переносу адсорбтиву у зерні сорбенту має такий вигляд:

$$\frac{\partial Ca}{\partial t} = D^* \left(\frac{\partial^2 Ca}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial Ca}{\partial r} \right) \quad (0 < r < R), \quad (1)$$

де: Ca – сумарна поточна концентрація адсорбтиву в об'ємній та поверхневій фазах адсорбенту, віднесена до об'єму адсорбенту, кг/м^3 ; r – біжучий радіус зерна, м; R – радіус зерна адсорбенту, м; D^* – ефективний коефіцієнт дифузії у зерні адсорбенту, що враховує поверхневу та об'ємну дифузію, $\text{м}^2/\text{с}$;

Крайові умови визначають початковою умовою

$$Ca(r, t = 0) = 0 \quad (2)$$

та граничною, що визначає рівність масових потоків адсорбтиву на зовнішній поверхні зерна і дорівнює масовіддачі до поверхні зерна із рідинної фази та масопровідності з цієї поверхні всередину зерна за умови $r=R$

$$-D^* \left(\frac{\partial C}{\partial r} \right)_{r=R} = \beta (C - C_{r=R}), \quad (3)$$

де: C – концентрація адсорбтиву в рідинній фазі, кг/м^3 ; β – коефіцієнт масовіддачі, м/с . Досліджено статистику поглинання оксіпропіонової кислоти природним цеолітом, яку наведено у [3, 4]. Враховуючи, що у стічних водах молокопереробних комплексів концентрація кислоти знаходиться у першій ділянці ізотерми, рівновагу можна описати рівнянням Генрі

$$Ca = \Gamma \cdot C, \quad (4)$$

де Γ – тангенс кута нахилу ізотерми адсорбції. Для першої ділянки ефективний коефіцієнт внутрішньої дифузії D^* оксіпропіонової кислоти на цеоліті $D_{ef} = 1 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$ [4]. З погляду теорії реакторів апарати з механічним (пневматичним) перемішуванням моделюються як реактори ідеального перемішування, а апарати з нерухомим зернистим шаром наближаються до реакторів ідеального витіснення. Проведено дослідження динаміки адсорбції для двох випадків: адсорбція оксіпропіонової кислоти в апараті з механічним перемішуванням і в апараті колонного типу.

Експериментальна частина. Експериментальні дані щодо кінетики адсорбції оксіпропіонової кислоти наведено на рис. 1. Інтенсивність сорбції оксіпропіонової кислоти залежить від швидкості обертання мішалки. Вихід на плато за $\tau \approx 15 \text{ хв}$ сорбції вказує на меншу динамічну місткість сорбенту щодо оксіпропіонової кислоти. Найбільш ефективною буде нижня крива, коли буде повністю знято зовнішньодифузійний опір.

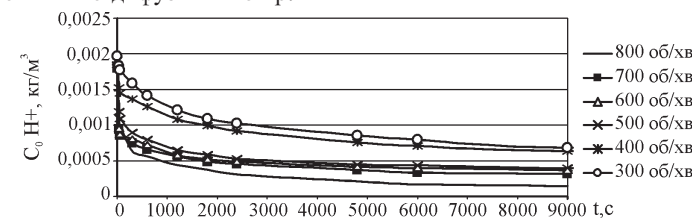


Рис. 1. Зміна концентрації оксіпропіонової кислоти залежно від числа обертів

Вважаючи форму частинок сферичною, для математичного опису сорбції компонента в умовах перемішування для внутрішньо-дифузійного процесу використовуємо рівняння, яке дає змогу визначити зміну концентрації компонента у рідкій фазі з часом [5, 6]:

$$\frac{C}{C_0} = 1 - \frac{1}{1 + \alpha} \left[1 - \sum_{n=0}^{\infty} A_n \exp(-\mu_n^2 Fo) \right], \quad (5)$$

де:

$$A_n = \frac{6\alpha(\alpha+1)}{9 + 9\alpha + \alpha^2 \mu_n^2};$$

μ_n – додатні корені характеристичного рівняння, які визначаються із залежності

$$\frac{\operatorname{tg} \mu_n}{\mu_n} = \frac{3}{3 + \alpha \mu_n^2}; \quad (6)$$

Fo – критерій Фур'є;

$$\alpha = \frac{m\varepsilon}{V\rho_s},$$

де: ε – пористість зерна адсорбенту; ρ_s – густина твердої пористої фази, кг/м³.

Рішення рівняння (6) наведено в таблиці.

Табл. Додатні корені характеристичного рівняння

μ_1	μ_2	μ_3	μ_4	μ_5	μ_6	μ_7	μ_8	μ_9	μ_{10}
3,605	6,58	9,635	12,73	15,84	18,96	22,085	25,215	28,38	31,48

За отриманими даними будемо графічну залежність (рис. 2).

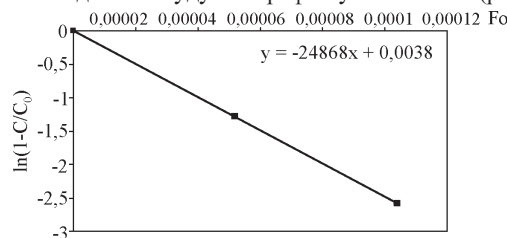


Рис. 2. Зміна концентрації оксіпропіонової кислоти у рідкій фазі залежно від числа Fo

Дослідження в апараті колонного типу дали змогу отримати графічну залежність, представлену на рис. 3.

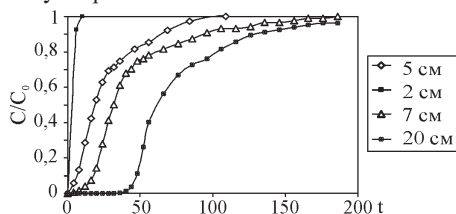


Рис. 3. Зміна концентрації оксіпропіонової кислоти залежно від висоти шару сорбенту

Згідно з наведеними даними, в умовах цього гідродинамічного режиму процесу адсорбції оксіпропіонової кислоти на цеоліті має місце змішано-дифузійний механізм адсорбції. За недостатньої висоти шару сорбенту, навіть за умови витрати розчину 5 мл/хв, спостережено проскок незначних кількостей забруднювача вже з перших хвилин експерименту. Тому мінімальна висота шару сорбенту має становити не менше 7 см.

Висновки. Отримані результати експериментальних досліджень дають змогу визначити ефективні коефіцієнти внутрішньої дифузії процесу іонообмінної сорбції оксіпропіонової кислоти цеолітом. На підставі проведених досліджень та розрахунків математичної моделі побудовано теоретичну залежність концентрації оксіпропіонової кислоти у рідкій фазі залежно від числа Fo . Досліджено процес сорбції оксіпропіонової кислоти цеолітом та обґрунтовано параметри адсорбційної колони.

Література

1. Саблій Л.А. Фізико-хімічне та біологічне очищення висококонцентрованих стічних вод. : монографія. – Рівне : Вид-во НУВГП, 2013. – 291 с.
2. Челищев Н.Ф. Цеолити новий тип мінерального сир'я / Н.Ф. Челищев, Б.Т. Берштейн, В.Ф. Володин. – М. : Изд-во "Недра", 1987. – 176 с.
3. Сабадаш В.В. Сорбційне очищення стічних вод молокопереробних підприємств від молочної кислоти / В.В. Сабадаш // IV Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю (Екологія/Ecology-2013) : зб. наук. стат., м. Вінниця, 25-27 вересня, 2013. – Вінниця : Вид-во "Друкарня ДІЛО", 2013 / Вінницький НТУ МОН України. – С. 67-70.
4. Гивлюд А.М. Кінетика адсорбції оксіпропіонової кислоти природним цеолітом / А.М. Гивлюд, В.В. Сабадаш, Я.М. Гумницький // Наукові праці ОНАХТ : зб. наук. праць. – Одеса : Вид-во ОНАХТ. – 2014. – Вип. 45. – Т. 2. – С. 25-30.
5. Petrus R. Wymiana masy w układzie ciało stałe – ciecz. Podręcznik akademicki / R. Petrus, G.A. Aksielrud, J.M. Gumnicki, W. Pintkowski // Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. – Rzeszyw, 1998. – 365 s.
6. Петрушка І.М. Кінетика внутрішньодифузійної сорбції органічних розчинників природними сорбентами / І.М. Петрушка, М.С. Мальований, Я.М. Гумницький // Вісник Кременчуцького національного університету ім. Михайла Остроградського : зб. наук. праць. – Кременчук. – 2012. – № 3(74). – С. 131-134.

Надійшла до редакції 01.04.2016 р.

Сабадаш В.В., Гивлюд А.М., Гумницький Я.М. Исследование адсорбции α -оксипропионовой кислоты в динамических условиях

Представлены результаты экспериментальных исследований кинетики сорбции и ионообменного поглощения оксипропионовой кислоты цеолитом в аппарате с мешалкой. Проанализирован существующий теоретический аппарат для описания процессов адсорбции. Разработаны механизм адсорбции и методы для идентификации экспериментальных данных теоретическим моделям процесса. Экспериментально исследована сорбционная емкость цеолита относительно молочной кислоты в динамических условиях. Построены выходные кривые динамики адсорбции α -оксипропионовой кислоты цеолитом в аппарате колонного типа. Установлена взаимосвязь степени насыщения сорбента от критерия Фурье. Полученные результаты экспериментальных исследований позволяют определить кинетические коэффициенты процесса адсорбции сточных вод молокоперерабатывающих предприятий в аппаратах колонного типа.

Ключевые слова: α -оксипропионовая кислота, динамика адсорбции, коэффициент массоотдачи.

Sabadash V.V., Givlyud A.M., Gumnitsky Ya.M. Study of Adsorption of Hydroxypropionic Acid in the Dynamic Conditions

The results of experimental studies of the kinetics of ion exchange adsorption of lactic acid by zeolite in the apparatus of agitator type were presented. The existing theoretical apparatus for adsorption processes description was analyzed. Adsorption process mechanism and methods for identification of experimental data to theoretical models were developed. The results of experimental studies of the dynamic of ion exchange adsorption of lactic acid by zeolite in the periodic conditions were presented. The existing theoretical apparatus for adsorption processes description was analyzed. Adsorption process mechanism was investigated and methods for identification of experimental data to theoretical models were developed. Sorption capacity of zeolite to lactic acid in dynamic conditions was experimentally investigated. Adsorption capacity of adsorbents was set. The breakthrough curves of adsorption dynamics of α -hydroxypropionic acid by zeolite in the column-type apparatus were built. The interrelation the saturation degree of sorbent to Fourier number was determined. The results of experimental studies make it possible to determine the adsorption process of wastewater milk processing plants in the column-type apparatus.

Keywords: hydroxypropionic acid, adsorption kinetics, the mass-transfer coefficient.

УДК 621.317.73+612.014.422

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОХИБОК ЧАСТОТНИХ АНАЛІЗАТОРІВ ІМПЕДАНСУ ПРЯМОЇ ДІЇ

Р.М. Івах¹, В.В. Хома², Ю.В. Хома³, І.Д. Питель⁴

Проаналізовано основні джерела похибок частотних аналізаторів імпедансу прямої дії, збудованих на базі активних вимірювальних перетворювачів. На основі проведених досліджень встановлено, що такі явища, як шуми та альязінг мають визначальний вплив на точність визначення синфазної та квадратурної складових вихідної напруги активного вимірювального перетворювача. Як показали дослідження, похибки від шумів та альязінгу мають адитивний характер, сумарний вплив яких не перевищує 0,2 % в кінці діапазону вимірювання і 2 % – на початку.

Ключові слова: імпеданс, вимірювання імпедансу, частотні аналізатори імпедансу, активні вимірювальні перетворювачі, альязінг, передавальна характеристика, похибки вимірювання імпедансу.

Вступ. Потреба вимірювання імпедансу виникає у різноманітних сферах, таких як: хімія, медицина, екологія, фізика напівпровідників тощо [1-6]. Як правило, реальні досліджувані об'єкти описуються багатоеlementними схемами заміщення, тому їх параметри можна визначити шляхом опрацювання результатів вимірювання складових імпедансу на низькій частоті. Для побудови вимірювача імпедансу, який враховував би параметри реального досліджуваного об'єкта на кількох частотах використовують частотні аналізатори імпедансу (ЧАІ) прямої дії. Основними перевагами ЧАІ є: висока точність і швидкодія, простота реалізації. У [7] встановлено, що вирішальну роль в аналізі похибок вимірювальної схеми ЧАІ відіграватимуть три фактори: шуми, альязінг та інерційність операційного підсилювача (ОП).

Метою роботи є оцінка похибок визначення квадратурної та синфазної складових вимірюваної напруги, зумовлених альязінгом та шумами, а також підбір оптимальних з точки зору точності параметрів вимірювальної апаратури.

Методика досліджень. Для аналізу ефективності алгоритмів коригування варто попередньо встановити граничні значення похибок виділення синфазної та квадратурної складових вимірювального сигналу, тому спершу проведемо оцінку впливу похибок, зумовлених шумами і альязінгом.

Аналіз впливу шумів на точність квадратурного розділення. Щодо похибок шуму активного вимірювального перетворювача (АВП), то вони зумовлені в основному білим шумом, а, отже, породжені ним паразитні гармоніки можуть бути описані рівномірним законом розподілу в усьому спектрі вимірювального сигналу. Вихідний шум АВП за методом автобалансування можна обчислити за допомогою виразу [8, 9]

$$\sigma_{noise} = \sqrt{\sigma_{Ro}^2 + (\sigma_{DO}^2 + \sigma_{Op}^2) \cdot \left(\frac{Z_X}{R_0}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{Op}}{\beta}\right)^2 \cdot \frac{A\beta}{1 + A\beta}}, \quad (1)$$

де: σ_{Ro} – СКЗ шумів зразкового резистора; σ_{DO} – СКЗ шумів досліджуваного об'єкта; σ_{Op} – СКЗ шумів джерела зондувального сигналу; σ_{Op} – СКЗ власних шумів ОП; A – коефіцієнт підсилення ОП із розімкненим зворотним зв'язком; β – коефіцієнт зворотного зв'язку; Z_X – імітанс об'єкта дослідження.

На практиці домінуючу роль відіграватимуть вхідні шуми ОП і шуми зразкового резистора та досліджуваного об'єкта (ДО). Типові значення сумарної інтенсивності шумів АВП становлять порядку кількох мВ [10]. При цьому їх вплив буде послаблюватися завдяки фільтрувальним властивостям синхронного детектора (СД), який входить до складу ЧАІ. Цілком очевидно, що основними параметрами, які впливатимуть на ефективність такої фільтрації, будуть кількість вибірок СД та відношення сигнал/шум (SNR).

Для оцінювання впливу шумів на точність роботи вимірювального каналу дослідження проводили для двох випадків: за сталої інтенсивності шуму і різної кількості вибірок за час спостереження і навпаки. Щоб усунути можливий вплив інших джерел похибок усіма іншими параметрами вимірювального каналу нехтуємо. З метою одночасної оцінки похибок квадратурного розділення, як за активною, так і за реактивною складовими, вимірювальний сигнал буде зсунутий відносно ортогональних на 45°.

Спершу досліджували вплив кількості вибірок на період. Інтенсивність шуму при цьому задавалася рівною 60 dB. Усі дослідження проводили по 100 разів за незмінних параметрів вимірювального каналу з метою оцінки найгіршого можливого випадку. Результати досліджень представлено на рис. 1, з якого можна зробити висновок, що в міру зростання кількості вибірок СД вплив шумів різко зменшується і вже при 128 вибірках ($k=7$) його значення становить менше 0,1 %. В іншому випадку (рис. 2), дослідження проводили за сталої кількості вибірок на період (1024), за різних значень інтенсивності шуму відносно інтенсивності вимірювального сигналу. Як і в попередньому випадку, проводили багатократні моделювання (100 разів) і на графіках представлено граничні значення похибок.

¹ доц. Р.М. Івах, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка";

² проф. В.В. Хома, д-р техн. наук – НУ "Львівська політехніка";

³ асист. Ю.В. Хома, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка";

⁴ доц. І.Д. Питель, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка"