

УДК 004.415.53

**Мелкозьорова
Ольга Михайлівна**

кандидат технічних наук, доцент
кафедри кібербезпеки інформаційних систем, мереж і технологій,
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, майдан
Свободи, 4, Харків-22, Україна, 61022;
e-mail: olha.melkozerova@karazin.ua
<https://orcid.org/0000-0002-1134-2925>

**Нарежній
Олексій Павлович**

кандидат технічних наук, доцент
кафедри кібербезпеки інформаційних систем, мереж і технологій,
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, майдан
Свободи, 4, Харків-22, Україна, 61022;
e-mail: o.nariezhnii@karazin.ua;
<https://orcid.org/0000-0003-4321-0510>

Математичні моделі модуляції простих сигналів для алгебраїчного відокремлення перешкоди у системах передачі інформації

Стаття є подовження роботи [1] про сепарацію корисного сигналу від перешкоди та робіт [2,3], у яких пропонувався метод вирішення систем лінійних алгебраїчних рівнянь з використанням QR розкладання на базі методу Грама Шмідта. Робота є **актуальною**, тому що на частотній осі систем передачі інформації неможна знайти ділянку, вільну від перешкод, завжди треба розраховувати на випадок, що перешкода є у всьому доступному діапазоні частот, опис деяких джерел цих перешкод наведено у вступі цієї статті. Розробка сучасних інформаційно-комунікаційних систем неможлива без використання математичних моделей, тому що це впливає на вартість дослідження та є передумовою створення дослідницьких стендів. Отже, **метою цієї роботи** є побудова моделей уявлення корисних сигналів, важливим напрямком при цьому є дотримання критеріїв математичних моделей: адекватності, гнучкості, прийнятної складності. Користь від моделювання можна отримати лише за умов, коли забезпечується правильне (адекватне) відображення властивостей оригіналу, а також відбувається видалення проблеми складності досліджень на реальних об'єктах. Тому робота подовжується у напрямку побудови аналітичних математичних моделей простих сигналів з **використанням методів модуляції**: амплітудної, частотної, фазової. У роботі є графіки з часовою розгорткою простих сигналів, формули побудови та параметри, до яких належить частота, швидкість передачі символів і період передачі одного символу, а також наведено словесний опис процесу демодуляції для оцінки правильності графіків модуляції. Отже, **результатом роботи** є аналітичні математичні моделі, які мають адекватність та прийнятну складність, також їх можна використати для побудови складніших моделей, наприклад, побудови моделі квадратурної модуляції, де спостерігається зміна вже двох параметрів: амплітуди та початкової фази. За результатом роботи можна зробити **висновки**, що робота є актуальною, має мету, результат і напрямок подальшого дослідження, що буде визначатися математичними моделями побудови системи перешкод на базі рядів Фур'є та sinc функцій, їх адитивним додаванням до корисного сигналу, з подальшим використанням матриць систем лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР) і порівнянням отриманих результатів зі звичайними методами процесу демодуляції, які побудовані на використанні кореляційних інтегралів.

Ключові слова: Модуляція, демодуляція, амплітудна модуляція, фазова модуляція, частотна модуляція, системи передачі інформації, сепарація, перешкода.

Як цитувати: Мелкозьорова О. М., Нарежній О. П. Математичні моделі модуляції простих сигналів для алгебраїчного відокремлення перешкоди у системах передачі інформації. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління*. 2025. вип. 67. С.83-90. <https://doi.org/10.26565/2304-6201-2025-67-08>

How to quote: O. Melkozerova, and O. Nariezhnii "Mathematical models of simple signals modulation for algebraic separation of noise in information communication systems", *Bulletin of V. N. Karazin Kharkiv National University, series Mathematical modelling. Information technology. Automated control systems*, vol. 67, pp. 83-90, 2025. <https://doi.org/10.26565/2304-6201-2025-67-08> [in Ukrainian]

Вступ

Технічні проблеми реалізації фізичних ліній зв'язку є основою виникнення фундаментальних меж швидкості та надійності передачі [4, 5, 6]. Перешкоди, шуми і потоки помилок, що породжуються ними, у системах передачі інформації (СПІ) є свого роду бекграундом, тобто фоном, на якому будуються оптимальні сигнальні конструкції.

До технічних проблем реалізації СПІ можна віднести наступні перешкоди:

1) Джерелами спотворень і перешкод у СПІ є природні перешкоди. Це радіовипромінювання, що надходять із космосу, природні явища, землетруси, виверження вулканів, магнітні бурі.

2) Шуми електронних приладів – це апаратна основа, всіх пристроїв передачі та прийому, їм властиві власні теплові шуми. Навіть, якби не було зовнішніх перешкод, все одно прийом та передача інформації здійснювалася за наявності цих шумів, що описуються моделлю Гаусового каналу.

3) Взаємний вплив різних ліній. Дуже багато зараз абонентів, які бажають використовувати один і той самий фізичний ресурс, неминуче з'являється взаємний шкідливий вплив один на одного.

4) Детерміновані спотворення. Мається на увазі неідеальність частотних та енергетичних характеристик у лініях зв'язку, неоднорідності у маршруті поширення сигналу та інше

5) Розмноження сигналу при їх поширенні кількома маршрутами. Це особливо актуально при глобальному короткохвильовому зв'язку, коли радіо хвилі можуть відбиватися від різних шарів атмосфери, проходити різну тривалість маршруту від передавача до приймача і надходити на вхід приймача зі зміщенням за часом. Те саме спостерігається при поширенні ультра коротких хвиль в умовах міста. Випромінювання відбивається від будівель, автомобілів і досягають до приймача по кількох маршрутах зі зсувом за часом.

6) Збої, відмови електронних пристроїв та тимчасові розриви з'єднань у системах комутацій. Усі технічні пристрої характеризуються неідеальною надійністю. Цю причину виключити не можна.

7) Навмисні перешкоди. Станція радіо протидії. Це військової сфери застосування, поліції або це може бути організація недобросовісних, нечесних, незаконних заходів конкурентної боротьби.

Також є практичні обмеження на фізичні ресурси в лінії зв'язку, вони завжди матеріальні, до них відносяться обмеження:

1) потужності передавача, це особливо доречно для мобільних пристроїв;

2) обмеження на доступну ширину смуги частот, так як сигнали подаються у вигляді коливальних, вони характеризуються певною частотою і чим більше ми хочемо передавати сигнали, тим більшу смугу частот ми повинні задіяти, але вона одна на всіх. І навіть при обережному регулюванні та розподілі радіо частот наш ефір дедалі більше стає непридатним для екстенсивного розвитку систем комунікацій.

Винахід у роботі [1] пропонує метод, який пов'язано з системами для покращення передачі та чистого відділення шуму та корисного сигналу. Базова ідея, яка підкреслюється у роботі для нового шляху розробки теорії та техніки комунікації, це відхилення методу, який побудовано на імовірності, для оцінки сигналу згідно з правилом найбільшої ймовірності. Це математична процедура для абсолютно чіткого відокремлення сигналу та шуму та доказ відсутності будь-яких фундаментальних теоретичних обмежень на ефективність комунікації, включно відсутність обмежень ємності каналу. Такий підхід розглядає нову концепцію та технічні аспекти імплементації інформаційно-комунікаційних систем та використовує системи алгебраїчних рівнянь (СЛАР) для того, щоб відфільтрувати сигнал від шуму. Матриця СЛАР – це лінійна алгебраїчна матриця, що сепарує та виділяє правдиві значення інформативних параметрів сигналу.

У роботах [2,3] запропоновано рішення системи лінійних рівнянь, для такого математичного сепаратора, оскільки матриці, які для цього використовуються мають прямокутну форму, звичайні методи вирішення системи рівнянь не будуть ефективними, у цих роботах пропонувався метод ортогонального розкладення. Для отримання матриць з ортогональним розкладенням можна використовувати метод Грама Шмідта для матриць з будь-яким розміром навіть якщо є стовпці або строки, що повторюються у матриці. Метод для вирішення СЛАР містить повний опис рішення та придатний для довільного розміру матриць. У роботі є приклад з вирішення з малим розміром матриці. Також є приклад імплементації з матрицею набагато більшого розміру у середовищі MathCad Prime. Імплементація містить функції, які можна використовувати для інших

мов програмування. Отримане рішення має мінімальну норму та придатне для лінійних алгебраїчних матриць, що сепарують сигнал від шуму.

У цій роботі пропонується розглянути найпростіші моделі сигналів, їх модуляції та демодуляції для передачі двійкових чисел, а саме: амплітудну, частотну та фазову. Ці параметри – ступені свободи, які можна змінювати відповідно до повідомлення, яке передається. Під модуляцією будемо називається процес в результаті якого параметр одного сигналу, який називається переносником, змінюється за законом, що задається іншим сигналом, який називають сигналом повідомлення [6]. Звісно, що тут треба додати ще і перенесення спектру частот, але для простоти ми не розглядаємо цей процес. Саме таке математичне моделювання процесів побудови сигналів можна використати для побудови процесу прийняття рішень при демодуляції процесу, що описаний у роботах [1,2,3].

У якості подальшого дослідження будуть розглядатися математичні моделі побудови системи перешкод та їх адитивне додавання до корисного сигналу, з подальшим використанням матриць СЛАР та їх порівняння зі звичайними методами процесу демодуляції, які побудовані на використанні кореляційних інтегралів.

1. Амплітудна модуляція (АМ) та демодуляція системи передачі інформації

Першу модель позначимо, як амплітудну модуляцію (АМ) із двома градаціями амплітуди, сигнал з пасивною паузою, тобто одна з амплітуд - це 0, друга амплітуда при передачі – 1, яка визначається з умови забезпечення середньої потужності або середньої амплітуди:

$$S_{AM}(t, T_m) = \sqrt{2} \cdot X \left\lfloor \frac{T_m - t}{T} \right\rfloor \cdot \sin(\omega_0 (T_m - t)), \quad (1.1)$$

ω_0 - колова частота, що дорівнює:

$$\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot \omega \quad (1.2)$$

ω - частота, що переносить;

T – період, за який переноситься один біт повідомлення;

X – бітовий потік, який є повідомленням, передається;

t – час, на якому можна розглянути процес модуляції;

$\lfloor \cdot \rfloor$ - округлення у бік найближчого цілого значення.

T_m – цей параметр введено для цілей моделювання, ця величина має бути кратною періоду T .

Амплітудний множник $\sqrt{2}$ тут для забезпечення середнього значення квадрата амплітуди рівного 1, що відповідає середній потужності сигналу 0,5, оскільки будь-яка гармонійна функція в квадраті, проінтегрована на цілій кількості періодів дає величину 0,5.

Також можна визначити параметр швидкість модуляції V – це число елементарних символів, що передаються у одиницю часу.

$$V = \frac{1}{T}. \quad (1.3)$$

На рисунку 1.1 зображено модульований сигнал з використанням амплітудної модуляції. Задані параметри цього сигналу: частота 1600 герц, що переносить, швидкість маніпуляції 200 символів/с, відповідно тривалість одного каналного символу – це $1/200=0,005$ с. На графіку розгорнуто в інверсному часі передача перших 32 (4 байта) символів. Перший символ 0 тут йде справа, оскільки він був сформований раніше, у канал вийшов першим, далі йде 2 одиниці, це перший та другий символ. З часової розгортки видно, що байтовий код ASCII буде 116, 115, 111, 104, це символи, які відповідають повідомленню 'host'.

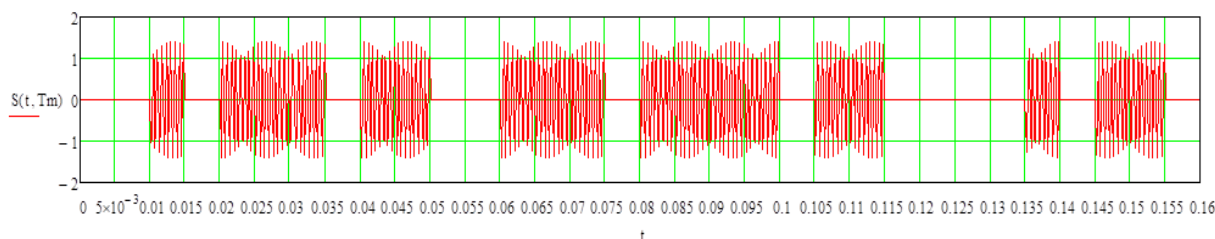


Рис. 1.1 Сигнал, що модульовано з використанням АМ
Fig. 1.1 Signal with an amplitude modulation

Щоб отримати зворотній сигнал, демодулятор обчислює ступінь близькості в метриці Гілберта між прийнятою реалізацією сигналу на одному інтервалі модуляції і можливими еталонами. Нижче наведено скріншот блоку виконання процесу демодуляції з використанням MathCad (рис. 1.2). У циклі n – це кількість байтів у повідомленні.

$$Xp := \begin{cases} \text{for } i \in 0..n \cdot 8 - 1 \\ \left| \begin{array}{l} x_i \leftarrow \frac{2}{T} \cdot \int_{i \cdot T}^{(i+1) \cdot T} SS(t + z \cdot T) \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega_0 \cdot t) dt \\ xx_i \leftarrow \begin{cases} 1 & \text{if } x_i \geq 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \end{array} \right. \\ \text{xx} \end{cases}$$

Рис.1.2 Скріншот виконання АМ демодуляції
 Fig. 1.2 Screenshot of an amplitude demodulation

2. Частотна модуляція (ЧМ) та демодуляція системи передачі інформації

Формування простого сигналу з частотною маніпуляцією визначається наступним описом. Масив вектор двійкових символів передачі керує зміною частоти дискретно на кожному інтервалі модуляції при заданій швидкості V, змінюючи цю частоту щодо середнього значення на величину ±Δω (при передачі 1 та 0 відповідно), яку називають девіацією частоти [4]:

$$\omega = \begin{cases} \omega_0 - \Delta\omega \\ \omega_0 + \Delta\omega \end{cases} \tag{2.1}$$

Величина Δω обирається з принципу максимальної відмінності сигналу 0 та 1 на інтервалі T. Для визначення ступеня схожості можна обчислити кореляції двох гармонійних коливань із частотами, що відрізняються на Δω :

$$K(\Delta\omega) = \frac{1}{E} \int_0^T \sin[(\omega_0 + \Delta\omega)t] \cdot \sin[(\omega_0 - \Delta\omega)t] dt, \tag{2.2}$$

$$E = \int_0^T \sin^2(\omega_0 t) dt \tag{2.3}$$

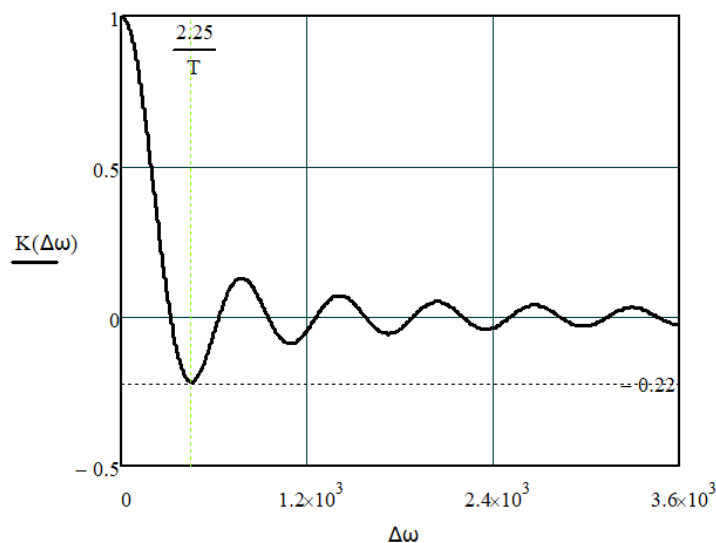


Рис.2.1 Графік взаємної кореляції двох функцій, що відрізняються на Δω
 Fig. 2.1 The graph of the cross-correlation of two functions that differ by Δω

Тоді процес частотної модуляції задаємо формулою [4]:

$$S(t, T_m) = \sin \left[\left(\omega_0 + \left(2 \cdot X \left[\frac{T_m - t}{T} \right] - 1 \right) \cdot \Delta \omega \right) \cdot \left(T_m - t - T \cdot \left[\frac{T_m - t}{T} \right] \right) \right] \quad (2.4)$$

На рисунку 2.1 зображено модульований сигнал з використанням частотної модуляції. Задані параметри цього сигналу, як у розділі 1: частота 1600 герц, що переносить, швидкість маніпуляції 200 символів/с, відповідно тривалість одного каналного символу – це $1/200=0,005$ сек. На графіку розгорнуто в інверсному часі передача перших 2 символів. Перший символ 0 тут йде справа, оскільки він був сформований раніше, у канал вийшов першим, далі йде одиниця. Тут показано тільки передача двох бітів для тієї мети, щоб можна було на графіку побачити, що при передачі 0 на інтервалі від 0,005 до 0,01 частота відрізка тригонометричної функції трохи нижча, ніж при передачі 1 на інтервалі від 0 до 0,005.

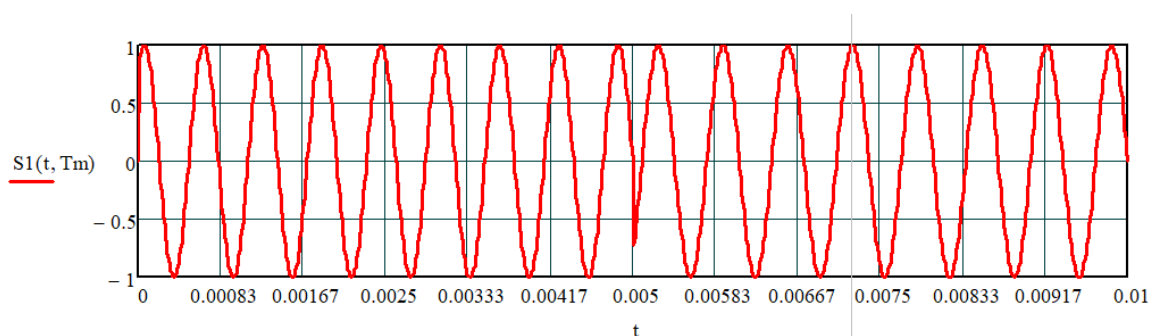


Рис.2.2 Сигнал, що модульовано, з використанням ЧМ
Fig. 2.2 Signal with the frequency modulation

На рисунку 2.3 наведено блок виконання процесу демодуляції з використанням пакету MathLab.

$$\begin{array}{l} \text{Xp} := \text{for } i \in 0 \dots n-8 - 1 \\ \quad \left| \begin{array}{l} x0 \leftarrow \frac{2}{T} \cdot \int_{i \cdot T}^{(i+1) \cdot T} SS1(t + z \cdot T) \cdot \sin \left[(\omega_0 - \Delta \omega) \cdot \left(t - T \cdot \text{floor} \left(\frac{t}{T} \right) \right) \right] dt \\ x1 \leftarrow \frac{2}{T} \cdot \int_{i \cdot T}^{(i+1) \cdot T} SS1(t + z \cdot T) \cdot \sin \left[(\omega_0 + \Delta \omega) \cdot \left(t - T \cdot \text{floor} \left(\frac{t}{T} \right) \right) \right] dt \\ xx_i \leftarrow \begin{cases} 1 & \text{if } x1 \geq x0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \end{array} \right. \\ \text{xx} \end{array}$$

Рис.2.3 Скріншот виконання ЧМ демодуляції
Fig. 2.3 Screenshot of the frequency demodulation

3 Фазова модуляція (ФМ) та демодуляція системи передачі інформації

При ФМ амплітуда та частота гармонійного коливання постійні, змінюється фаза. При передачі логічного нуля припустимо вона 0, тобто передається синус несучої частоти, при передачі логічної 1, припустимо, що вона дорівнює Π , тобто передається мінус синус несучої частоти. Хоча цей розподіл може бути протилежним [4]. Це несуттєво.

$$S(t, T_m) = \sin \left[\omega_0 \cdot \left(T_m - t - T \cdot \left\lfloor \frac{T_m - t}{T} \right\rfloor \right) + X \left\lfloor \frac{T_m - t}{T} \right\rfloor \cdot \pi \right] \quad (3.1)$$

На рисунку 3.1 зображено модульований сигнал з використанням фазової модуляції. Задані параметри цього сигналу співпадають із параметрами у розділах 1 та 2. На графіку розгорнуто в інверсному часі передача перших 24 біта. З отриманого графіка видно, що сигнал складається з відрізків синуса при передачі 0 та мінус синуса при передачі 1, байтовий код ASCII буде 111, 114, 116, це символи, які відповідають повідомленню 'ort'.

При демодуляції сигналу ФМ проводиться оцінка модуляційного параметра шляхом обчислення кореляційного інтеграла, прийнятого відрізка сигналу з еталоном форми несучого коливання і відбувається прийняття рішення з урахуванням знаку (рис.3.2).

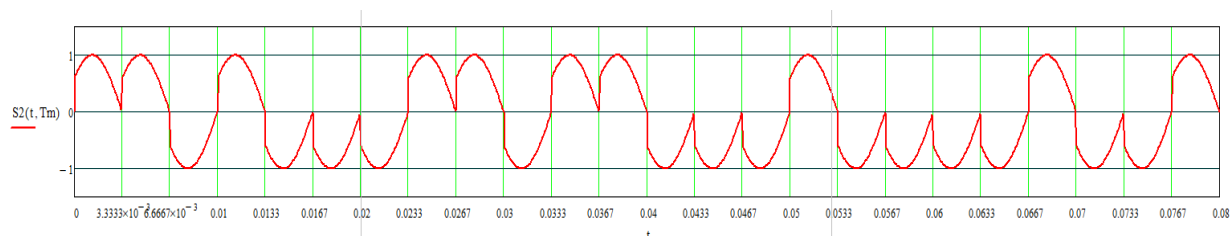


Рис.3.1 Сигнал, що модульовано, з використанням ФМ

Fig. 3.1 Signal with the phase modulation

$$\begin{array}{l} \text{Xp :=} \\ \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0 \dots n-8 - 1 \\ \left| \begin{array}{l} x0 \leftarrow \frac{1}{T} \cdot \int_{i \cdot T}^{(i+1) \cdot T} S2(t + z \cdot T) \cdot \sin \left[\omega_0 \cdot \left(t - T \cdot \text{floor} \left(\frac{t}{T} \right) \right) \right] dt \\ xx_i \leftarrow \frac{-\text{sign}(x0) + 1}{2} \end{array} \right. \\ \text{xx} \end{array} \right. \end{array}$$

Рис.3.2 Скріншот виконання ФМ демодуляції

Fig. 3.2 Screenshot of the phase demodulation

Висновки

Стаття є подовженням роботи у напрямку розробки СПП з методологією, запропонованою у [1], а саме підвищення пропускну здатності за рахунок використання матриць СЛАР, що відокремлюють корисний сигнал від перешкод, які присутні у каналі передачі інформації. Джерела цих перешкод різноманітні, деякі з них наведено у вступі цієї роботи. Розробка сучасних інформаційно-комунікаційних систем неможлива без використання математичних моделей, це впливає на вартість дослідження та є передумовою створення дослідницьких стендів. Тому у роботі запропоновано математичні моделі модуляції та демодуляції простих сигналів: амплітудну, частотну та фазову. Робота містить деталізований опис аналізу отриманих часових розгортки для підтвердження адекватності моделей, формули побудови та параметри, до яких належить частота, швидкість передачі символів та період передачі одного символу. Наведено словесний і математичний опис процесу демодуляції для оцінки правильності графіків модуляції.

За результатом роботи можна зробити висновки, що робота є актуальною, має мету, результат і напрямок подальшого дослідження, що буде визначатися математичними моделями побудови системи перешкод на базі рядів Фур'є та sinc функцій [5], їх адитивним додаванням до корисного сигналу, з подальшим використанням матриць систем лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР) і порівнянням отриманих результатів зі звичайними методами процесу демодуляції, які побудовані на використанні кореляційних інтегралів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. System and method for achieving a clean separation of signal and noise: Patent № 11,394,415 B2 The United States of America. Date of patent Jul. 19, 2022. <https://patents.google.com/patent/US11394415B2/en?q=US11394415B2+>
2. Melkozerova O. M., Rassomakhin S. G., Shlokin V. N. The application of the orthogonal decomposition method for the algebraic solver separator. Bulletin of V.N. Karazin Kharkiv national university, series "Mathematical modeling. Information technology. Automated control systems". 2022. Vol. 54. P. 35–43. <https://doi.org/10.26565/2304-6201-2022-54-04>
3. Мелкозьорова О. М., Малахов С. В., Нарезній О. П. Адаптація ортогонального розподілу матриць для задач розв'язання СЛАР. "Actual problems of modern science": 2023 рік : матеріали Міжн. наук.-практ. конф., 31 січня–3 лют. 2023 р. Бостон : США, 2023. С. 469–474. <https://isg-konf.com/uk/actual-problems-of-modern-science/>
4. Rassomakhin S. G. Mathematical and physical nature of the channel capacity. Telecommunications and Radio Engineering. 2017. Vol. 71, Issue 16. P. 1423–1451. <http://dl.begellhouse.com/journals/0632a9d54950b268,69741fd55cd51128,35cd933625b8086a.html>
5. Shannon C. E. A mathematical theory of communication. Bell System Technical Journ. 1948. Vol. 27. P. 379–423, 623–656. <https://people.math.harvard.edu/~ctm/home/text/others/shannon/entropy/entropy.pdf>
6. Bernard Sklar Digital communication. Fundamentals and application. Communication engineering services. Tarzana, California and university of California, Los Angeles, 2003. 1104 p. https://www.mangoud.com/EENG373_files/Book-Sklar.pdf

REFERENCES

1. Brifman, J., Rassomakhin, S. G., Shlokin, V. N., "System and method for achieving a clean separation of signal and noise," U.S. Patent 11 394 415 B2, Jul. 19, 1922. [in English] <https://patents.google.com/patent/US11394415B2/en?q=US11394415B2+>
2. Melkozerova O. M., Rassomakhin S. G., Shlokin V. N. "The application of the orthogonal decomposition method for the algebraic solver separator". Bulletin of V.N. Karazin Kharkiv National University, series «Mathematical modeling. Information technology. Automated systems», Vol. 54, pp 35–43, 2022. <https://doi.org/10.26565/2304-6201-2022-54-04>
3. O. Melkozerova, S. Malakhov and O. Nariezhnii, " Adaptation of orthogonal matrix distribution for SLAR solution problems," Actual problems of modern science: Proceedings of the 6th International Conference on Actual problems of modern science, ICAPMS 2023, Boston, USA, January 31-February 3, 2023. pp. 469-474. [in Ukrainian] <https://isg-konf.com/uk/actual-problems-of-modern-science/>
4. Rassomakhin S. G. "Mathematical and physical nature of the channel capacity". Telecommunications and Radio Engineering, Vol. 71, Issue 16. pp 1423–1451, 2017. [in English] <http://dl.begellhouse.com/journals/0632a9d54950b268,69741fd55cd51128,35cd933625b8086a.html>
5. Shannon C. E. "A mathematical theory of communication". Bell System Technical Journal, Vol. 27. pp 379–423, 623–656, 1948. [in English] <http://dl.begellhouse.com/journals/0632a9d54950b268,69741fd55cd51128,35cd933625b8086a.html>

6. B. Sklar, Digital communication. Fundamentals and application. Communication engineering services. Tarzana, California and university of California, Los Angeles, 2003. [in English] https://www.mangoud.com/EENG373_files/Book-Sklar.pdf

Melkozerova Olha *PhD,*
Associate Professor of Cybersecurity of information systems, networks and technologies
Department V. N. Karazin Kharkiv National University, Svobody Sq 4, 61022, Kharkiv,
Ukraine;

Nariezhnii Oleksii *Associate Professor of Cybersecurity of information systems, networks and technologies*
Department V. N. Karazin Kharkiv National University, Svobody Sq 4, 61022, Kharkiv,
Ukraine.

Mathematical models of simple signals modulation for algebraic separation of noise in information communication systems

The article is a continuation of the work [1] about the separation of the useful signal from the noise and the works [2,3], in which a method for solving systems of linear algebraic equations using QR decomposition based on the Gram-Schmidt method was proposed. The work is **relevant** because on the frequency axis of information communication systems it is impossible to find a section free from interference, it is always necessary to count on the case that the noise is in the entire available frequency range, a description of some sources of this noise is given in the introduction to this article. The development of modern information and communication systems is impossible without the use of mathematical models, because this affects the cost of research and is a prerequisite for the creation of research stands. The **goal** of this work is to build models for representing useful signals, an important direction in this is compliance with the criteria of mathematical models: adequacy, flexibility, acceptable complexity. The benefit from modeling can be obtained only under conditions when the correct (adequate) reflection of the properties of the original is ensured, and the problem of the complexity of research on real objects is also removed. Therefore, the work is extended in the direction of constructing analytical mathematical models of simple signals using **modulation methods**: amplitude, frequency, phase. The work contains graphs with a time sweep of simple signals, construction formulas and parameters, which include frequency, symbol rate and transmission period of one symbol, and also provides a verbal description of the demodulation process to assess the correctness of the modulation graphs. Therefore, **the result of the work** is analytical mathematical models that have adequacy and acceptable complexity, they can also be used to construct more complex models, for example, constructing a quadrature modulation model, where a change in two parameters is observed: amplitude and initial phase. Based on the results of the work, it can be **concluded** that the work is relevant, has a goal, result and direction of further research, which will be determined by mathematical models for constructing an interference system based on Fourier series and sinc functions, their additive addition to the useful signal, with the subsequent use of matrices of systems of linear algebraic equations (SLAE) and a comparison of the results obtained with conventional methods of the demodulation process, which are based on the use of correlation integrals.

Keywords: *Modulation, demodulation, amplitude modulation, phase modulation, frequency modulation, information communication systems, separation, noise.*