

Systems. – July 1970. – , Vol. AES-6. – P. 473-483.

4. Хисматулин В. Ш. Методика вибору структури алгоритмов оцінювання состояния маневруючих цілей [Текст] / В. Ш. Хисматулин, И. А. Кулинич // Системи обробки інформації : Збірник наукових праць ХВУ. – Х., 2004. – Вип. 11(39). – С. 216-224.

5. Бойник А.Б. Диагностирование устройств железнодорожной автоматики и агрегатов подвижных единиц [Текст] /А. Б. Бойник, Г. И. Загарий, С. В. Кошевой [и др.]. – Х. : ЧП Издат. "Новое слово", 2008. – 527 с.

#### Анотації:

Представлено модель руху транспортного засобу в просторі станів виходячи зі статистичного аналізу його прискорення. Приведено гіпотезу про розподіл ймовірностей прискорення та виконано перехід до еквівалентного нормального розподілу з метою подальшого використання методів теорії оптимальної лінійної фільтрації.

**Ключові слова:** модель, транспортний засіб, оцінка, прискорення, теорія оптимальної фільтрації.

Представлена модель движения транспортного средства в пространстве состояний исходя из статистического анализа его ускорения. Приведена гипотеза о распределении вероятности ускорения и выполнен переход к эквивалентному нормальному распределению с целью дальнейшего использования методов теории оптимальной фильтрации.

**Ключевые слова:** модель, транспортное средство, оценивание, ускорение, теория оптимальной фильтрации.

The model of motion of transport vehicle is presented in problem space coming from the statistical analysis of his acceleration. A hypothesis is resulted about distributing of probability of acceleration and passing is executed to equivalent normal distribution with the purpose of the further use methods of theory of optimum filtration.

**Keywords:** model, transport vehicle, evaluation, acceleration, optimal filtration theory.

УДК 656.25:656.257

СОТНИК В.О., інж. (Південна залізниця),  
БАБАЄВ М.М., д.т.н., проф. (УкрДАЗТ),  
ЧЕПЦОВ М.М., д.т.н., проф. (ДонІЗТ)

## Нейромережева модель розпізнавання тривалості імпульсів та інтервалів кодів АЛСН

**Вступ, аналіз публікацій, формулювання задачі дослідження**

Довготривалий період становлення та розвитку систем залізничної автоматики пов'язаний з релейною елементною базою. Поряд із розробкою вузлів та пристроїв керування формувались методи та засоби організації їх інформаційного обміну. Цілком природно, що вони орієнтувались на

функціональні можливості електромагнітних реле та інших елементів, які були наявні в той період. Сьогоднішній результат таких процесів – нестандартні для сучасних інформаційних технологій, унікальні для кожної системи залізничної автоматики протоколи та сигнали, які використовуються для обміну даними.

Так, найбільш поширеною інформаційною ознакою, яка

застосовується при організації міжсистемної взаємодії, є часова, тобто фіксована інваріантна тривалість імпульсу струму в лінійному колі [1]. Її конкретні значення обумовлені можливостями релейної елементної бази, а саме, здатністю до формування та дешифрування сигналів. На основі цього, наприклад, був сформований метод організації взаємодії між вузлами системи автоблокування [2] та передачі інформації до локомотивних пристроїв безпеки [3], шляхом кодування струму в рейковому колі (код АЛСН).

Слід зазначити, що впровадження коду АЛСН значно підвищило рівень автоматизації та функціональні можливості систем керування. Застосування кодів було повністю виправданим до моменту виникнення потреби в суттєвому збільшенні швидкості руху поїздів [2, 4]. Це змусило шукати інші підходи в організації інформаційної взаємодії «колія-рухомий склад». Так, сучасні засоби мікропроцесорної техніки дозволяють повністю відмовитись від застосування коду АЛСН з переходом на стандартні протоколи та сигнали. Але, враховуючи значну протяжність залізничних ліній, які мають кодування, великий локомотивний парк, незначний відсоток швидкісних поїздів, такий перехід наразі невиправданий. У зв'язку з цим спостерігається наступне. Блоком прийому та дешифрування кодів АЛСН повинні бути обладнані всі локомотиви, які здійснюють поїзну роботу. Для організації швидкісного руху потяги та залізничні лінії обладнуються додатковими технічними засобами, спроектованими як надбудова над «базовими» блоками АЛСН. Тобто всі нові розробки повинні містити такий блок. У зв'язку з цим необхідність в розробці ефективних методів дешифрування кодів, орієнтованих на застосування сучасних технічних засобів, не втратила свою актуальність.

З іншого боку, результати досліджень [5] ставлять під сумнів доцільність використання методу кореляційного прийому, наведеного в роботі [6]. Тому необхідно виконати розробку моделі оцінки часових характеристик кодів, яку можна покласти в основу синтезу пристрою дешифрування кодів АЛСН. Для цього розглянемо вхідні сигнали кодів АЛСН, які отримуються з технічних засобів, виконаних за структурою, наведеною на рис. 1.

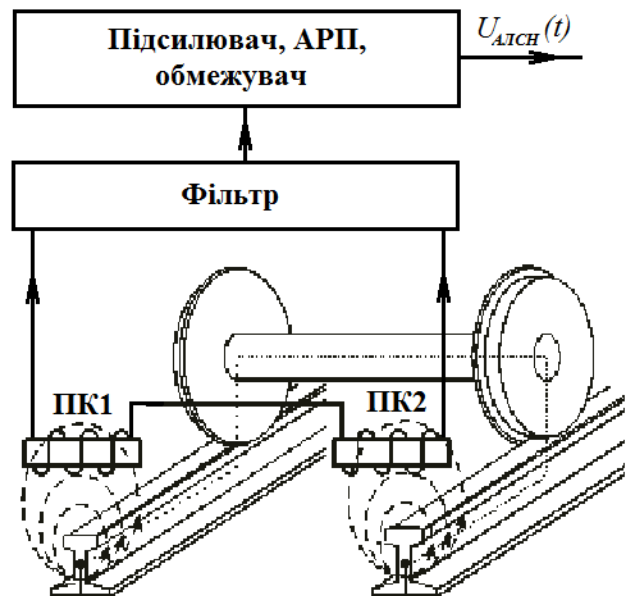


Рис. 1. Структура локомотивних пристроїв прийому кодів АЛСН

Так, електромагнітне поле, яке виникає внаслідок проходження сигнального струму, наводить ЕРС на прийомних котушках ПК1 та ПК2. Для селекції цього сигналу на фоні завад в структурі передбачений фільтр. Далі сигнал поступає на підсилювач, охопленний колом автоматичного регулювання (АРП), після чого він обмежується за амплітудою. Якщо в отриманому сигналі  $U_{АЛСН}(t)$  відсутні завади та часові перетворення, його характеристики відповідають одному з кодів: КЖ (рис. 2), Ж (рис. 3) або З (рис. 4).

Для різних кодових трансмітерів інтервалів в табл. 1 виділені сірим (КПТ) тривалості імпульсів та інтервалів кольором. відрізняються (табл. 1). Тривалості

Таблиця 1

Тривалості імпульсів та інтервалів в кодах АЛСН

| Код              | КПТ-5 |      |      |      |      |      | КПТ-7 |      |      |      |      |      |
|------------------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|
| КЖ               | 0,23  | 0,57 | 0,23 | 0,57 |      |      | 0,3   | 0,65 | 0,3  | 0,65 |      |      |
| Ж                | 0,38  | 0,12 | 0,38 | 0,72 |      |      | 0,35  | 0,12 | 0,62 | 0,81 |      |      |
| З                | 0,35  | 0,12 | 0,22 | 0,12 | 0,22 | 0,57 | 0,35  | 0,12 | 0,25 | 0,12 | 0,25 | 0,81 |
| Тривалість циклу | 1,6   |      |      |      |      |      | 1,9   |      |      |      |      |      |

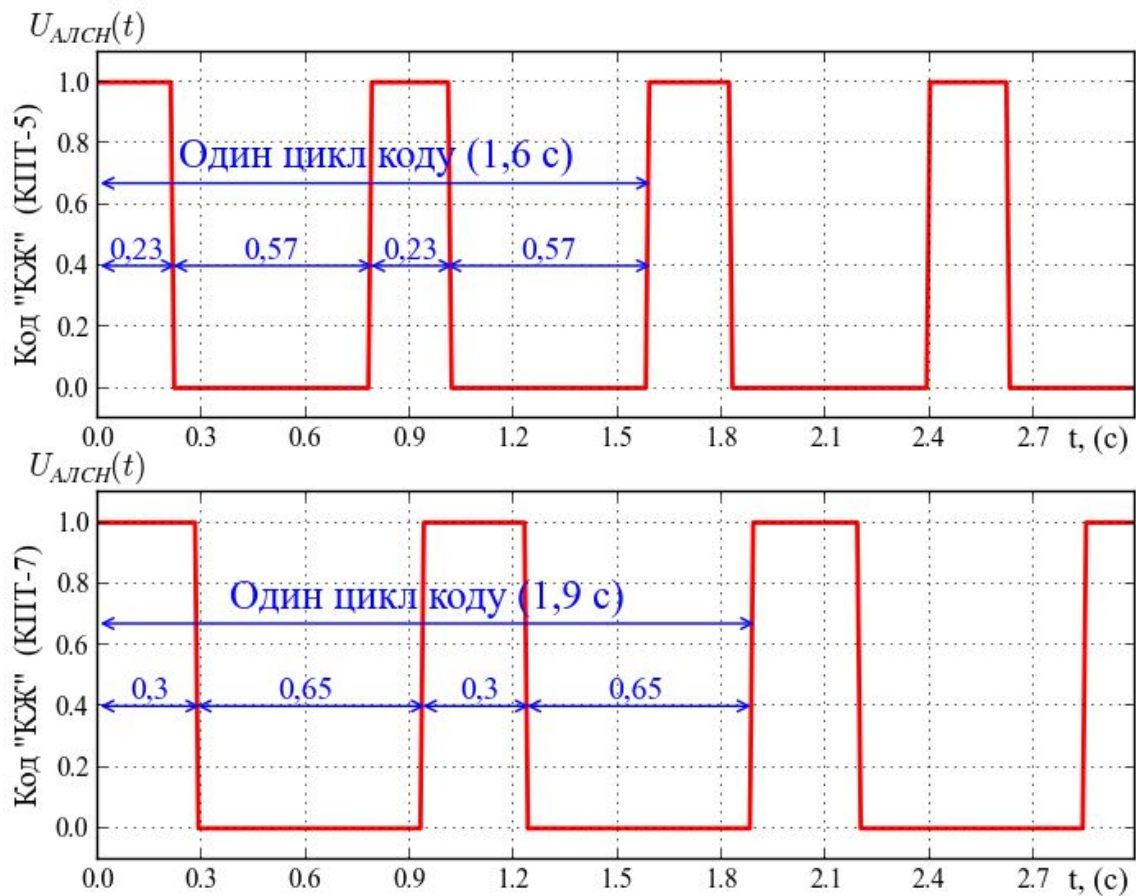


Рис. 2. Часові характеристики сигналу  $U_{ALSN}(t)$  при прийомі коду КЖ

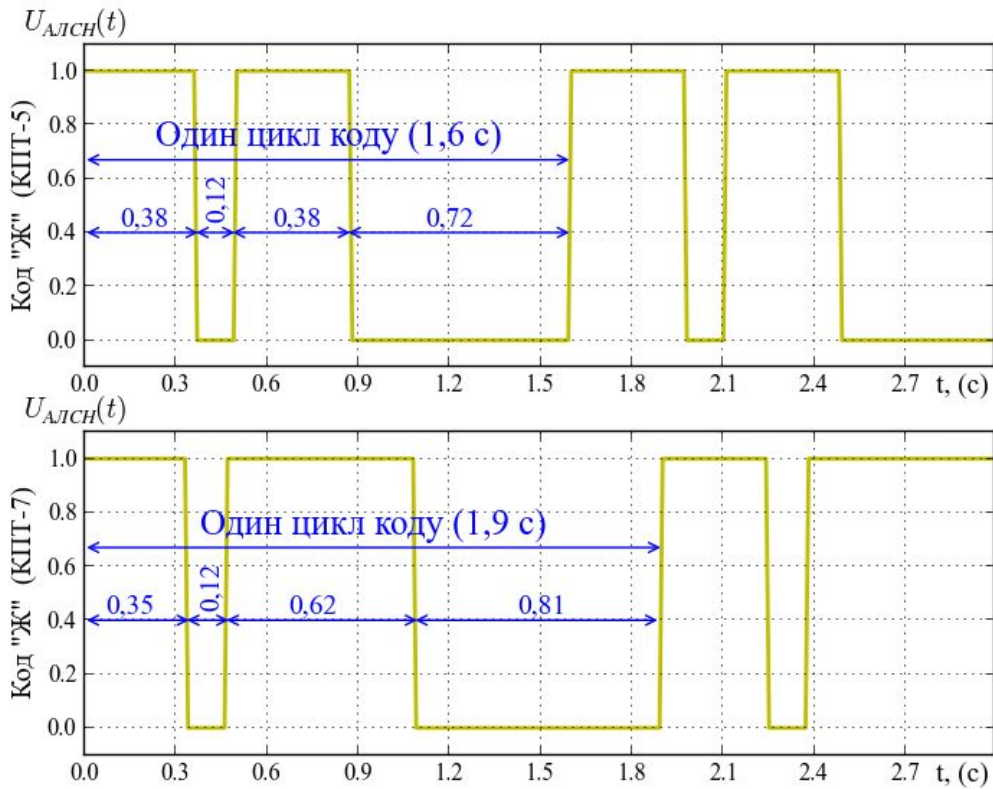


Рис. 3. Часові характеристики сигналу  $U_{ALCH}(t)$  при прийомі коду Ж

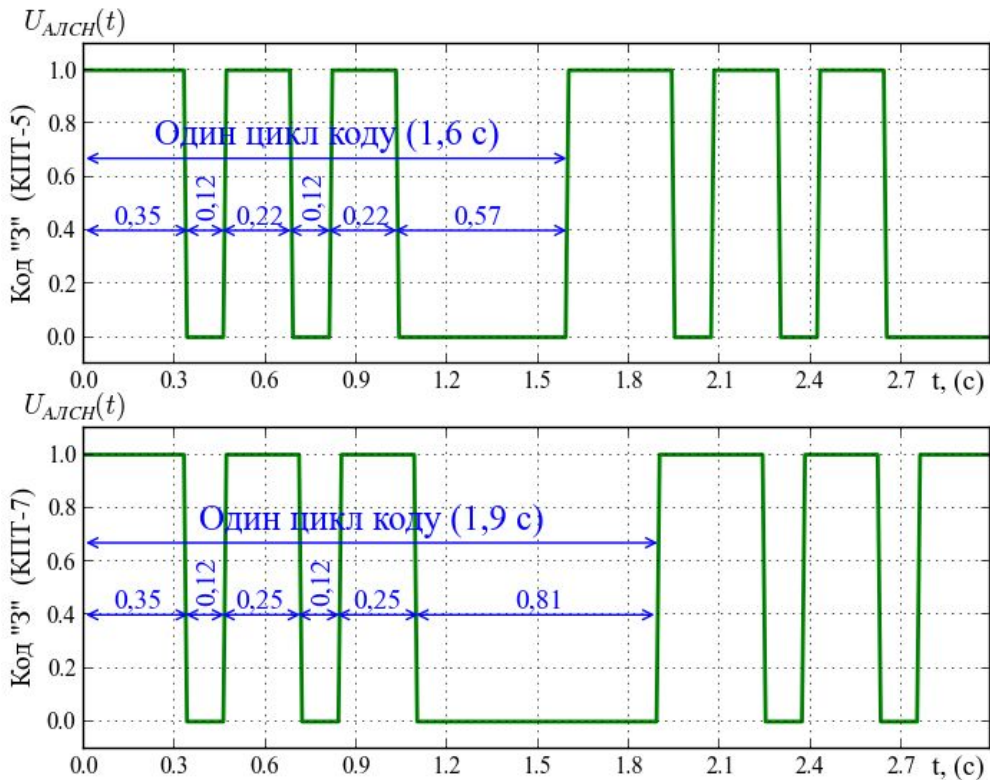


Рис. 4. Часові характеристики сигналу  $U_{ALCH}(t)$  при прийомі коду З

Виконавши аналіз принципів побудови пристроїв, призначених для дешифрування кодів, наведених на рис. 2-4, слід відзначити два підходи, які дещо відрізняються. Так, в основу алгоритму функціонування локомотивних пристроїв АЛСН покладений аналіз кількості та часових характеристик першої частини кодового циклу, до довготривалого інтервалу, крім цього, не виконується розпізнавання типу кодового трансмітера [3, 7]. На відміну від локомотивних, в дешифраторах системи автоматичного блокування такі обмеження усунені [8], але в них не передбачається розмежування коду «Ж» від коду «З». Така різниця в принципах побудови дешифраторів кодів АЛСН обумовлена різними функціональними вимогами до систем. В першому випадку локомотивні пристрої повинні виконувати стійке надійне дешифрування всіх кодів на фоні завад, без урахування типу кодового трансмітера. В другому – розпізнавати тип КПП (для контролю справного стану ізолюючих стиків [8]) та наявність коду «КЖ» (вмикання жовтого показання на прохідному світлофорі), «Ж» або «З» (зеленого).

Слід зазначити, що принципи побудови зазначених систем склалися в

середині минулого сторіччя і не відповідають сучасному стану технічних засобів. Тому доцільно розробити модель розпізнавання часових параметрів імпульсів та інтервалів, призначену для побудови ефективного пристрою дешифрування кодів АЛСН.

### Основний матеріал

З урахуванням можливої реалізації моделі програмно-апаратними засобами доцільно перейти від безперервного до дискретного часу. Тоді до структури технічних засобів буде входити аналого-цифровий перетворювач сигналу (АЦП), який виконує відображення

$$U_{АЛСН}(t) \rightarrow U_{АЛСН}(t_i) \quad (1)$$

де період дискретизації АЦП:  $T = t_{i+1} - t_i$

Аналіз робіт [3,5,7,8,9] свідчить про доцільність синтезу моделі оцінювання, яка, окрім АЦП, складається з двох функціональних частин (рис. 5): перетворювача тривалість-амплітуда (ПТА) та нейромережевого елемента розпізнавання (НЕР).

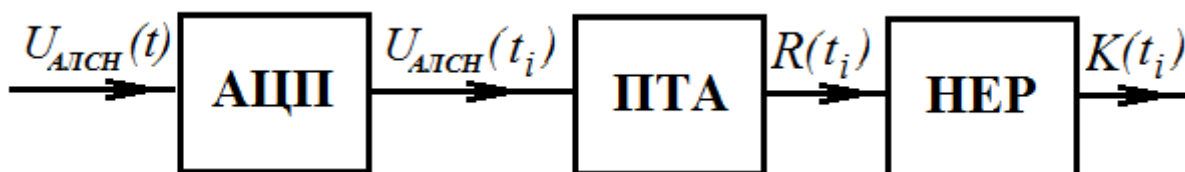


Рис. 5. Функціональна структура моделі оцінювання часових параметрів

На перший погляд, найбільш простою моделлю ПТА є вираз, який відтворює лінійну залежність між тривалістю імпульсу або інтервалу:

$$R(t_i) = \begin{cases} R(t_{i-1}) + kT, \text{ якщо } U_{АЛСН}(t_i) = 1 \\ R(t_{i-1}) - kT, \text{ якщо } U_{АЛСН}(t_i) = 0 \end{cases} \quad (2)$$

де  $k$  – коефіцієнт нахилу лінійної функції;  $R(t_{i-1})$  – амплітуда сигналу ПТА в попередній момент часу.

Слід зазначити, що практичне застосування виразу (2) пов'язане з низкою проблем. По перше, значення  $U_{АЛСН}(t_i)$  в реальному пристрої практично ніколи не буде дорівнювати нулю або одиниці. Це пов'язано з точністю

перетворення АЦП, яке не може бути меншим, ніж визначене для конкретної мікросхеми значення. Для вирішення цієї проблеми до складу ПТА щонайменш повинен входити пристрій синхронізації, який фіксує фронт та спад кожного імпульсу, тобто такий, який буде визначати, коли слід застосовувати додавання або віднімання у виразі (2). По друге, фізичне відтворення такої моделі

ПТА можливе здебільшого на програмному рівні, простих електронних компонентів для її відтворення з належною точністю не існує.

З урахуванням простоти практичної реалізації, за модель ПТА слід обрати математичну модель, яка відтворює заряд та розряд конденсатору в RC ланцюзі:

$$R(t_i) = 1 + R(t_{i-1}) - e^{-\frac{T[R(t_i) - R(t_{i-1})]}{\sigma}}, \quad (3)$$

де  $\sigma$  – коефіцієнт швидкості зміни амплітуди (постійна часу).

Значення коефіцієнту  $\sigma$  розраховуються в залежності від визначеної амплітуди  $R(t_i)$  для заданої тривалості імпульсу або інтервалу. Приклад функціонування моделі (3), якщо

тривалість вхідного імпульсу становить 100 мс, а період дискретизації  $T = 0,01$  (с), наведений на рис 6. Таким чином, на відміну від (2), значення  $R(t_i)$  експонентно залежать від тривалості імпульсу або інтервалу та не перевищують  $U_{АЛСН}(t_i)$ .

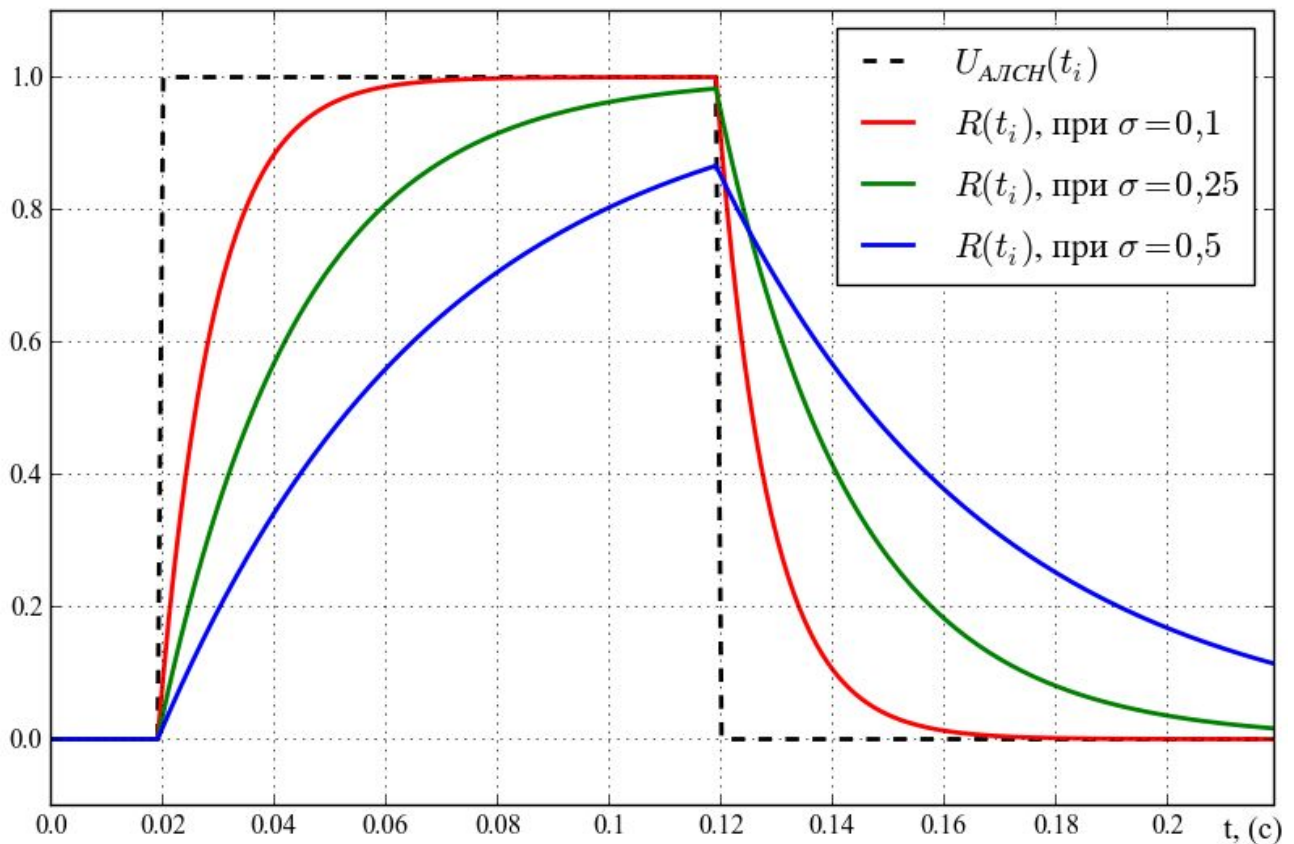


Рис. 6. Вигляди функції  $R(t_i)$  при різних значеннях коефіцієнту  $\sigma$

Теоретичне обґрунтування та програмні засоби розробки досить ефективного нейромережевого елементу розпізнавання значення на його вході наведено в роботі [9]. Тоді, з урахуванням функціональних можливостей моделі ПТА (3), існує щонайменш два підходи щодо побудови НЕР.

Перший – шляхом зворотних перетворень виразу (3) розраховується одне значення коефіцієнту швидкості зміни амплітуди для імпульсу найбільшої тривалості (для  $\Delta t_{\text{впр}} = 0,62\sigma = 0,146$ ). При такому значенні  $\sigma$  функція  $R(t_i)$  набуває вигляду,

наведеного на рис. 7. На цьому рисунку також відображені значення  $R(t_i)$  для всіх можливих  $\Delta t_{\text{впр}}$  з табл. 1, для яких повинна бути розроблена низька нейромережевих елементів (НМЕ), призначених для розпізнавання саме цих значень серед інших, які подаватимуться на вхід кожного НМЕ.

Слід зазначити, що розробка функціональної моделі НЕР при такому підході досить складна. Це пов'язано з необхідністю синтезу 7-нейромережевих елементів для імпульсів та 4-х для інтервалів кодів АЛСН (див. табл. 1).

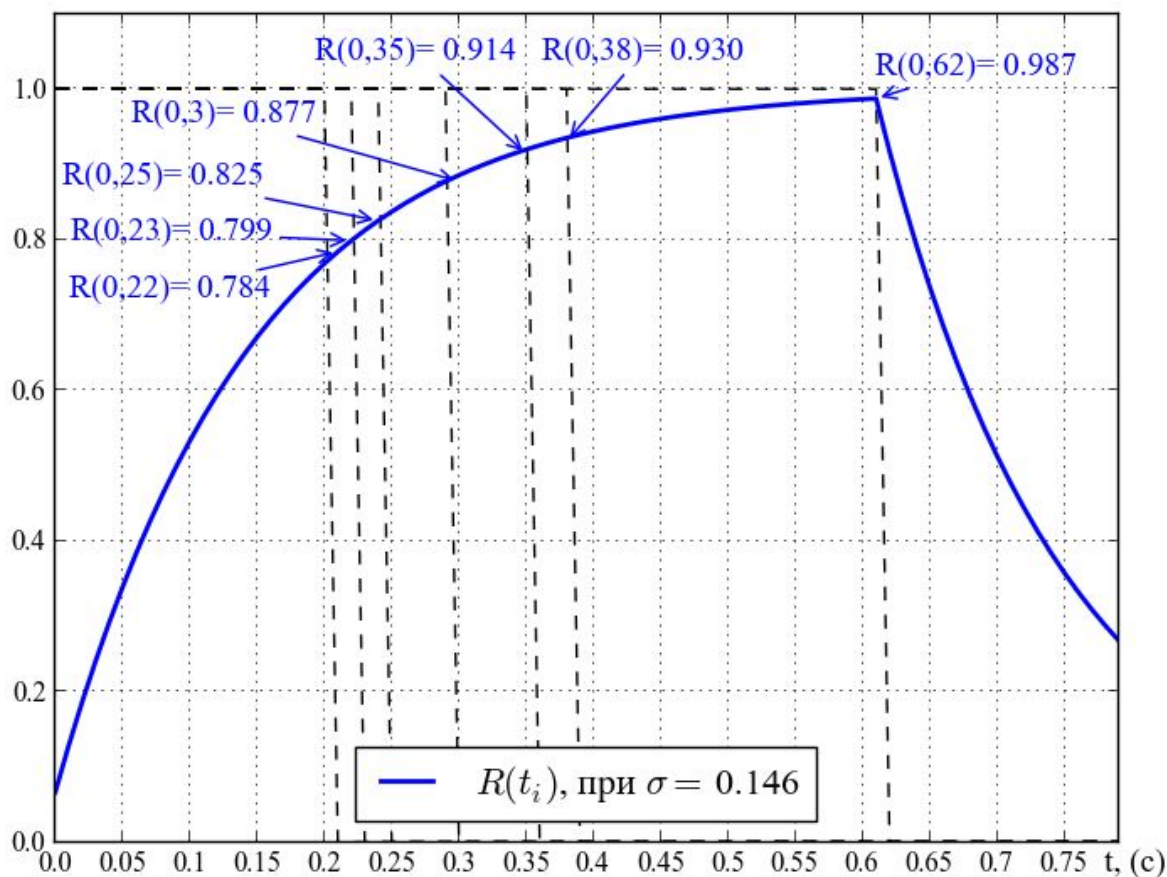


Рис. 7. Значення функції  $R(t_i)$  при  $\sigma = 0,146$

При другому підході необхідно розробити тільки два нейромережевих елемента (для імпульсів та інтервалів). Кожен з них призначений для розпізнавання апріорно встановленої

області значень функції  $R(t_i)$ , яких вона набуває наприкінці імпульсу або інтервалу. Одночасно розраховуються відповідні коефіцієнти  $\sigma$  виразу (3) для всіх можливих значень  $\Delta t_{\text{впр}}$

та  $\Delta t_{\text{дир}}$  (табл.1) таким чином, щоб значення функції  $R(t_i)$  також співпадали з цією областю.

Для реалізації цього підходу обираємо нейронну мережу з топологією 1-3-1 та логістичною функцією збудження нейронів[9]. Навчальна послідовність складатиметься зі ста пар вхід-вихід, де вхідний вектор складатиметься зі значень  $\overline{in} = [0,0; 0,01; 0,02; \dots; 0,98; 0,99]$ , а вихідний –  $\overline{out} = [0; 0; \dots; 0; 1]$ , тобто тільки значенню 0,99 повинно відповідати значення виходу 1,0.

Застосовуючи програмне забезпечення [10] виконаємо навчання нейронної мережі. Результат цього процесу – розраховані значення вагових коефіцієнтів та нахилів функцій збудження нейронів, які у вигляді структури нейромережевого елемента розпізнавання зображені на рис. 8.

Розглянемо функціонування ПТР та НЕР, якщо  $U_{\text{АЛСН}}(t_i)$  містить імпульс найбільшої тривалості, тобто  $\Delta t_{\text{дир}} = 0,62$  при розрахованому значенні  $\sigma = 0,138$  (рис. 9).

За результатами аналізу адекватності моделі розпізнавання імпульсу, тривалістю 0,62 с, отримана наступна характеристика: довжина полоси пропускання  $\Delta A_M(t_i)$  за рівнем вихідної амплітуди 0,96 складає 15 мс, причому модель більш чутлива до збільшення тривалості імпульсу, ніж до його зменшення (див. рис. 9). Можливе корегування значення  $\Delta A_M(t_i)$  шляхом зміни значення коефіцієнту  $\sigma$  (3). Наприклад, при  $\sigma = 0,135$  довжина полоси пропускання збільшиться до значення  $\Delta A_M(t_i) = 27(\text{мс})$  (рис. 10).

## Висновки та практичні рекомендації

Таким чином, в роботі розроблена нейромережева модель розпізнавання часових параметрів імпульсів, призначена для побудови ефективного пристрою дешифрування кодів АЛСН. Модель може бути застосована для розпізнавання інтервалів різної тривалості. Для цього може бути використана нейронна мережа з аналогічною структурою, яку необхідно навчити на послідовності:  $\overline{in} = [0,0; 0,01; 0,02; \dots; 0,98; 0,99]$ ,  $\overline{out} = [1; 0; \dots; 0; 0]$ . Для розпізнавання імпульсів та інтервалів потрібної тривалості необхідно розрахувати відповідні значення  $\sigma$ .

### Анотації:

Разработана нейросетевая модель распознавания временных параметров импульсов и интервалов, предназначенная для построения эффективного устройства дешифрации кодов АЛСН.

**Ключевые слова:** нейронная сеть, нейросетевая модель, код АЛСН.

Розроблено нейромережеву модель розпізнавання часових параметрів імпульсів призначену для побудови ефективного пристрою дешифрування кодів АЛСН.

**Ключові слова:** нейронна мережа, нейромережева модель, код АЛСН.

The neuronetwork model of recognition of temporary parameters of impulses and the intervals, intended for creation of the effective device of decoding of the ALSN codes is developed.

**Keywords:** neural network, neuronetwork model, ALSN code.



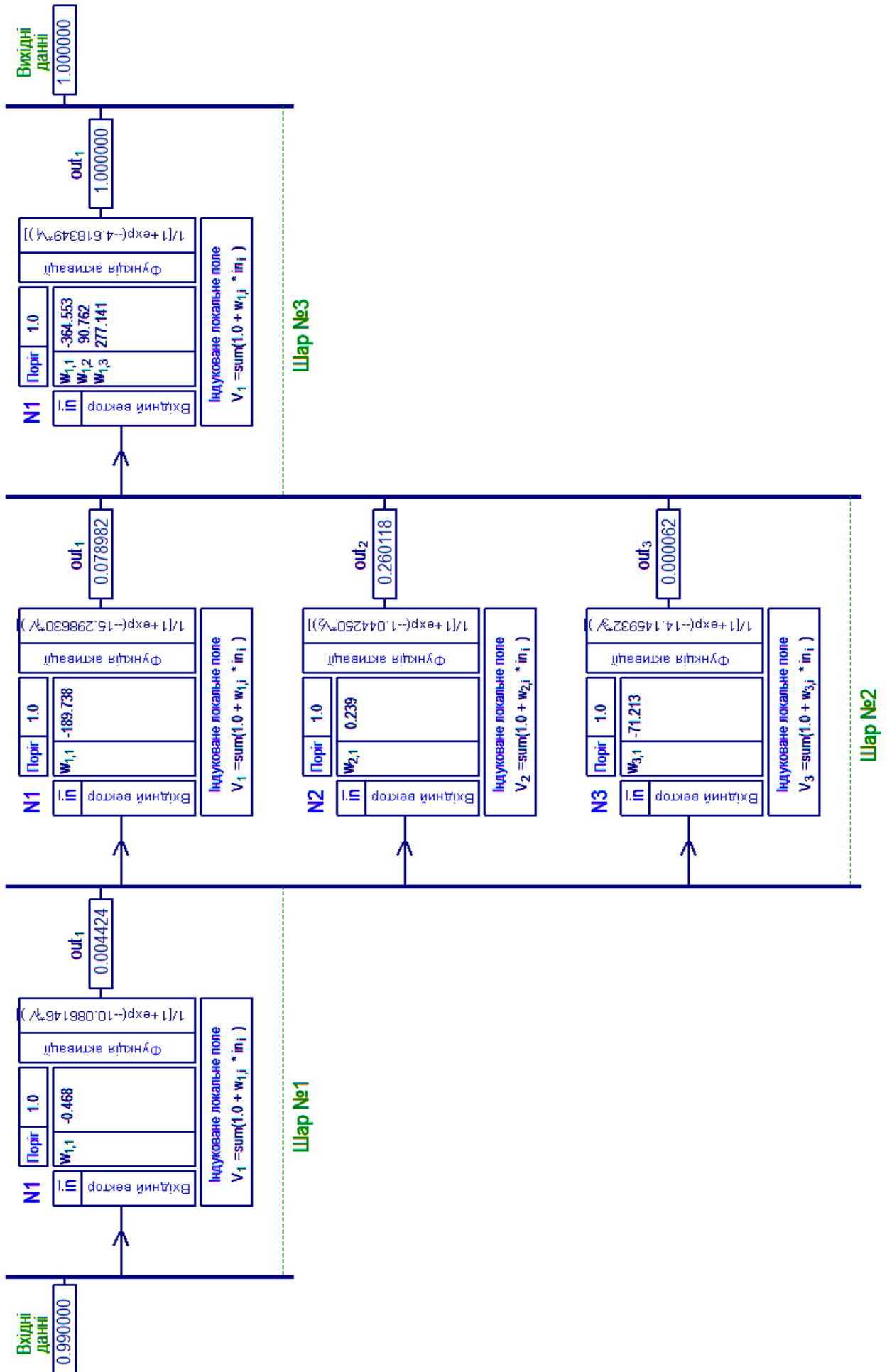


Рис.8 Структура нейронного елементу розпізнавання

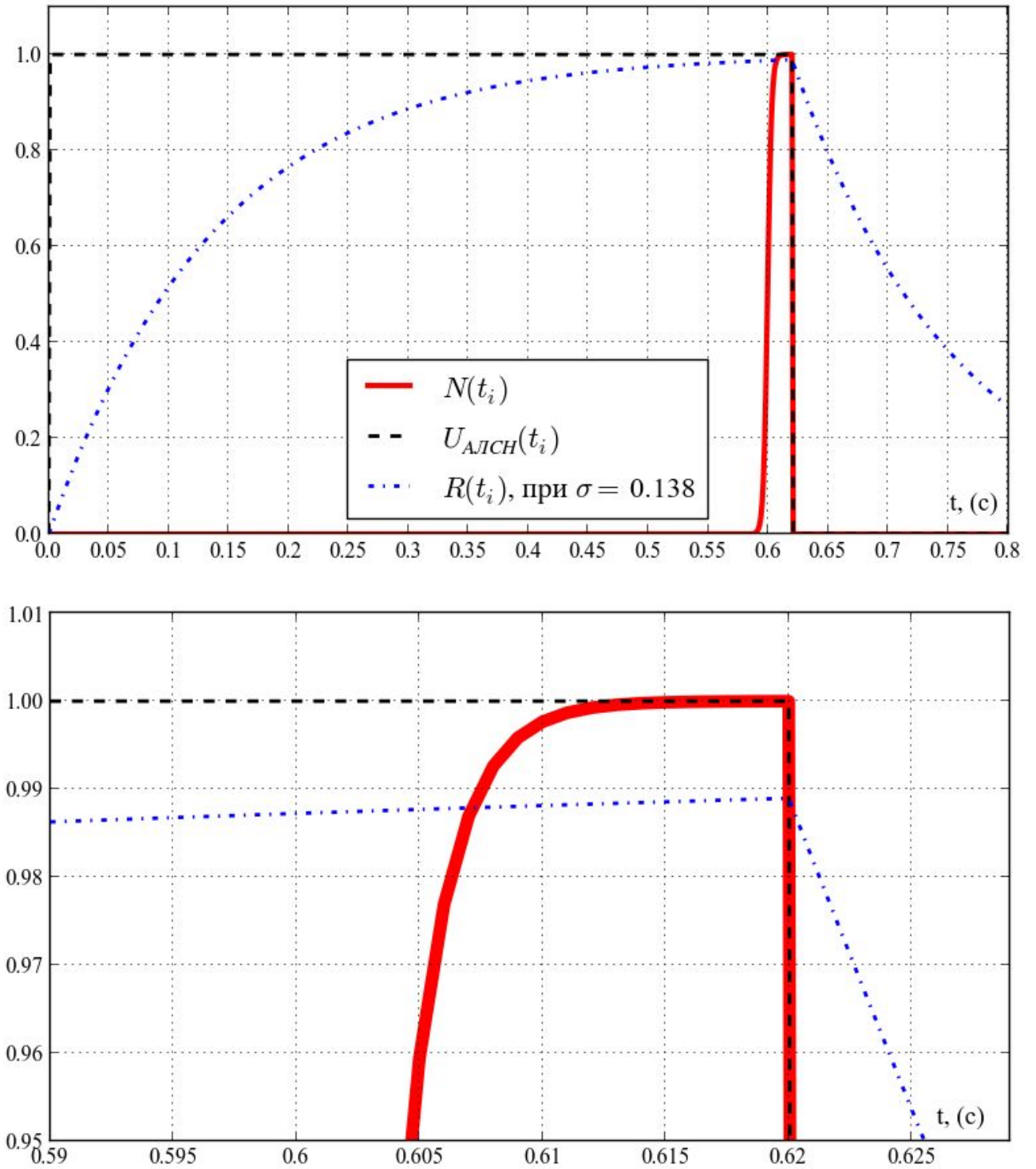


Рис. 9. Функціонування моделі розпізнавання імпульсу коду АЛСН, тривалістю 0,62 с

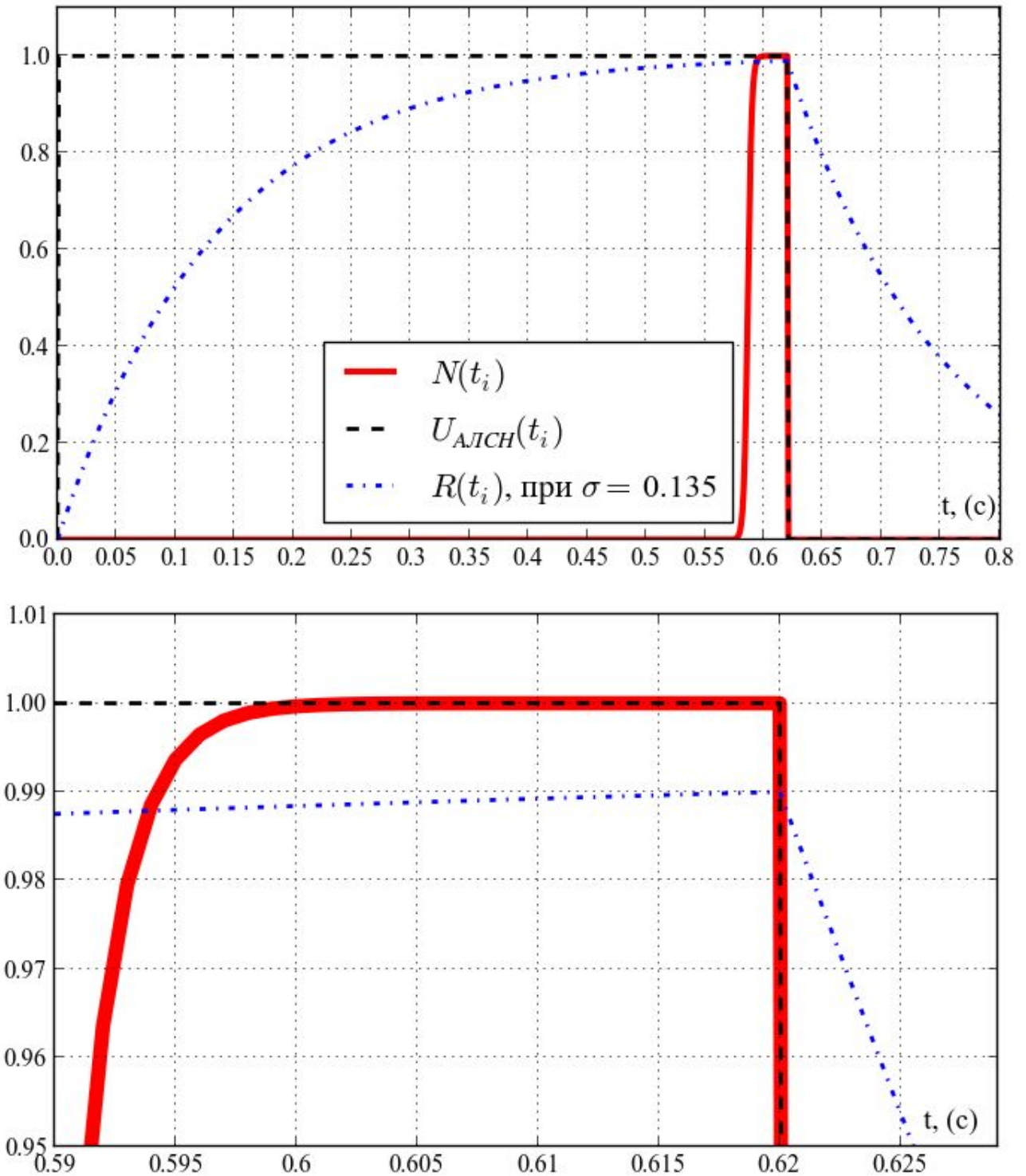


Рис. 10. Функціонування моделі розпізнавання імпульсу коду АЛСН тривалістю 0,62 с при  $\sigma = 0,135$

**Література**

1. Сапожников В.В. Теоретические основы железнодорожной автоматики и телемеханики: Учеб. для вузов / В.В. Сапожников, Ю.А. Кравцов, Вл.В.

Сапожников; Под ред. В.В. Сапожникова. – М.: Транспорт, – 1995. – 320с.

2. Системы интервального регулирования движения поездов на перегонах / А.Б. Бойник, С.В. Кошевой, С.В. Панченко, В.А. Сотник. – Харьков: Энергосберегающие технологии, – 2005. – 256 с.

3. Леонов А.А. Техническое обслуживание автоматической локомотивной сигнализации [5-е изд., перераб. и доп.] / А.А. Леонов. – М.: Транспорт, 1982. – 255с.

4. Линьков В.И. Методы повышения эффективности интервального регулирования движения поездов на железнодорожном транспорте : автореф. дис. на соиск. уч. степени доктора тех. наук : спец. 05.22.08 – «Управление процессом перевозок» / В.И. Линьков. – Москва, 2010. – 36 с.

5. Сотник В.О. Аналіз кореляційних залежностей для синтезу приймача кодів АЛСН / В.О. Сотник, М.М. Бабаєв, М.М. Чепцов // 36. Наук. Праць. ДонІЗТ. – Донецьк: №34, – 2013, – С.49-56

6. Чепцов М.М. Методи синтезу сигнально-процесорної централізації

стрілок і сигналів: Монографія. / М.М. Чепцов, А.Б. Бойник, Д.М. Кузьменко – Донецьк: “ДонІЗТ”, – 2010. – 181 С.

7. Автоматическая локомотивная сигнализация и авторегулировка / А.М. Брылеев, О. Поупе, В.С. Дмитриев и др. – М.: Транспорт, – 1981. – 320с.

8. Системы железнодорожной автоматики и телемеханики: Учеб. для вузов / Ю.А. Кравцов, В.Л. Нестеров, Г.Ф. Лекута и др.; Под. ред. Ю.А. Кравцова. – М.: Транспорт, – 1996. – 400с.

9. Чепцов М.М., Блиндюк В.С., Кузьменко Д.М. Нейромережеве моделювання в системах керування на залізничному транспорті: Монографія. – Донецьк: “ДонІЗТ”, – 2013. – 143 С.

10. Авт. свідоцтво №39465, реєстр. 03.08.2011, МОН України, Державний департамент інтелектуальної власності. Комп'ютерна програма “Модель динамічної нейронної мережі з модифікованим алгоритмом навчання за методом зворотного поширення помилки”(“Model of Dynamic Neural Network”) / М.М. Чепцов, В.С. Блиндюк, Д.М. Кузьменко, О.О. Германенко; заявка від 23.05.2011 № 39639.

