

УДК 004.5.

# МЕТОД АВТОМАТИЧНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ВЕЛИЧИНИ МІСЯЧНОЇ ВИТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

К.т.н. В.І. Роменський, к.т.н. Г.В. Пономарьова, Н.П. Демська, Харківський національний університет радіоелектроніки

У роботі проведено аналіз існуючих методів та засобів, що дозволяють отримувати прогнозні значення щодо розміру місячного споживання електроенергії.. Розроблені модель і математичний метод прогнозування величини витрати споживаної електроенергії з функцією пам'яті.

В роботі проведено аналіз існуючих методів та засобів, що дозволяють отримувати прогнозні значення щодо розміру потреби електроенергії. Розроблена модель і математичний метод прогнозування величини витрати споживаної електроенергії з функцією пам'яті.

The paper analyzes the existing methods and tools to get the forecast value on the amount of monthly consumption. The developed mathematical model and method for predicting the magnitude of the cost of electricity consumed memory function.

**Ключові слова:** прогноз, електроспоживання, витрата, контроль

## Вступ

Завдання раціонального використання електроенергії є затребуваним і актуальним питанням у зв'язку з підвищенням вартості на даний вид енергоресурсу. Дана робота присвячена розробці математичного методу і засобу автоматичного прогнозування величини витрат електроенергії. Основним завданням якого, в даному випадку є виконання прогнозування з можливістю оперативного отримання інформації про споживання даного ресурсу за поточний місяць.

Основною метою обліку електроенергії є отримання достовірної інформації про кількість відпущеної та спожитої електроенергії (величини потужності) для вирішення фінансових розрахунків за електроенергію і потужність, визначення та прогнозування техніко-економічних показників споживання електроенергії, забезпечення енергозбереження та організації електроспоживання.

Прогнозування величини споживаної електроенергії є актуальним завданням в зв'язку з підвищенням вартості на даний вид ресурсу. Отримання такого прогнозу дає можливість планувати величину споживання і економити кошти споживачів і компанії.

Для отримання таких прогнозів в сучасному світі існує значна частина як програмних так і апаратних засобів, таких як автоматизовані системи контролю та обліку електроенергії; програмні продукти MatLab, Forecast4AC PRO, МИДАС; інструменти хмарних технологій (IoT) [1-3]. Однак більшість з них є дорогими і можуть застосовуватися лише до вузького переліку

програмно-апаратних засобів, що в свою чергу ускладнює їх застосування в побуті.

Застосування таких систем дає користувачеві широкий діапазон даних про фактичне споживання електроенергії за день, тиждень, місяць, рік. Аналіз отриманих даних дозволяє помітити, що на часовій діаграмі присутні відрізки з трендовою і сезонною складовою, які необхідно враховувати при вирішенні завдання побудови прогнозної моделі.

Для отримання більш точних і ефективних прогнозів необхідно використовувати нові математичні моделі та алгоритми прогнозування, які враховують дані попередніх періодів.

## Розробка моделі прогнозування у вигляді структурної схеми

Розробка структурної схеми є важливим і необхідним етапом проектування будь-якої моделі або системи. Вона являє собою сукупність елементарних ланок об'єкта і зв'язків між ними і є одним з видів графічної моделі (рис. 1).

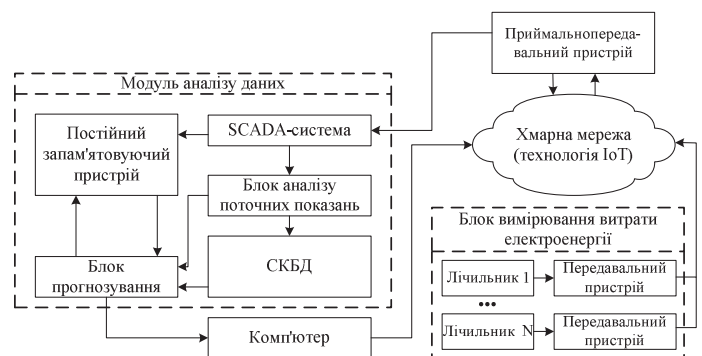


Рис. 1. Структурна схема автоматизованої системи контролю та прогнозування витрат електроенергії

Принцип функціонування системи контролю та прогнозування витрат електроенергії полягає в тому, що по запиті з комп'ютера відбувається доступ до результатів вимірювання з цифрових електрولیчильників, датчиків струму і напруги; за допомогою GSM-модемів передається отримана інформація через бездротову мережу в приймально/передавальний пристрій. Далі отримані дані надходять на вхід SCADA-системи, де проводиться їх моніторинг і передача в блок аналізу поточних показань, далі надходять на вхід блоку прогнозування та записуються в СКБД. У блоці прогнозування (рис. 2) відбувається аналіз і розрахунок прогнозних значень по заданому алгоритму прогнозування, проміжні розрахунки при цьому постійно зберігаються в постійно запам'ятовуючому пристрої.

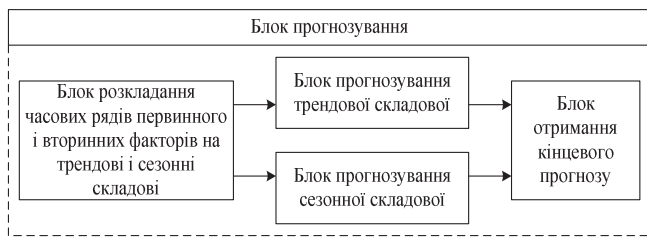


Рис. 2. Структурна схема блоку прогнозування

Структурна схема блоку розрахунку прогнозного значення витрати величини електроенергії наведена на рисунку 3.

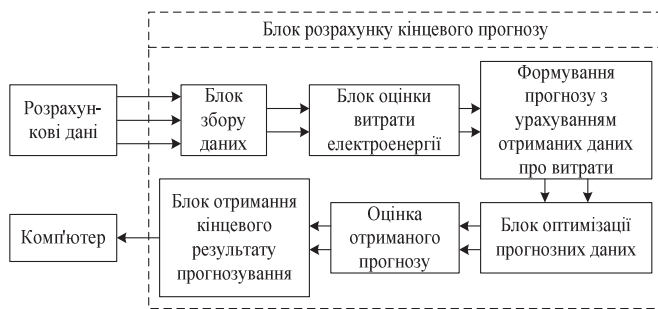


Рис. 3. Структурна схема блоку розрахунку кінцевого прогнозу

### Розробка алгоритму роботи модуля прогнозування

Виходячи з принципу функціонування модуля прогнозування електроенергії, складемо алгоритм його роботи. Алгоритм роботи модуля системи контролю та прогнозування витрат електроенергії зображений на рисунку 4.

При запуску модуля спочатку відбувається опитування підключених вимірювачів (цифрових електрорічильників, датчиків струму і напруги), якщо підключені не всі пристрої відбувається повторна спроба підключення. Процес підключення до пристроїв повторюється до 10 разів. Якщо підключитися не вдалося, на монітор комп'ютера відправляється повідомлення про те, що не всі вимірювачі підключені. В такому випадку модуль або зупиняє свою роботу, або продовжує свою роботу без урахування поточних показань з урахуванням отриманих раніше даних.

Якщо всі вимірювачі підключені, то за допомогою GSM-модемів відбувається передача даних про фактичне споживання величини електроенергії на вхід SCADA-системи. У разі отримання даних, відбувається їх передача і аналіз з подальшим записом результатів в СКБД. За умови відсутності отриманих даних, відбувається повторна спроба отримання інформації про поточне споживання електроенергії.

Далі виконується вибір методу прогнозування, за яким буде проводитися розрахунок даних про плановані витрати електроенергії. Після цього відбувається вибір періоду прогнозування (тиждень/місяць).

Далі відбувається запит на отримання даних за вибраний період в СКБД і на входи вимірювачів. Ця

операція виконується до тих пір, доки не будуть отримані всі необхідні дані для проведення розрахунку на обраний період прогнозування.

Після отримання всіх даних відбувається побудова таблиці з отриманими даними і виконується розрахунок прогнозних значень по заздалегідь обраному методу прогнозування. Якщо розрахунок виконаний то відбувається виведення результатів на монітор ПК, якщо результати не отримані, то відбувається повторний розрахунок прогнозних значень.

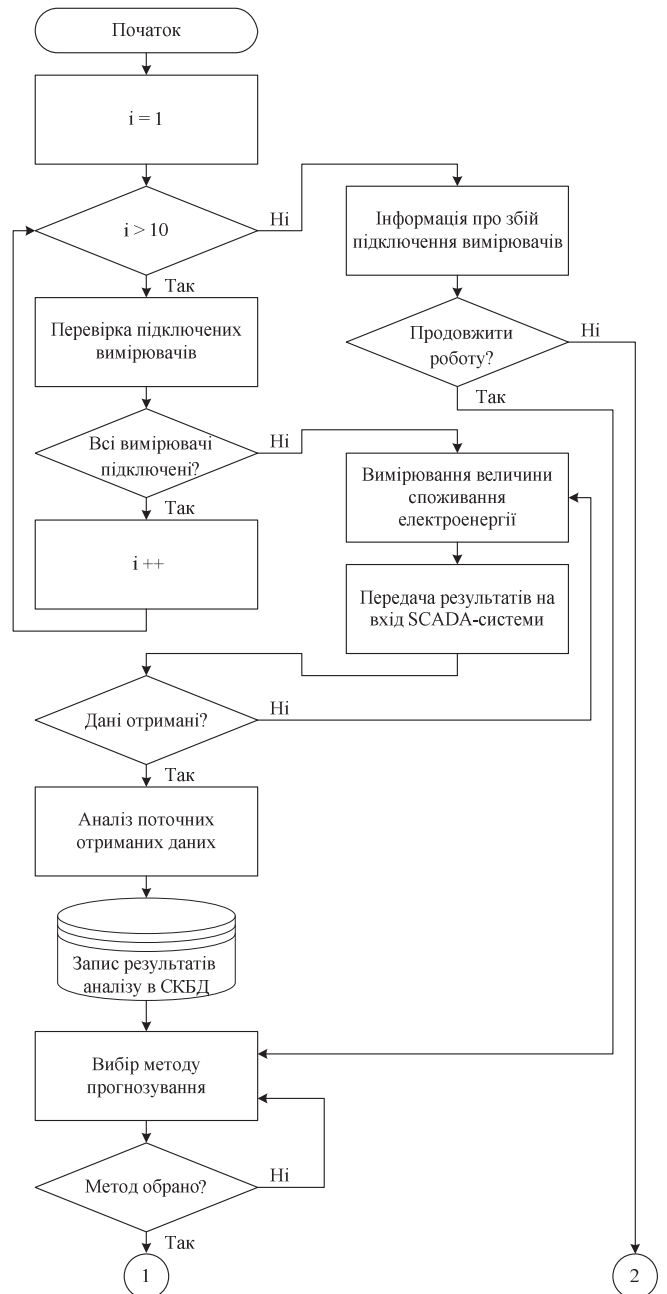
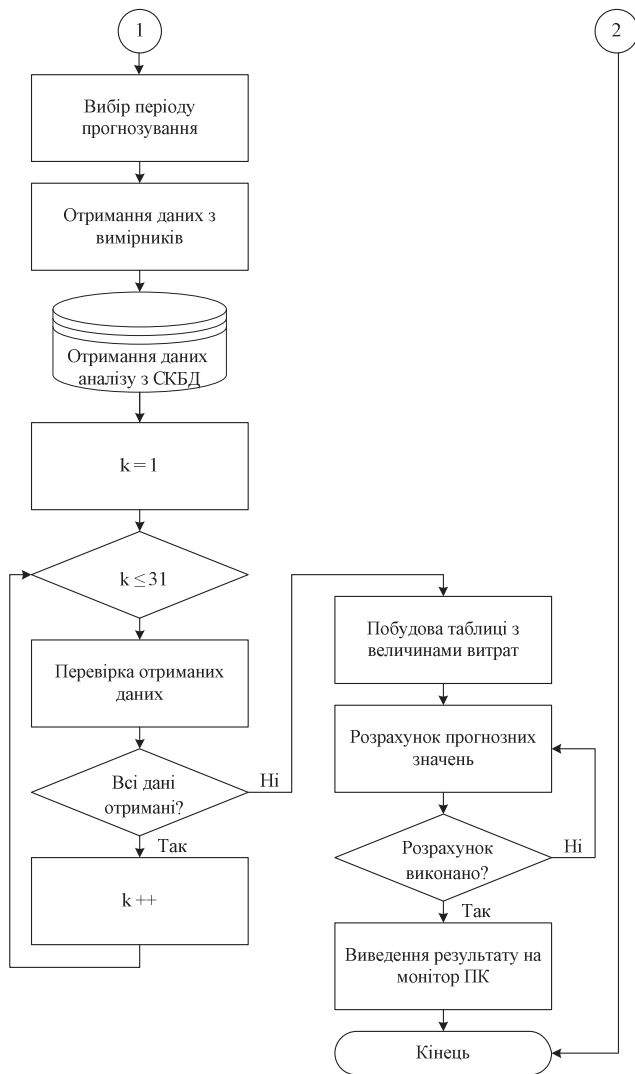


Рис. 4. Алгоритм роботи модуля прогнозування системи автономного електроживлення



Продовження рис. 4

**Розробка математичного методу прогнозування електроенергії з функцією пам'яті**

Аналіз математичних методів для прогнозування електроенергії дозволив зробити висновок про те, що найбільш підходящими для задачі є методи прогнозування на основі аналізу часового ряду.

Оскільки основним завданням досліджень є розробка та реалізація методу прогнозування витрати електроенергії, з можливістю оперативного отримання споживання даного ресурсу за поточний місяць, то, в зв'язку з цим, виникає необхідність в розробці нового математичного методу прогнозування електроенергії з функцією пам'яті.

Цей метод передбачає виконання наступних базових кроків:

- визначення періоду прогнозування;
- знаходження фактичної і прогнозованої частини;
- виконання математичного прогнозування;
- побудову вихідного часового ряду за наявними даними.

На першому етапі введемо такі умовні позначення:  $k$  – поточний рік,  $k - 1, k - 2, \dots, k - N$  – попередні роки, до

$N$  останнього року в якому проводилися вимірювання;  $m$  – поточний місяць,  $m = 1, \dots, 12$ .

Нехай задані значення витрат споживаної електроенергії в моменти часу  $t_1, t_2, \dots, t_I$ , де  $t_{i+1} - t_i = h$  ( $t_i$  – час вимірювання;  $t_{i+1}$  – наступний момент часу вимірювання;  $h$  – різниця вимірювання;  $I$  – період проведення вимірювання). Тоді  $X_m^k(i)$  – витрати електроенергії за  $i$ -ий день  $k$  року  $m$  місяця, де  $i \in 1 \dots I$ . У свою чергу  $Y^k(m)$  – обчислювальне і прогнозоване значення витрати споживаної електроенергії за  $m$  місяць  $k$  року.

На рисунку 5 зображено графік часової діаграми витрати електроенергії за один місяць.

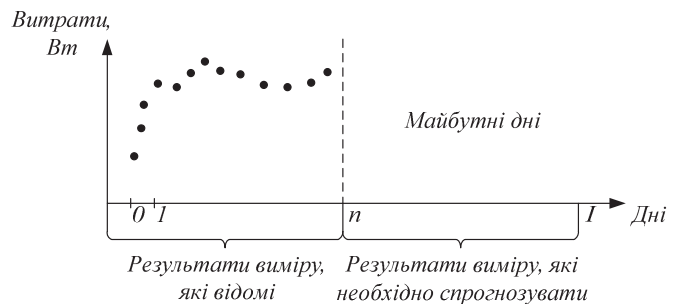


Рис. 5. Графік часової діаграми витрати електроенергії

З графіка видно, що присутні значення витрати електроенергії на часовому інтервалі від  $I$  до  $n$  і необхідно спрогнозувати споживання електроенергії на інтервалі від  $n$  до  $I$ , де  $n$  – поточний день. Складемо рівняння, яке виконувало б дані умови:

$$Y^k(m) = Y_f^k(m) + Y_{pr}^k(m), \tag{1}$$

де  $Y_f^k(m)$  – сума виміряних значень за період від  $I$  до  $n$ ;  $Y_{pr}^k(m)$  – сума прогнозних значень за період від  $n$  до  $I$ .

Для отримання прогнозних значень  $Y_{pr}^k(m)$  необхідно провести оцінку витрат електроенергії за кілька попередніх років. На рисунку 6 наведено схематичне пояснення процедури оцінки витрат електроенергії за  $m$  місяць за період з 2013 по 2015 рік

Виходячи з необхідності знаходження оцінки витрат електроенергії за кілька попередніх років  $\tilde{X}_m^k(i)$  рівняння (1) набуде вигляду:

$$Y^k(m) = \sum_{i=1}^n X_m^r(i) + \sum_{i=n}^I \tilde{X}_m^k(i). \tag{2}$$

Результат усереднення по  $i$ -ій діагоналі  $\tilde{X}_m^k(i)$  на інтервалі  $I0 < n < I$  може набувати таких значень:

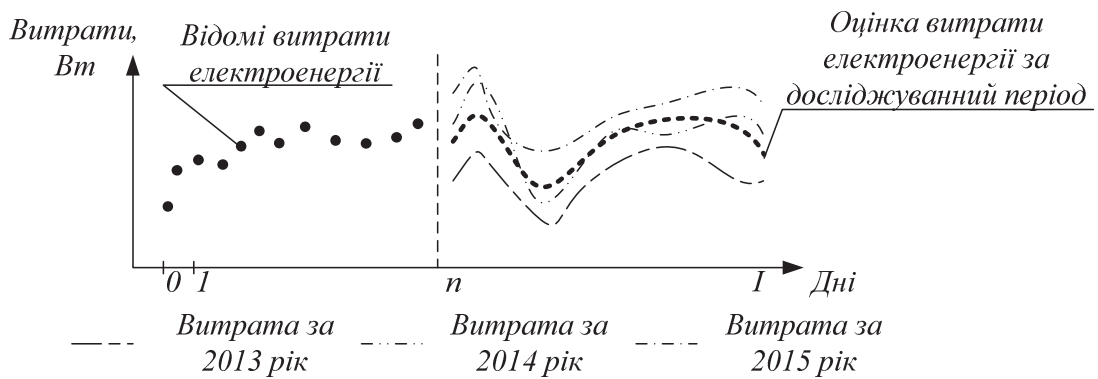


Рис. 6. Схематичне пояснення методу оцінки витрат електроенергії за місяць

$$\tilde{X}_m^k(i) = \begin{cases} \bar{X}_m(i), & n < 10 \\ \lambda_1 \cdot X_m^{k-1} + \lambda_2 \cdot X_m^{k-2} + \lambda_3 \cdot X_m^{k-3}, & 10 < n < I, \end{cases}$$

де  $\bar{X}_m(i)$  – усереднене значення витрати електроенергії за  $k-1, k-2, k-3$  років  $m$  місяців, та розраховується за формулою:

$$\tilde{X}_m^k(i) = \frac{X_m^{k-1}(i) + X_m^{k-2}(i) + X_m^{k-3}(i)}{3},$$

де  $X_m^{k-1}(i)$  – витрата електроенергії за  $i$ -ий день  $k-1$  року  $m$  місяця;

$X_m^{k-2}(i)$  – витрата електроенергії за  $i$ -ий день  $k-2$  року  $m$  місяця;

$X_m^{k-3}(i)$  – витрата електроенергії за  $i$ -ий день  $k-3$  року  $m$  місяця.

У свою чергу ваговий коефіцієнт  $\lambda$  обирають з умов:

$$\lambda_1 = \begin{cases} 0,75; & r_{k1} > r_{k2} > r_{k3}; \\ 0,20; & r_{k2} < r_{k1} < r_{k3}; \quad r_{k3} < r_{k1} < r_{k2}; \\ 0,05; & r_{k1} < r_{k2}, r_{k3}; \end{cases}$$

$$\lambda_2 = \begin{cases} 0,75; & r_{k2} > r_{k1} > r_{k3}; \\ 0,20; & r_{k1} < r_{k2} < r_{k3}; \quad r_{k3} < r_{k2} < r_{k1}; \\ 0,05; & r_{k2} < r_{k1}, r_{k3}; \end{cases}$$

$$\lambda_3 = \begin{cases} 0,75; & r_{k3} > r_{k2} > r_{k1}; \\ 0,20; & r_{k1} < r_{k3} < r_{k2}; \quad r_{k2} < r_{k3} < r_{k1}; \\ 0,05; & r_{k3} < r_{k1}, r_{k2}; \end{cases}$$

де  $r_{kl}$  – коефіцієнт кореляції  $k-1$  року на ділянці  $[l; n]$ ;

$r_{k2}$  – коефіцієнт кореляції  $k-2$  року на ділянці  $[l; n]$ ;

$r_{k3}$  – коефіцієнт кореляції  $k-3$  року на ділянці  $[l; n]$ .

Для розрахунку коефіцієнту кореляції застосовують наступну формулу:

$$r_{ij} = \frac{1}{I} \sum_{l=1}^I \frac{1}{S_i S_j} \cdot (x_{i+l-1} - \bar{x}_i) \cdot (x_{j+l-1} - \bar{x}_j),$$

$$\bar{x}_i = \frac{1}{I} \sum_{l=1}^I x_{i+l-1}, \quad \bar{x}_j = \frac{1}{I} \sum_{l=1}^I x_{j+l-1};$$

Вибіркова дисперсія факторів  $X_i$  та  $X_j$ :

$$S_i = \sqrt{\frac{1}{I} \sum_{l=1}^I (x_{i+l-1} - \bar{x}_i)^2},$$

$$S_j = \sqrt{\frac{1}{I} \sum_{l=1}^I (x_{j+l-1} - \bar{x}_j)^2}.$$

Проведені експериментальні дослідження роботи запропонованого методу, які підтвердили, що порівняно з методом лінійного тренду чи експоненційного згладжування, застосування розробленого методу підвищує точність прогнозу, забезпечивши сумарну середньоквадратичну похибку на рівні  $5,86E-14$ .

### Висновки

Розроблений математичний метод з функцією пам'яті дозволяє оцінювати прогнозне значення місячної витрати електроенергії щодня протягом прогнозного місяця. Це спрощує процес контролю та регулювання споживання електроенергії.

Під час проведення досліджень експериментальним шляхом визначили, що запропонований метод з функцією пам'яті має найменшу середню квадратичну помилку і мінімальне відхилення від фактичної витрати електроенергії за місяць. Перевагою методу є незначна помилка розрахунків, яка

досягається за рахунок врахування попередніх даних за той же самий період. Перспектива використання досліджень – реалізація запропонованого методу у вигляді програмно-апаратного комплексу на базі PLC.

**СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:**

1. Невлюдов И. Ш. Мониторинг обеспечения жизненного цикла РЭС при эксплуатации [Текст] // Невлюдов И. Ш., Андрусевич А. А., Аллахверанов Р. Ю. / Радиоэлектроника, информатика, управління. – № 2 (31). – 2014. – С.45-52.

2. Современные автоматизированные системы контроля и учета энергоресурсов (АСКУЭ) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-5/part-4/section-6> - 25.03.2015 г. - Загл. з екрану.

3. Кузнецов, В.Г. Прогнозирования месячных расходов электроэнергии электрифицированных участков на основе метода выделения главных компонент ряда [Текст] // Вестник приазовского государственного технического университета. – Приазовск: ПГТУ. - 2013. -Вып. 26. - с 5.

УДК 681.3.07

# ПРЯМИЙ МЕТОД АДАПТАЦІЇ ДЛЯ КЕРУВАННЯ РОБОТОТЕХНІЧНОЮ ПЛАТФОРМОЮ

Д.т.н. О.М. Цимбал, А.І. Бронніков, Харківський національний університет радіоелектроніки

*Розглянуто особливості реалізації адаптивного керування робототехнічною платформою у середовищі MatLAB за допомогою Simulink на основі еталонної моделі об'єкту.*

*Рассмотрены особенности реализации адаптивного управления робототехникой платформой в среде MatLAB с помощью Simulink на основе эталонной модели объекта.*

*The implementation features of adaptive robotic platform control by using MatLAB Simulink model based on the reference object are considered.*

**Ключові слова:** адаптивне керування, еталонна модель, об'єкт керування

**Вступ**

Метою статті є демонстрація можливості проектування і моделювання адаптивного контролера, настройки та аналізу його продуктивності за допомогою Simulink-моделі [1], використовуючи прямий метод адаптації. У моделі є три основних елементи: еталонна модель, модель об'єкта управління (робот) і адаптивний контролер (рис. 1).

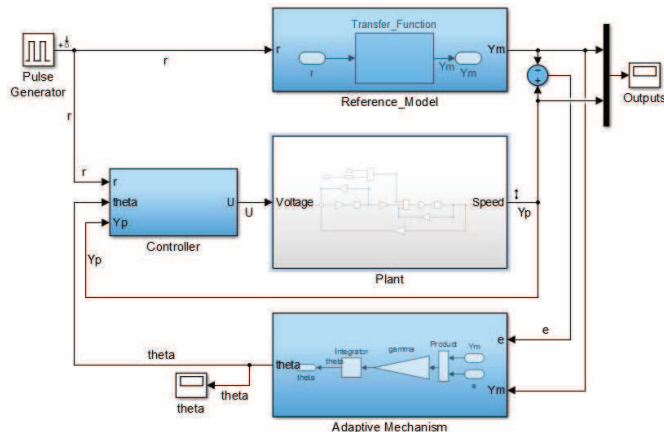


Рис. 1. Модель прямого адаптивного керування

**Еталонна модель адаптивної системи керування мобільним роботом**

Першим елементом є еталонна модель (рис. 2). Ця частина контролера захоплює і моделює бажану поведінку замкнутої системи. Іншими словами описується, як система буде себе вести для даного випадку входу (ідеальний випадок), який моделюється в цій підсистемі у вигляді передавальної функції (рис.3) [2]. Це також може відбуватися через специфікації системи з замкнутим контуром (настройки системи), описаних на малюнку нижче як бажаного часу наростання (0.413sec), часу встановлення сигналу (0.706sec) і стан помилки в сталому режимі (0). Вихід еталонної моделі,  $Y_m$  є необхідним значенням траєкторії, якою об'єкт (робот) ( $Y_p$ ) повинен слідувати.

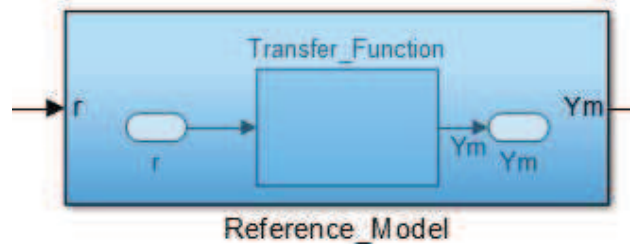


Рис. 2. Блок еталонної моделі

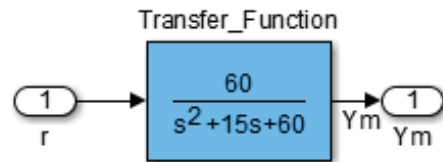


Рис. 3. Блок передавальної функції, що входить до складу еталонної моделі

Блок передавальної функції має назву transfer\_function. Для побудови перехідної характеристики по передавальній функції системи використовували команду step в MatLAB. Загальний вигляд перехідної характеристики представлений на рисунку 4.