

# Компенсація збурень в транспортній системі

В.І. Бессараб<sup>1</sup>, В.В. Червинський<sup>2</sup>, Е.Є. Зайцева<sup>3</sup>

*Анотація* – Feedback control system structure is proposed for avoiding vehicle conflicts caused by delays, control influence supplement points are defined. Feedback matrices are designed, control algorithm is built. The modeling of obtained control system is conducted, the controlled system behavior is analyzed.

*Ключові слова* – Дискретно-безперервна система, Max-Plus алгебра, мережа Петрі, граф синхронізації, транспортна система.

## I. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Розглядається система склад-вибій кар'єрного комплексу, до якої входять такі станції: склад, майданчик та два вибій. Станції з'єднані між собою односмуговими дорогами (зони спільного використання – ЗСВ 1,2) різної довжини, по яких одночасно може рухатися один транспортний засіб (ТЗ) у будь-якому напрямку. Даний технологічний об'єкт можна віднести до дискретно-безперервного класу і для опису його динаміки використовувати апарат мереж Петрі [1] і Max-Plus алгебри [2]. В [3] була розроблена модель транспортної системи кар'єрного комплексу в виді мережі Петрі та побудований граф синхронізації системи склад – вибій (Рис. 1). Було визначено, що для запобігання аварійних ситуацій, в керованій системі мають виконуватись такі умови: в поточному циклі позиції  $P_2$  і  $P_{25}$ ;  $P_5$  і  $P_{22}$ ;  $P_{12}$  і  $P_{31}$ ;  $P_{15}$  і  $P_{30}$  не повинні маркуватися одночасно. Для реалізації алгоритму управління транспортною системою в [4] виділено вісім керованих переходів, сформована матриця зворотного зв'язку  $K_0$ , що забезпечує коректну роботу транспортної мережі в поточному циклі. Обрано такий порядок маркування позицій –  $P_{25}$ ,  $P_5$ ,  $P_{31}$ ,  $P_{30}$  після  $P_2$ ,  $P_{22}$ ,  $P_{12}$  і  $P_{15}$  відповідно. Також обчислена матриця динаміки керованої системи  $M_s = (A_0 \oplus BK_0)^* A_1$ , її власне число  $\lambda_s = 23$  та власний вектор.

Але синтезований алгоритм не здатний компенсувати завади, що можуть виникнути під час транспортування. Так наприклад, якщо виникне затримка в ЗСВ 2 на 8 у.о.ч., одночасно маркуватимуться позиції  $P_2$  і  $P_{25}$ ; а затримка на 11 у.о.ч. призводить до одночасного маркування позицій  $P_{15}$  і  $P_{30}$ .

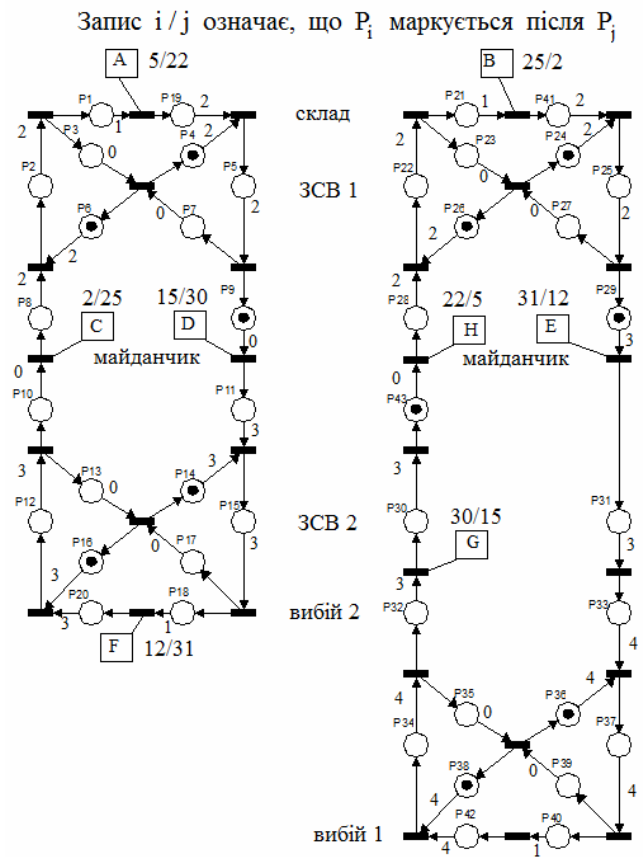


Рис. 1. Граф синхронізації системи склад-вибій

## II. РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ

Для того, щоб уникнути аварійних ситуацій, що можуть статися внаслідок незапланованої затримки ТЗ в ЗСВ, додатково сформуємо матрицю зворотного зв'язку  $K_1$ . Вона має забезпечити виконання такої умови: в наступному циклі позиції  $P_2$ ,  $P_{22}$ ,  $P_{12}$  і  $P_{15}$  маркуються після  $P_{25}$ ,  $P_5$ ,  $P_{31}$ ,  $P_{30}$  відповідно. Індеси скінчених елементів матриць  $(B)_{im}$ ,  $(K_0)_{mj}$ ,  $(K_1)_{mj}$  зведемо у таблицю 1. Зауважимо, що скінчені елементи матриці  $K_0$  відповідають затримці переходів А, В, Е, G ( $m = 1,2,5,7$ ), а матриці  $K_1$  – переходів С, D, F, H ( $m = 3,4,6,8$ ) відповідно.

<sup>1</sup> ДВНЗ Донецький національний технічний університет, вул. Артема, 58, Донецьк, 83000, УКРАЇНА, E-mail: bvi\_donntu@mail.ru

<sup>2</sup> ДВНЗ Донецький національний технічний університет, вул. Артема, 58, Донецьк, 83000, УКРАЇНА, E-mail: tscherwi@mail.ru

<sup>3</sup> ДВНЗ Донецький національний технічний університет, Артема, 58, Донецьк, 83000, УКРАЇНА, E-mail: zaytseva.elina@gmail.com

Таблиця 1

ІНДЕКСИ СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ МАТРИЦЬ УПРАВЛІННЯ ТА  
ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ

m	i	j
1	19	22
2	41	2
3	8	25
4	11	30
5	31	10
6	20	31
7	30	15
8	28	5

В випадку  $K_1 \neq \varepsilon$  матриця динаміки замкнутої ДБС обчислюється за формулою  $M_s = (A_0 \oplus BK_0)^*(A_1 \oplus BK_1)$ , та має власне число  $\lambda_s = 36$ .

На Рис. 2 представлено графік перехідного процесу в ДБС для перерахованих позицій графа синхронізації. На графіку показано, як об'єкт виходить в усталений режим роботи з початкових умов  $x(0) = 0$ , а також показана реакція алгоритму керування на заваду у вигляді затримки маркування позиції  $P_{10}$  на 20 умовних одиниць часу. На Рис. 3 наведена діаграма Ганта, що наочно ілюструє відсутність колізій між ТЗ. Графік та діаграму побудовано за даними розрахункової Таб. 2 маркування позицій для 10 циклів спостереження за системою.

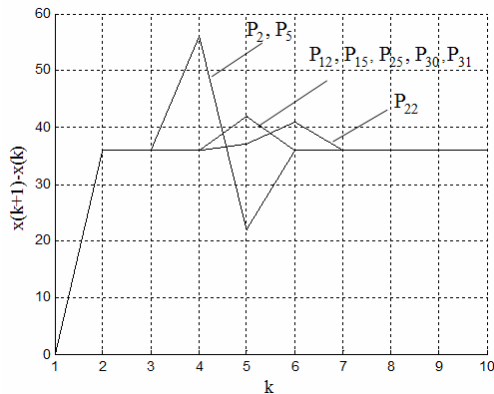


Рис.2. Компенсація збурення в системі

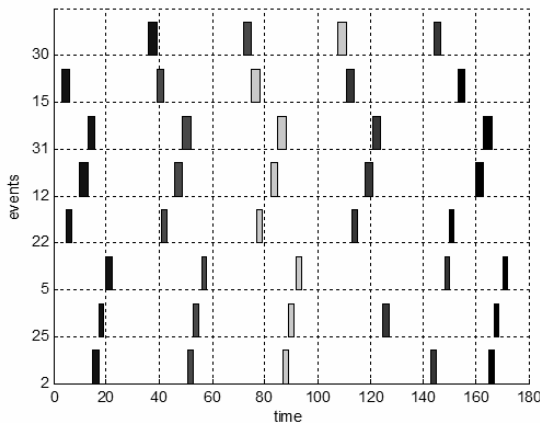


Рис. 3. Діаграма Ганта руху транспорту

З таблиці 2 видно, що ситуацій, коли в ЗСВ в протилежних напрямках одночасно рухаються ТЗ в системі не виникає, отже розроблений принцип компенсації збурень в системі задовольняє вимогам якості управління транспортним комплексом.

Таблиця 2

ЧАСОВІ ТОЧКИ МАРКУВАНЬ ПОЗИЦІЙ  
 $P_2, P_5, P_{12}, P_{15}, P_{22}, P_{25}, P_{30}, P_{31}$ 

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_2$	15	51	87	143	165	201	237	273	309	345
$P_5$	20	56	92	148	170	206	242	278	314	350
$P_{12}$	10	46	82	118	160	196	232	268	304	340
$P_{15}$	3	39	75	111	153	189	225	261	297	333
$P_{22}$	5	41	77	113	150	191	227	263	299	335
$P_{25}$	17	53	89	125	167	203	239	275	311	347
$P_{30}$	36	72	108	144	186	222	258	294	330	366
$P_{31}$	13	49	85	121	163	199	235	271	307	343

### III. ВИСНОВОК

1. Для заданих точок докладання керуючих впливів на об'єкт отримано структуру системи управління зі зворотним зв'язком.

2. Сформовано матрицю зворотного зв'язку  $K_1$ , розроблено алгоритм управління, що компенсує завади в системі;

3. Проведено моделювання отриманої системи управління та аналіз результатів показав, що розроблений алгоритм реалізує компенсацію збурень та повертає систему у власний стан, що підтверджується відсутністю колізій між ТЗ.

### СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- [1] Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем: Пер. с англ. [Текст] / Дж. Питерсон. – М.: Мир, 1984. – 264 с., ил.
- [2] Mossig, K. Einfuehrung in die "Max-Plus"-algebra zur Beschreibung ereignisdiskreter dynamischer Prozesse [Text] / K. Mossig, A. Rehkopf // Automatisierungstechnik. vol. 44 – Karlsruhe, 1996. – P. 3 – 9.
- [3] Зайцева Е.С. Моделирование транспортных потоков як дискретно-безперервного об'єкта [Текст] / Зайцева Е.С., Червинський В.В., Турупалов В.В. // АСУ и приборы автоматики, № 152. – Харків: ХНУРЕ, 2010. – С. 15 – 21.
- [4] Зайцева Е.С. Алгоритм управління транспортною системою як дискретно-безперервним об'єктом [Текст] / Зайцева Е.С., Бессараб В.І., Червинський В.В. // Наукові праці ДонНТУ. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. Вип. 21 (183) – Донецьк: ДонНТУ, 2011 – С. 19 – 25.