

УДК 629.08:681.5

Косолапов А.А.

ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ДОЦІЛЬНОСТІ ДЕЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ ФУНКЦІЙ КЕРУВАННЯ В СИСТЕМАХ ГІРКОВОЇ АВТОМАТИКИ

*Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна*

У даній роботі запропоновані математичні моделі, що дозволяють на етапі проектування або модернізації систем управління на сортувальних гірках оцінити оптимальний ступінь децентралізації, або кількість локальних контурів керування, за критерієм повних витрат залежно від показників надійності центральної керуючої ЕОМ і локальних контурів керування на основі мікроконтролерів.

Ключові слова: централізовані системи, децентралізовані ієрархічні системи, критерій приведених повних витрат, коефіцієнт готовності, локальні контури керування, сортувальні гірки

Розвиток систем автоматизації сортувальних гірок в Україні і за кордоном походило від створення перших централізованих комп'ютерних систем на базі міні-ЕОМ (СМ-2) до побудови функціонально розподілених систем на основі промислових мікро-ЕОМ і мікроконтролерів (мікро-ДАТ, СМ-1800/1810, мікроконтролери Advantech) [3], [9]. З переходом на децентралізовані (ієрархічні) системи при різноманітності варіантів розподілених структур невирішеним залишилося питання обґрунтованості переходу до децентралізованого керування. Не дивлячись на численні спроби знайти відповідь на дане питання [1], [2], [4], [8] воно залишається актуальним в умовах розвитку технічних засобів автоматизації сортувальних гірок.

Метою даної роботи є дослідження умов доцільності створення децентралізованих систем. Це завдання є актуальним і для крупнішої

інтегрованої автоматизованої системи керування вантажними перевезеннями УКРЗАЛІЗНИЦІ - АСК ВП УЗ-Є [3].

Під час розгляду питань оптимізації структури ієрархічної системи ми будемо вважати, що сортувальна гірка, як технологічний об'єкт керування сортувальної станції, має локальні пристрої автоматики.

Централізована система керування, оптимізуючи в цілому роботу сортувальної гірки, корегує роботу місцевих пристроїв автоматики, формуючи уставки для регуляторів (наприклад, гальмівних позицій, стрілкових переводів). За таким принципом була побудована система АСУ РСГ для станції Ясинувата Донецької залізниці [3].

Зі зростанням потужності керуючих обчислювальних машин (KeOM) виникає інтерес розглянути доцільність передачі функцій місцевих пристроїв автоматики керуючим EOM більш високого рангу, які реалізують алгоритм оптимізації режиму роботи системи [8].

Якщо раніше можливості систем гіркової автоматки були обмеженими. з погляду реалізації складних алгоритмів керування, а KeOM не відрізнялися великою швидкодією, то зараз є технічні можливості нарощувати потужності як мікроконтролерів, так і керуючих EOM. Тому передача функцій місцевих регуляторів на KeOM істотно не вплине на її потужність (обсяг пам'яті, швидкодію і т. і.).

Однак така централізація управління суттєво підвищує відповідальність KeOM. Очевидно, що вихід з ладу KeOM порушує управління цілою сортувальною гіркою, що призводить майже завжди до великих економічних втрат. Тому багато авторів вважають [5], [6], [7], що визначальним у вирішенні цього питання є надійність KeOM.

Сортувальна гірка O складається з n керованих об'єктів, стан кожного з котрих O_i можна охарактеризувати двома параметрами: y_i - регульований параметр; x_i - керуюча дія (z_j - контрольований, f_g - неконтрольований параметр).

ри, див. рис. 1).

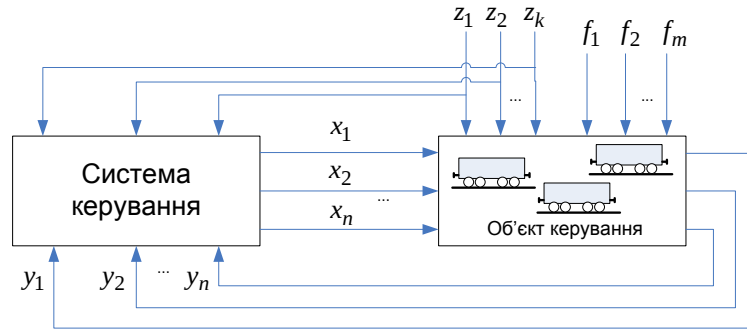


Рис. 1. Сортувальна гірка як об'єкт керування

Таким чином, стан системи в кожен момент часу, може бути охарактеризований векторами: стану регульованого параметра $Y = y_1, \dots, y_n$; положення регулюючого органу $X = x_1, \dots, x_n$ і вектором-уставкою $Y' = y'_1, \dots, y'_n$

Вектор-уставка Y' являє собою завдання на підтримку регульованого параметра і в загальному випадку може відрізнятися від його істинного значення – вектора Y .

Якщо система не має локальних регуляторів, то КеОМ безпосередньо формує вектор X і видає його на виконавчі органи. В данному випадку ми маємо централізовану систему (див. рис. 2). У разі наявності мусцевих регуляторів (МР), що реалізують функції локального керування, функції КеОМ спрощуються до формування лише уставок Y' для МР. В цьому разі говорять про ієрархічну структуру системи керування (див. ри. 3).

Нехай система складається з КеОМ і n локальних підсистем.

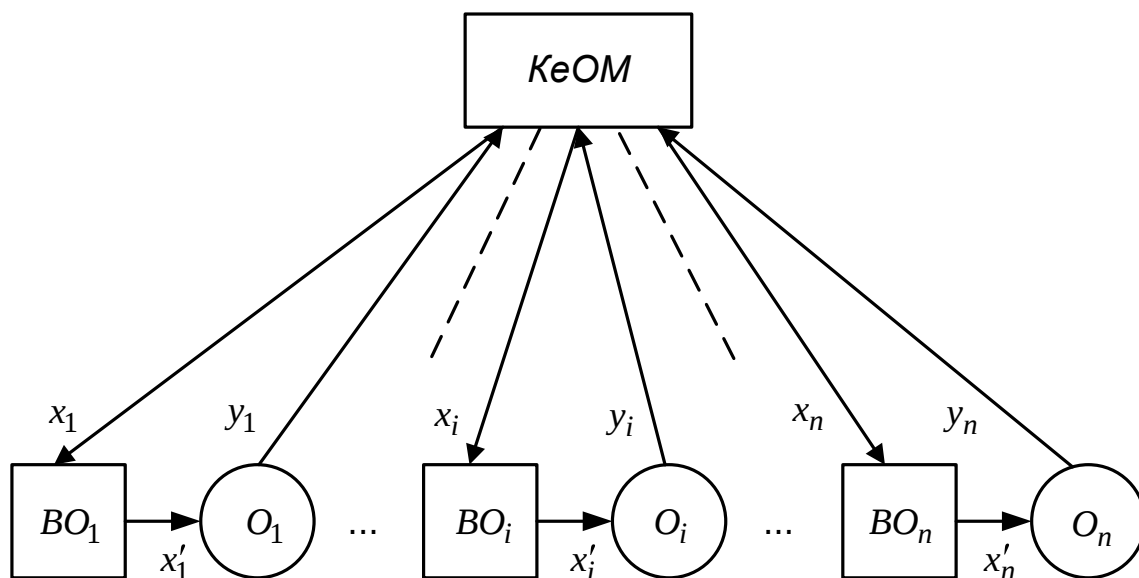


Рис. 2. Структура централізованої системи керування гіркою із застосуванням КеОМ без автономних підсистем управління

На рис. 2 і 3 прийнятні наступні позначення: КеОМ – керуюча обчислювальна машина; МР – місцевий регулятор; O_i – i -а підсистема; ВО – виконавчий орган.

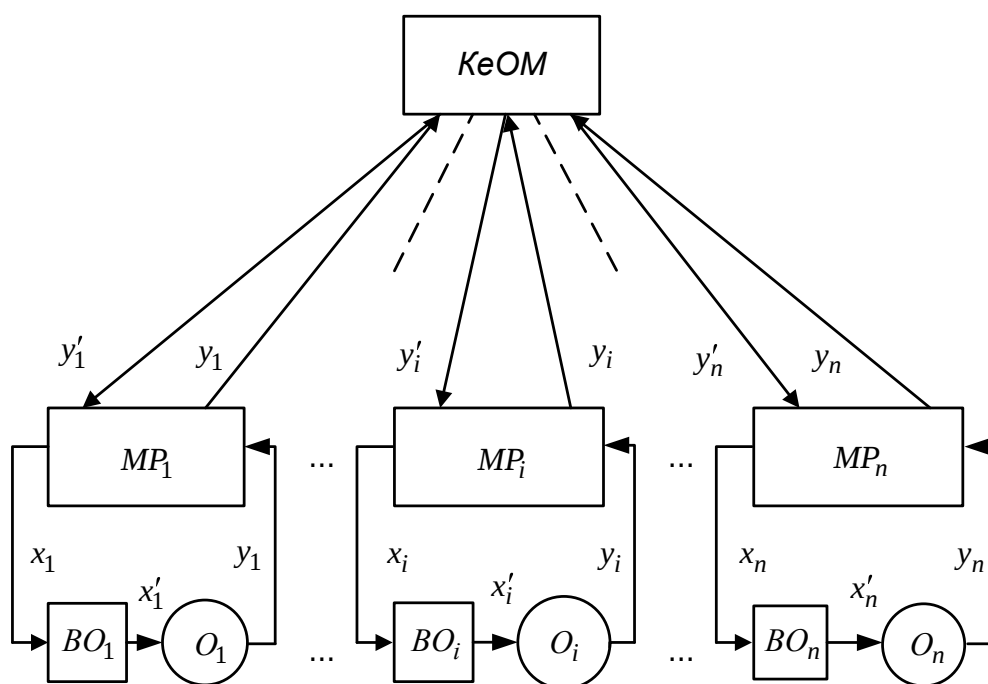


Рис. 3. Структура ієрархічної системи із застосуванням КеОМ місцевих підсистем керування

Реалізація алгоритму управління зводиться до мінімізації (максимізації) функції виду

$$B = \varphi(Y, X) \quad (1)$$

(наприклад, мінімізації відхилення швидкості виходу з гальмівної позиції від заданої за алгоритмом керування).

Оптимізація передбачає пошук такого оптимального значення вектора керування U^* , щоб функціонал управління (1) при даному X приймав оптимальне значення

$$B^* = \min \max \varphi(Y, X) \quad (2)$$

або

$$B^* = \varphi(Y, X^*) \quad (3)$$

Оцінку варіантів структур будемо проводити за критерієм повних затрат ресурсів. Для спрощення розрахунків приймаємо, що всі n контурів керування однакові, витрати на експлуатацію систем також однакові і ненадійністю виконавчих органів можна знехтувати.

Керування системою будемо представляти в режимі розподілу часу наступним чином. За схемою на рис. 2 (централізована система керування) КеОМ через інтервали часу $T_{\text{ц}}$ ($T_{\text{ц}}, 2T_{\text{ц}}, \dots, kT_{\text{ц}}$) циклічно отримує інформацію про стан керованого об'єкта у вигляді векторів Y . В результаті переробки інформації за алгоритмом (2) КеОМ здійснює розрахунок нової уставки Y' і видачу команди керування на виконавчі органи – вектор положення X .

За схемою на рис. 3 (ієрархічна система управління) КеОМ також отримує інформацію у вигляді векторів Y . Однак у цьому випадку КеОМ видає тільки вектор-уставку Y' . Розрахунок вектора X здійснюють місцеві регулятори MP ; КеОМ тільки координує їх роботу, корегуючи уставку-вектор Y' .

Подивимося, що відбудеться у випадку відмови апаратури в k -й інтервал часу.

При виході з ладу КеОМ в централізованій структурі можливі наступні ситуації:

1) негайно припиняється робота сортувальної гірки. Втрати p_0 визначаються простоями об'єкту і можуть бути оцінені повною втратою ефективності за час усунення несправності (відновлення системи) $T_{\text{відн}}$:

$$p_0 = B^* T_{\text{відн}}$$

2) Якийсь час після відмови КеОМ система продовжує функціонувати нормально і потім відбувається порушення її роботи. В цьому випадку поведінка об'єкту може змінюватися залежно від того, в якому положенні опиняться виконавські органи. Вони можуть: а) залишатися в тому положенні, в якому вони були у момент аварії t_0 , тобто $X = X_0$;

б) переводиться в аварійний стан, що характеризується значеннями $X = X_{\text{ав}}$.

У другій ситуації збиток p_1 складатиметься з двох частин (див. рис. 4, $y_i = v_i$ - швидкість виходу з i -ї гальмівної позиції, $v_{i\min} < v_i(t) < v_{i\max}$). На ділянці t_1 він пропорційний різниці між оптимальним і дійсним значеннями ефективності:

$$p_{11} = (B^* - B_1)t_1 \quad (4)$$

На ділянці t_2 відбувається вихід параметра $v_i(t)$ за допустимі межі $v_i(t) > v_{i\max}$ і місцевий захист відключає об'єкт, тобто втрати на цій ділянці p_{12} визначаються повною втратою ефективності:

$$p_{12} = B^* t_2$$

Повні втрати для другої ситуації

$$p_1 = p_{11} + p_{12} = (B^* - B_1)t_1 + B^* t_2 ,$$

де

$$T_{\text{відн}} = t_1 + t_2; \lim_{t_1 \rightarrow \infty} p_1 = B^* T_{\text{відн}}$$

- B_1 - ефективність при не оптимальному керуванні в централізованій системі (ручне керування об'єктами сортувальної гірки).

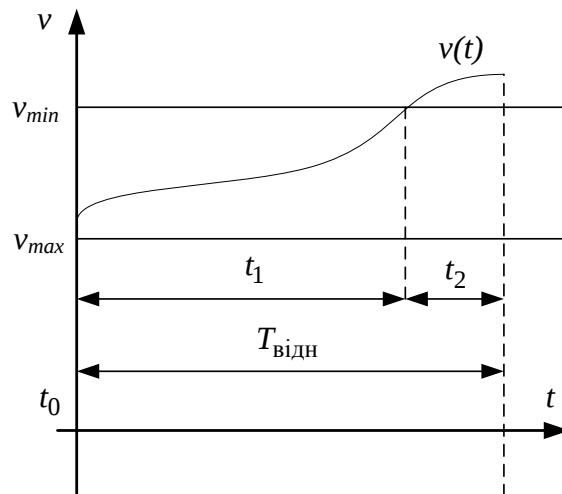


Рис. 4. Приклад поведінки регульованого параметра $v(t)$ в межах $(v_{\min}, v_{\max})$

У ієрархічній системі при відмові КеОМ управління втрачається не повністю, знижується лише його ефективність. Хай в результаті відмови вона приймає значення B_2 . В цьому випадку збиток від втрати оптимального управління

$$p_2 = (B_2^* - B_2)T_{\text{відн}} \quad (5)$$

Цей збиток, як правило, значно менше збитку, що отримується при виході з ладу КеОМ в централізованій системі. Зменшення збитку в системі з ієрархічною структурою досягається за рахунок збільшення її вартості із-за наявності локальних регуляторів. Крім того, ефект зменшення втрат знижується за раху-

нок додаткових втрат, що викликаються ненадійністю локальних регуляторів.
Прийmemo для подальшого аналізу наступні припущення:

B^* - втрати в одиницю часу, коли гірка не працює;

B_1 - втрати в одиницю часу, коли в централізованій системі не працює КеОМ (неоптимальне керування);

B_2 - втрати в одиницю часу, коли в ієрархічній системі не працює КеОМ (неоптимальне керування);

b_i^* - втрати в одиницю часу, коли не працює i -ий контур керування,

b_i - втрати в одиницю часу при неоптимальному значенні ефективності i -го контура.

Очевидно, що

$$B^* > B_1 > B_2 \gg b_i^* > b_i$$

Тоді повні витрати для централізованої P_1 і ієрархічної P_2 систем можна оцінити наступним чином:

$$P_1 = B^* - B_1 \lambda_0 t_1 + B^* \lambda_0 t_2 + C_0^{\text{ц}} \quad (6)$$

$$P_2 = (B^* - B_2) \lambda_0 T_{\text{відн}} + \sum_{i=1}^n \left[(b_i^* - b_i) \lambda_i t_{i1} + b_i^* \lambda_i t_{i2} \right] + C_0^{\text{ц}} + \sum_{i=1}^n c_i \quad (7)$$

де λ_0 - інтенсивність відмов КеОМ в ієрархічній і централізованій системах; λ_i - інтенсивність відмов i -го локального регулятора; $C_0^{\text{ц}}, C_0^{\text{дц}}, c_i$ - вартість КеОМ відповідно в централізованій системі, в децентралізованій (ієрархічній) системі і вартість мікроконтроллерної системи i -го локального регулятора.

Будемо вважати, що

$$C_0^{\text{ц}} > C_0^{\text{дц}} \gg c_i.$$

Для спрощення подальшого аналізу приймаємо, що система однорідна за своїм складом, тобто

$$b_i = b_n; \lambda_i = \lambda_n; c_i = c_n; i = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

Для i -го контура керування з урахуванням можливого виходу з ладу регулятора по аналогії з централізованою системою управління (див. рис. 4) можна написати

$$t_{i2} = T_{\text{відн}i} - t_{i1}$$

де t_{i2} - час, протягом якого i -й параметр знаходиться за допустимими значеннями; $T_{\text{відн}i}$ - час ремонту i -го регулятора; t_{i1} - час, протягом якого i -й параметр не виходить за допустимі межі.

В першому наближенні приймемо, що

$$t_{i1} = t_{n1} = t_1, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

$$T_{\text{відн}}^{\text{ц}}(\text{KeOM}) = T_{\text{відн}}^{\text{дц}}(\text{KeOM}) = T_{\text{відн}}(c_n)$$

Для подальшого дослідження введемо коефіцієнт

$$t_1 = rT_{\text{відн}}, \quad t_2 = (1-r)T_{\text{відн}}$$

Тоді з (6) і (7) маємо

$$P_1 = B^* - B_1 \lambda_0 r T_{\text{відн}} + B^* \lambda_0 (1-r) T_{\text{відн}} + C_0^{\text{ц}} \quad (10)$$

$$P_2 = (B^* - B_2) \lambda_0 T_{\text{відн}} + (B^* - B_1) \lambda_n r T_{\text{відн}} + B^* \lambda_n (1-r) T_{\text{відн}} + C_0^{\text{дц}} + n c_n \quad (11)$$

Перейдемо до інтегрального показника надійності - коефіцієнта готовності

$$K_{\Gamma}^{\text{ц}}(\text{KeOM}) = K_{\Gamma}^{\text{дц}}(\text{KeOM}) = K_0 = \frac{T_{\text{нв}}}{T_{\text{нв}} + T_{\text{відн}}} = \frac{1/\lambda_0}{1/\lambda_0 + T_{\text{відн}}} \quad (12)$$

$$K_{\Gamma}(c_n) = K_n = \frac{T_{\text{нв}(n)}}{T_{\text{нв}(n)} + T_{\text{відн}}} = \frac{1/\lambda_n}{1/\lambda_n + T_{\text{відн}}} \quad (13)$$

де $T_{\text{нв}}$ - середній час напрацювання на відмову.

Звідки

$$\lambda_0 = \frac{1 - K_0}{K_0 T_{\text{відн}}}; \quad \lambda_n = \frac{1 - K_n}{K_n T_{\text{відн}}} \quad (14)$$

Надалі введемо коефіцієнт α :

$$K_n = \alpha K_0 \quad (15)$$

Підставимо (14) і (15) в (10), (11), нормалізуємо повні витрати і введемо позначення

$$\delta_1 = \frac{B^* - B_1}{B^*}; \quad \delta_2 = \frac{B^* - B_2}{B^*}.$$

В результаті отримаємо

$$\tilde{P}_1 = \frac{P_1}{B^*} = \frac{(1 - K_0)(1 + r(\delta_1 - 1))}{K_0} + \frac{C_0^{\text{ц}}}{B^*} \quad (16)$$

$$\tilde{P}_2 = \frac{P_2}{B^*} = \frac{\delta_2(1 - K_0)}{K_0} + \frac{(1 - \alpha K_0)(1 + r(\delta_1 - 1))}{\alpha K_0} + \frac{C_0^{\text{ц}} + nc_n}{B^*} \quad (17)$$

На рисунку 5 побудовані графіки $\tilde{P}_1 = f_1(K_0)$ и $\tilde{P}_2 = f_2(K_0)$ при наступних припущеннях $r = 0,9$ і $\alpha = 1,1$.

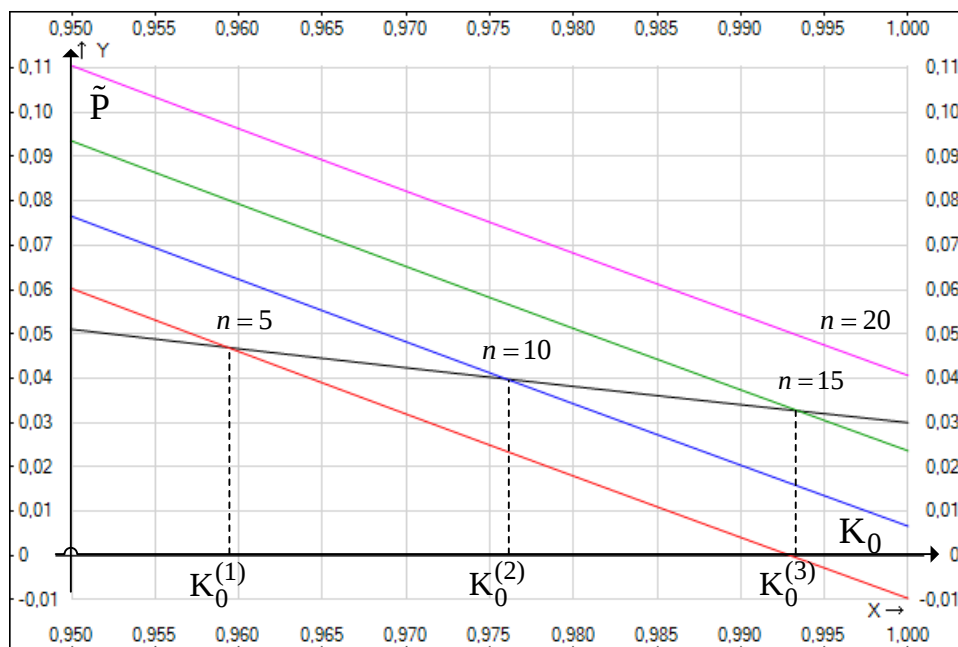


Рис. 5. Залежність зміни ефективності систем від надійності КеОМ і локальних регуляторів на мікроконтролерах

З графіків виходить, що із зростанням коефіцієнта готовності втрати в ієрархічній децентралізованій системі в порівнянні з централізованою зменшуються ($K_0^{(1)}, K_0^{(2)}, K_0^{(3)}$ - точки на графіці, де втрати в обох системах однакові). З (17) витікає, що втрати в ієрархічній системі лінійно залежать від числа і вартості локальних мікроконтролерних регуляторів. При заданих показниках надійності (K_0, α) і вартості підсистем в технічній структурі системи управління ($C_0^ц, C_0^{дц}$ и c_n) число контурів локального управління n може бути вибрано на підставі рішення рівнянь (16) і (17).

Слід враховувати, що отримані результати справедливі тільки для випадку кінцевих і адитивних втрат. Для об'єктів, повна відмова пристроїв автоматики яких може призвести до аварій типу катастроф або пов'язана з можливістю людських жертв, вибір безсумнівно повинен бути вирішений на користь комбінованої системи.

Література

1. АС № 1073146, МКИ, В61, L17/00. Устройство для управления технологическим процессом роспуска составов на сортировочной горке / Г.А. Красовский, Л.В. Сафрис А.А. Косолапов, Б.М. Филимонов, Е.М. Шафит, Е.В. Щербаков. - № 3294504/27-11; заявлено 03.04.81; опубл. 15.02.84, бюл. №6. — СССР, 1984. — 2 с..
2. Иванченко В.И. Новый подход к управлению процессом роспуска составов на сортировочной горке [Текст] / В. И. Иванченко, Н. Н. Лябах, А. А. Сепетый // Труды РИИЖТа. - Ростов-на-Дону. 1984. — С. 34-41.
3. Косолапов А.А. Ключевая роль транспорта в современном мире : монография [Текст] / [авт. кол. : Косолапов А. А., Блохин А. Л., Боряк К. Ф. и др.]. — Одесса : КУПРИЕНКО СВ, 2013. — 163 с. - ISBN 978-966-2769-16-6.
4. Косолапов А.А. Разработка унифицированной системы автоматизированного управления процессом расформирования поездов на сортировочной станции [Текст]: материалы временных коллективов / Е. М. Шафит, И. В. Жуковицкий, А. А. Косолапов. — Санкт-Петербург,, 1996. — С. 81-93.
5. Нечипоренко В.И. Структурный анализ систем (эффективность и надёжность) [Текст] / В. И. Нечипоренко. — М. : Сов. радио, 1977. — 216 с.
6. Половко А.М. Основы теории надёжности [Текст] / А. М. Половко, С. В. Гуров. — Спб. : БХВ-Петербург, 2008. — 704 с.
7. Фритч В. Применение микропроцессоров в системах управления : Пер. с нем. [Текст] / В. Фритч. — М. : Мир, 1984. — 464 с.
8. Шастова Г.А., Коёкин А. И. Выбор и оптимизация структуры информационных систем [Текст] / Г. А. Шастова, А. И. Коёкин —М. : Энергия, 1972. — 256 с.

9. Automation Device and Computing 2012-2013 [Электронный ресурс] /
Режим доступа :
[http://support.advantech.com.tw/OnlineResources/SubIndex.aspx?bu=99
B2E2BE-A7E3-4C58-9E35-B4F48A952AC7&type=eCatalog](http://support.advantech.com.tw/OnlineResources/SubIndex.aspx?bu=99B2E2BE-A7E3-4C58-9E35-B4F48A952AC7&type=eCatalog). :
Advantech, 2013.