

ных режимов типового производственного животноводческого помещения, позволяет установить для последующего моделирования режимов нагревательной системы такие перепады температуры (с нормируемой погрешностью) между нагретой поверхностью пола с типовыми значениями  $t_n = 8..32^\circ\text{C}$  и воздушной средой над ним: минимальный перепад температур лежит в интервале  $\Delta t_{\min} = 0.5 .. 2^\circ\text{C}$ , максимальный перепад  $\Delta t_{\max} = 1 .. 4^\circ\text{C}$ , где минимальные значения перепадов температур относятся к температуре воздуха в помещении  $8^\circ\text{C}$ , а максимальные – к температуре воздуха  $32^\circ\text{C}$ .

#### Литература

1. Круковский П. Г. Тепловые режимы полов различных конструкций с электрокабельными системами обогрева / П. Г. Круковский, Н. П. Тимченко, О. Ю. Судаков, Д. И. Розинский // Пром. теплотехника. – 2002. – Т. 24. – №1. – С. 10–16.
2. Электротеплоаккумуляционное отопление греющим полом / Сб. научн. статей «К разработке государственных строительных норм Украины «Электрические кабельные системы отопления». – Под ред. Д. И. Розинского. – Киев. – 2001. – 152 с.

3. А. с. 1813381 СССР. МКИ А01К15/01. Устройство для электрообогреваемого пола животноводческого помещения / Н. А. Романченко, В. И. Мельник, А. А. Румянцев, В. Я. Курышев; опубл. 07.05.93. Бюл. №17.
4. Романченко Н. А. Электрообогреваемые полы в животноводческих помещениях / Н. А. Романченко, В. И. Мельник и др. // Механиз. и электрифик. сельского хозяйства. – 1993. – №5–6. – С. 12–14.
5. Електрообігрів підлог в тваринницьких приміщеннях / М. А. Романченко, О. О. Румянцев, В. Я. Куришев // Вісник ХДТУСГ «Питання електрифікації сільського господарства». – Харків. – 2000. – Вип. 3. – С. 135–138.
6. Энерго- і ресурсозберігаючі технології забезпечення мікроклімату в виробничих спорудах сільськогосподарського призначення / М. А. Романченко // Науково-технічний бюлетень №87. – Харків. Інститут тваринництва УААН. – 2004. – С. 121–125.
7. Пчолкін Ю.М. Машини та обладнання для створення мікроклімату на фермах / Ю. М. Пчолкін, В. К. Мурзин // К.: Урожай. – 1977. – 110 с.
8. Богословский В. И. Строительная теплофизика / В. И. Богословский. – М.: Стройиздат. – 1982. – 415 с.

*Наведено узагальнену модель оцінки та вибору автоматичної трансмісії, а також її декомпозиція на окремі завдання структурного і параметричного синтезу*

*Ключові слова: структурний синтез, параметричний синтез, багатокритеріальна модель, автоматична трансмісія*

*Приведена обобщенная модель оценки и выбора автоматической трансмиссии, а также ее декомпозиция на отдельные задачи структурного и параметрического синтеза*

*Ключевые слова: структурный синтез, параметрический синтез, многокритериальная модель, автоматическая трансмиссия*

*The general model of a choice and assess automatic transmission, and also its decomposition on separate tasks of structural and parametric synthesis*

*Key words: structural synthesis, parametric synthesis, many criterion model, automatic transmission*

УДК 629.3.02-235:681.5.013/015

## ОБОБЩЕННАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМНОГО СИНТЕЗА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИИ

**Л. И. Нефёдов**

Доктор технических наук, заведующий кафедрой\*  
Контактный тел.: 738-77-92

**А. А. Осьмачко**

Ассистент\*  
Контактный тел.: 067-688-33-33  
\*Кафедра АКИТ

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

### 1. Введение

Экономичность и экологичность транспортного средства во многом зависят от эффективности передачи крутящего момента от двигателя на колеса. Проблема

повышения эффективности передачи крутящего момента и автоматического управления им в зависимости от желания водителя и изменяющейся дорожной обстановки всегда существовала в автомобилестроении. С учетом требований по уменьшению затрат на топливо и

улучшению экологической обстановки в мегаполисах, эта проблема начинает приобретать важное значение при проектировании транспортного средства. На данном этапе развития автомобилестроения, существуют два основных типа автоматической трансмиссии (АТ): гидромеханическая, где плавная передача крутящего момента от двигателя внутреннего сгорания (ДВС) к колесам осуществляется через гидротрансформатор; электромеханическая, в которой колеса приводятся в движение электродвигателями. Оба представленных типа АТ обеспечивают плавное управление крутящим моментом, но электромеханическая трансмиссия обеспечивает резкое уменьшение выброса продуктов сгорания высокооктанового топлива, что очень актуально в современных мегаполисах. Электромеханическая и гидравлическая трансмиссия имеют различные структуры и множество различных составных блоков и элементов, которые, в свою очередь, обладают набором индивидуальных параметров, влияющих на работу всей АТ. Таким образом, в зависимости от типа и вида АТ необходимо определять ее структуру, от которой зависят оценка и выбор блоков АТ и элементов системы автоматического управления (САУ), а также ее режим работы. Поставленные задачи можно решить при помощи системного синтеза, который включает в себя структурный и параметрический синтез блоков АТ, а также элементов САУ и связей между ними.

## 2. Анализ публикаций

АТ представляет собой сложную систему, состоящую из взаимосвязанных блоков [1-3]. Такими основными блоками для электромеханической трансмиссии являются: аккумуляторная батарея (АКБ), один или несколько электродвигателей (ЭД) и САУ. Для гидромеханической трансмиссии – гидронасос (ГН), гидротрансформатор (ГТ), САУ. Каждый из этих блоков имеет многочисленные показатели, характеризующие его работу. Эти показатели имеют различную физическую природу и диапазон изменения, что не позволяет сразу и однозначно определить лучший блок с оптимальными параметрами для выбранной структуры АТ. Также выбор различных структур АТ накладывает различные требования как на работу САУ, так и на механическую часть АТ.

Для решения задачи оценки и выбора структуры, блоков АТ и элементов САУ, а также их параметров, необходимо использовать методы системного синтеза и многокритериального анализа [4,5]. Системный синтез включает в себя выбор не только структуры и параметров АТ, но и ее системы управления. При анализе публикаций [1-3] было выявлено, что существующие методы не позволяют осуществить системный синтез автоматической трансмиссии.

## 3. Цель и постановка задачи

Целью является повышение эффективности процессов синтеза АТ за счет разработки математических моделей синтеза автоматической трансмиссии и ее блоков, САУ и ее элементов, программного обеспечения для моделирования ее компонентов.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- анализ проблемы создания АТ и выбор объекта исследования;
- выбор и обоснование методов многокритериальной оценки и оптимизации;
- синтез обобщенной и частных математических моделей многокритериальной оценки и оптимизации АТ, ее блоков, САУ и ее элементов, программного обеспечения для моделирования и его компонентов.

Для структурирования задачи синтеза и выявления связей между блоками АТ и элементами САУ, необходимо определить последовательность задач структурного и параметрического синтеза, а также синтезировать обобщенную модель оценки и выбора блоков АТ и элементов САУ с дальнейшей ее декомпозицией.

## 4. Структурирование задач оценки и выбора

На рис. 1 представлена структурная модель системного синтеза АТ. Сплошной линией указывается порядок синтеза, а пунктирной – информационные связи между блоками АТ и элементами САУ. Известно множество связей, задаваемых матрицами инцидентности (табл. 1, табл. 2).

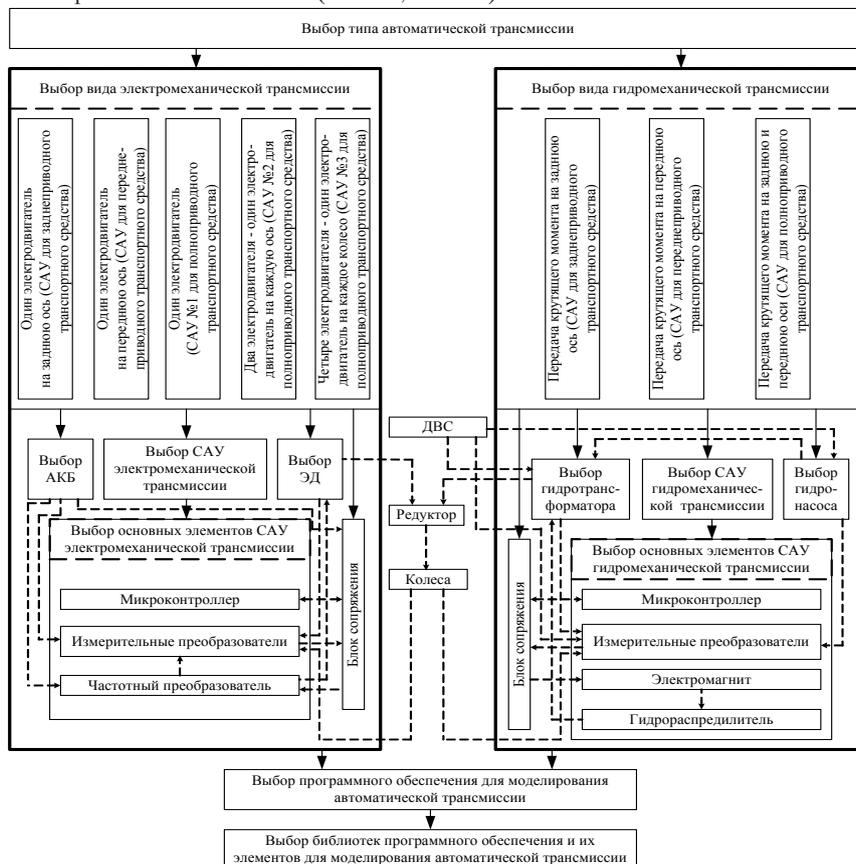


Рис. 1. Структурная модель системного синтеза АТ

Измерительных преобразователей (ИП) в АТ несколько, так как для эффективного управления АТ и контроля за работой отдельных ее блоков необходимы измерительные преобразователи различных физических величин (ток, угловая скорость, линейная скорость, давления и т.д.) и каждый из них имеет множество типов и видов. Для различных видов АТ количество типов и видов ИП остается неизменным, меняется только их количество.

**Таблица 1**

Связи внутри электромеханической трансмиссии

	ЭД	АКБ	Колеса	САУ							
				МК	ЧП	ИП			БС		
						ИП 1	ИП 2	ИП 3			
ЭД		0	1	0	1	1	0	0	0		
АКБ	0		0	0	1	0	1	0	1		
Колеса	1	0		0	0	0	0	1	0		
САУ	ИП	МК	0	0	0		0	0	0	1	
		ЧП	1	1	0	0		0	0	1	
		ИП 1	1	0	0	0	0		0	1	
		ИП 2	0	1	0	0	0	0		1	
		ИП 3	0	0	1	0	0	0	0		1
		БС	0	1	0	1	1	1	1	1	

Известно:

- множество типов АТ  $AT = \{AT^e\}, \overline{e=1, e^e}$ ;

- множество видов в каждом типе АТ

$AT^e = \{AT_n^e\}, \overline{n=1, n^e}$ ;

- множество различных блоков АТ

$BB = \{BB^v\}, \overline{v=1, v^v}$ ;

- множество различных типов блоков

$AT BB^v = \{BB_i^v\}, \overline{i=1, i^v}$ ;

- множество различных видов в каждом типе блоков АТ  $BB_i^v = \{BB_{ij}^v\}, \overline{j=1, j^i}$ .

Для синтеза САУ известно:

- множество различных элементов САУ

$ES = \{ES^m\}, \overline{m=1, m^m}$ ;

**Таблица 2**

Связи внутри гидромеханической трансмиссии

	ГТ	ГН	АКБ	ДВС	Колеса	САУ										
						МК	ГР	ЭМ	ИП					БС		
									ИП1	ИП2	ИП3	ИП4	ИП5			
ГТ		1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0		
ГН	1		0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0		
АКБ	0	0		1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1		
ДВС	1	1	1		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0		
Колеса	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	1	0		
САУ	ИП	МК	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	1	
		ГР	1	0	0	0	0		1	0	0	0	0	0	0	
		ЭМ	0	0	0	0	0	0	1		0	0	0	0	1	
		ИП1	1	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	1	
		ИП2	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0	0	1	
		ИП3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0	1	
		ИП4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0		1	
		ИП5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0		1
		БС	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	

- множество различных типов элементов САУ

$ES^m = \{ES_o^m\}, \overline{o=1, o^m}$ ;

- множество различных видов в каждом типе элементов САУ

$ES_o^m = \{ES_{ow}^m\}, \overline{w=1, w^o}$ .

Все блоки АТ и элементы САУ информационно связаны друг с другом и эти связи отображены в матрицах инцидентности (табл. 1, табл. 2). Для синтеза этих связей известно:

- множество типов связей

$ST = \{ST^s\}, \overline{s=1, s^s}$ ;

- множество видов связей

В таблицах приведены следующие сокращения:

- ЧП – частотный преобразователь;
- МК – микроконтроллер;
- БС – блок сопряжения;
- ЭМ – электромагнит;
- ГР – гидрораспределитель.

Введем параметр  $U_{al} = \{0;1\}$  следующим образом:

$U_{al} = \begin{cases} 1, & \text{если между } a\text{-м } l\text{-м компонентом АТ должна быть связь;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$

где  $a$  и  $l$  номера блоков АТ и элементов САУ.

в каждом типе

$ST^s = \{ST_y^s\}, \overline{y=1, y^s}$

Введем переменные  $X_{en} = \{0;1\}$ , где  $X_{en} = 1$ , если выбрана АТ  $e$ -го типа  $n$ -го вида,  $X_{en} = 0$  в противном случае;  $\bar{X}_{vij} = \{0;1\}$ , где  $\bar{X}_{vij} = 1$ , если  $v$ -ый блок АТ выбран  $i$ -го типа  $j$ -го вида,  $\bar{X}_{vij} = 0$  в противном случае;  $\bar{X}_{mow} = \{0;1\}$ , где  $\bar{X}_{mow} = 1$ , если  $m$ -й элемент САУ выбран  $o$ -го типа  $w$ -го вида,  $\bar{X}_{mow} = 0$  в противном случае;  $\bar{X}_{alsy} = \{0;1\}$ , где  $\bar{X}_{alsy} = 1$ , если выбрана линия связи  $s$ -го типа  $y$ -го вида между  $a$ -м и  $l$ -м блоками АТ и элементами САУ,  $\bar{X}_{alsy} = 0$  в противном случае.

Необходимо определить тип и вид АТ, каждого блока АТ, каждого элемента САУ, а также тип и вид связей

**5. Обобщенная модель и ее декомпозиция**

Общая задача синтеза АТ заключается в следующем.

между блоками АТ и элементами САУ по выбранным критериям и ограничениям.

В качестве частных критериев могут быть:  
- минимальная стоимость:

$$C = \min \sum_{e=1}^{e'} \sum_{n=1}^{n^e} X_{en} \left( \sum_{v=1}^{v'} \sum_{i=1}^{i^v} \sum_{j=1}^{j^i} C_{vij} \bar{X}_{vij} + \sum_{m=1}^{m'} \sum_{o=1}^{o^m} \sum_{w=1}^{w^o} C_{mow} \tilde{X}_{mow} + \sum_{a=1}^{v'+m'} \sum_{l=1}^{v'+m'} \sum_{s=1}^{s'} \sum_{y=1}^{y^s} C_{alsy} U_{al} \bar{\bar{X}}_{alsy} \right) \quad (2) \quad \sum_{o=1}^{o^m} \sum_{w=1}^{w^o} N_{mow} \tilde{X}_{mow} \geq N_3^m; \quad \overline{m=1, m'}, \quad (7)$$

где  $C_{vij}$  — стоимость  $v$ -го блока АТ (АКБ и ЭД)  $i$ -го типа  $j$ -го вида;

$C_{mow}$  — стоимость  $m$ -того элемента САУ  $o$ -того типа  $w$ -ого вида;

$C_{alsy}$  — стоимость линии связи между блоками АТ и элементами САУ  $s$ -го типа  $y$ -го вида;

- максимальная надежность блоков АТ, элементов САУ и линий связи между ними:

$$N = \max \sum_{e=1}^{e'} \sum_{n=1}^{n^e} X_{en} \left( \sum_{v=1}^{v'} \sum_{i=1}^{i^v} \sum_{j=1}^{j^i} N_{vij} \bar{X}_{vij} + \sum_{m=1}^{m'} \sum_{o=1}^{o^m} \sum_{w=1}^{w^o} N_{mow} \tilde{X}_{mow} + \sum_{a=1}^{v'+m'} \sum_{l=1}^{v'+m'} \sum_{s=1}^{s'} \sum_{y=1}^{y^s} N_{alsy} U_{al} \bar{\bar{X}}_{alsy} \right) \quad (3) \quad \sum_{i=1}^{i^v} \sum_{j=1}^{j^i} NOT_{vij} \bar{X}_{vij} \geq NOT_3^v; \quad \overline{v=1, v'}, \quad (9)$$

где  $N_{vij}$  — надежность  $v$ -го блока АТ (АКБ и ЭД)  $i$ -го типа  $j$ -го вида;

$N_{mow}$  — надежность  $m$ -го элемента САУ  $o$ -го типа  $w$ -ого вида;

$N_{alsy}$  — надежность линии связи между блоками АТ и элементами САУ  $s$ -го типа  $y$ -го вида.

- максимальная наработка на отказ блоков АТ и ее элементов:

$$NOT = \max \sum_{e=1}^{e'} \sum_{n=1}^{n^e} X_{en} \left( \sum_{v=1}^{v'} \sum_{i=1}^{i^v} \sum_{j=1}^{j^i} NOT_{vij} \bar{X}_{vij} + \sum_{m=1}^{m'} \sum_{o=1}^{o^m} \sum_{w=1}^{w^o} NOT_{mow} \tilde{X}_{mow} + \sum_{a=1}^{v'+m'} \sum_{l=1}^{v'+m'} \sum_{s=1}^{s'} \sum_{y=1}^{y^s} NOT_{alsy} U_{al} \bar{\bar{X}}_{alsy} \right) \quad (4)$$

где  $NOT_{vij}$  — наработка на отказ  $v$ -го блока АТ (АКБ и ЭД)  $i$ -го типа  $j$ -го вида;

$NOT_{mow}$  — надежность  $m$ -го элемента САУ  $o$ -го типа  $w$ -ого вида;

$NOT_{alsy}$  — надежность линии связи между блоками АТ и элементами САУ  $s$ -го типа  $y$ -го вида.

Первые слагаемые в скобках уравнений (2) – (4) характеризует оценку и выбор блоков АТ (АКБ и ЭД). Вторые слагаемые в скобках уравнений (2) – (4) характеризует оценку и выбор элементов САУ: МК и преобразователи.

Третьи слагаемые в скобках уравнений (2) – (4) характеризуют оценку и выбор связей между блоками АТ и элементами САУ.

Область допустимых решений при выборе АТ определяется ограничениями:

- затраты на блоки АТ, элементы САУ и связи между ними должны быть меньше заданных —  $C_3$ :

$$\sum_{e=1}^{e'} \sum_{n=1}^{n^e} X_{en} \left( \sum_{v=1}^{v'} \sum_{i=1}^{i^v} \sum_{j=1}^{j^i} C_{vij} \bar{X}_{vij} + \sum_{m=1}^{m'} \sum_{o=1}^{o^m} \sum_{w=1}^{w^o} C_{mow} \tilde{X}_{mow} + \sum_{a=1}^{v'+m'} \sum_{l=1}^{v'+m'} \sum_{s=1}^{s'} \sum_{y=1}^{y^s} C_{alsy} U_{al} \bar{\bar{X}}_{alsy} \right) \leq C_3, \quad (5)$$

- надежность блоков АТ, элементов САУ и линий связи между ними должна быть больше заданной:

$$\sum_{i=1}^{i^v} \sum_{j=1}^{j^i} N_{vij} \bar{X}_{vij} \geq N_3^v; \quad \overline{v=1, v'}, \quad (6)$$

где  $N_3^v$  — заданное значение надежности  $v$ -го блока АТ;

где  $N_3^m$  — заданное значение надежности  $m$ -го элемента САУ;

$$\sum_{s=1}^{s'} \sum_{y=1}^{y^s} N_{alsy} U_{al} \bar{\bar{X}}_{alsy} \geq N_3^{al}; \quad \overline{a, l=1, v'+m'}, \quad (8)$$

где  $N_3^{al}$  — заданное значение надежности линий связи блоков АТ и элементов САУ;

- наработка на отказ блоков АТ, элементов САУ и линий связи должна быть больше заданной:

$$\sum_{i=1}^{i^v} \sum_{j=1}^{j^i} NOT_{vij} \bar{X}_{vij} \geq NOT_3^v; \quad \overline{v=1, v'}, \quad (9)$$

где  $NOT_3^v$  — заданное значение наработки на отказ  $v$ -го блока АТ;

$$\sum_{o=1}^{o^m} \sum_{w=1}^{w^o} NOT_{mow} \tilde{X}_{mow} \geq NOT_3^m; \quad \overline{m=1, m'}, \quad (10)$$

где  $NOT_3^m$  — заданное значение наработки на отказ  $m$ -го элемента САУ;

$$\sum_{s=1}^{s'} \sum_{y=1}^{y^s} NOT_{alsy} U_{al} \bar{\bar{X}}_{alsy} \geq NOT_3^{al}; \quad \overline{a, l=1, v'+m'}, \quad (11)$$

где  $NOT_3^{al}$  — заданное значение наработки на отказ линий связи блоков АТ и элементов САУ;

- из множества видов и типов АТ может быть выбрана только одна АТ:

$$\sum_{e=1}^{e'} \sum_{n=1}^{n^e} X_{en} = 1; \quad (12)$$

- из множества видов и типов каждого блока АТ может быть выбран только один:

$$\sum_{i=1}^{i^v} \sum_{j=1}^{j^i} \bar{X}_{vij} = 1; \quad \forall v = \overline{1, v'}; \quad (13)$$

- из множества видов и типов каждого элемента САУ может быть выбран только один:

$$\sum_{o=1}^{o^m} \sum_{w=1}^{w^o} \tilde{X}_{mow} = 1; \quad \forall m = \overline{1, m'}; \quad (14)$$

- из множества видов и типов каждой связи между блоками АТ, элементами САУ может быть выбран только один:

$$\sum_{s=1}^{s'} \sum_{y=1}^{y^s} \bar{\bar{X}}_{alsy} = 1; \quad \forall a, l = \overline{1, v'+m'}. \quad (15)$$

Разработанная модель (2) – (15) относится к задачам дискретного программирования с булевыми переменными. Ее решение в общем виде представляет значительные трудности как из-за сложности вычислений, так

и из-за возможности идентификации некоторых характеристик только в процессе функционирования. Размерность задачи определяется количеством типов, видов АТ, САУ, их блоков и элементов, а также связей между ними и превышает  $10^{15}$  возможных вариантов. Задача системного синтеза

усложняется также разнородными противоречивыми критериями, определяющими эффективность АТ. Указанные трудности можно преодолеть только декомпозицией исходной модели на частные, следуя основным принципам декомпозиционного подхода, когда каждый предыдущий этап синтеза должен сужать область допустимых решений последующего этапа, а результаты, принятые на нижележащих уровнях, учитываются при коррекции решений вышележащих уровней.

Поэтому в дальнейшем необходима декомпозиция общей задачи на частные задачи — определение структуры АТ, оценка и выбор каждого ее блока и элемента САУ в отдельности, оценка и выбор связей между блоками АТ и элементами САУ. Эти задачи относятся к задачам структурного и параметрического синтеза.

### Выводы

Разработана обобщенная модель, которая в отличие от существующих позволяет с единых критериальных позиций комплексно решить задачу системного синтеза АТ по многим критериям. Это дает возможность по-

высить эффективность и оперативность принимаемых решений при синтезе АТ за счет обоснованного выбора ее структуры, блоков АТ, элементов САУ и связей между ними.

### Литература

1. Косенков А.А. Устройство автоматических коробок передач и трансмиссий / Серия «Библиотека автомобилиста». — Ростов н/Д: «Феникс», 2003. — 416 с.
2. <http://www.hybrid-cars.ru>
3. <http://avtoavto.ru>
4. Петров Е.Г., Новожилова М.В., Гребенник И.В. методы і засоби прийняття рішень у соціально-економічних системах / За ред. Е.Г. Петрова. — К: Техніка, 2004 — 256 с.
5. Нефёдов Л.И., Стопченко Е.Г., Стопченко Г.И., Золотова Н.М. Принципы оптимальности методов многокритериальной оценки проектных решений при строительстве и реконструкции объектов городской системы. Коммунальное хозяйство городов Науч. техн. сб. — К.: Техніка. — 2002. — Вып. № 39.

УДК 519.85

## ОЦЕНИВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УРАВНЕНИЯ РЕГРЕССИИ В УСЛОВИЯХ МАЛОЙ ВЫБОРКИ

**О. В. Серая**

Кандидат технических наук, доцент  
Кафедра экономической кибернетики и маркетингового менеджмента\*

**Д. А. Дёмин**

Кандидат технических наук, доцент  
Кафедра литейного производства\*  
\*НТУ «Харьковский политехнический институт»  
ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, 61002

*Розглянуто технологію ортогоналізації результатів пасивного експерименту. Для випадку малої вибірки спостережень запропонована процедура формування усеченого ортогонального реплікоподібного підплану, заснована на вирішенні тріаксіального булевого завдання призначення*

*Рассмотрена технология ортогонализации результатов пассивного эксперимента. Для случая малой выборки наблюдений предложена процедура формирования усеченного ортогонального репликоподобного подплана, основанная на решении триаксиальной булевой задачи назначения*

*We consider the technology orthogonalization results of passive experiment. For the case of a small sample of observations suggested procedure for the formation of a truncated orthogonal replikopodobnogo sub-plans based on the solution triaxial Boolean problem of destination*

### Введение

Многочисленные задачи исследования систем, функционирующих в условиях воздействия разноо-

бразных факторов внешней среды, сводятся к установлению зависимости какого-либо результирующего критерия качества функционирования системы от численных значений влияющих факторов [1,2].