

УДК 656.132.6

**В. П. Курочка**

**Д. П. Курочка**

### МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ БЛОКА ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО НАТИСКУ СТРУМОПРИЙМАЧІВ ТРОЛЕЙБУСА НА КОНТАКТНУ МЕРЕЖУ

*Анотація.* Запропоновано математичну модель блока визначення оптимального натиску струмоприймачів троллейбуса на контактну мережу на нечітких множинах; блок забезпечує визначення оптимального натиску під час руху троллейбуса.

**В. П. Курочка**

**Д. П. Курочка**

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ БЛОКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО НАЖАТИЯ ТОКОПРИЕМНИКОВ ТРОЛЛЕЙБУСА НА КОНТАКТНУЮ СЕТЬ

*Аннотация.* Предложена математическая модель блока определения оптимального нажатия токоприемников троллейбуса на контактную сеть на нечетких множествах; блок обеспечивает определение оптимального нажатия при движении троллейбуса.

**V. P. Kurochka**

**D. P. Kurochka**

### A MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINING THE OPTIMAL PRESSURE UNIT CURRENT COLLECTOR TROLLEY TO CONTACT NETWORK

*Abstract.* The paper proposed a mathematical model of the block to determine the optimal current collector trolley clicking on the contact network to fuzzy sets, which allows determination of the optimal motion pushing trolley.

**Вступ.** Забезпечення стійкої роботи струмоприймачів троллейбуса є актуальною проблемою, оскільки число відмов троллейбусів на лінії із-за втрати працездатності струмоприймачів складає 16-20 % [1] від загального числа відмов електрообладнання.

Незадовільна взаємодія струмоприймачів із контактною мережею призводить до таких наслідків: підвищений знос контактної мережі при великому натиску; схід головок струмоприймачів з контактних проводів при недостатньому натиску; в окремих випадках можливі пошкодження контактної мережі – перепали контактних проводів та механічні обриви.

Це паралізує рух троллейбусів одного, а іноді і більше маршрутів, що зумовлює відмову в обслуговуванні значної частини пасажирів на тривалий час. Блок керування натиском струмоприймачів дає можливість забезпечити оптимальний рівень статичного натиску на контактний провід.

**Постановка завдань дослідження.** Розробити математичну модель блока визначення оптимального натиску з використанням теорії нечітких множин, яка б дозволяла визначити оптимальний натиск (ділянка c-d, рис.1 [1]), при якому будуть мінімальні втрати в системі струмознімання під час руху троллейбуса з врахуванням таких параметрів, як висота контактної мережі, швидкість троллейбуса та кут повороту штанг відносно осі троллейбуса.

**Матеріали дослідження.** В процесі руху троллейбуса зміна контактної мережі поєднується з одночасною зміною статичного натиску (взаємодія головки струмоприймача і контактної мережі при нерухомих троллейбусі), який залежить від висоти контактної мережі над дорожнім полотном. При одному і тому ж технічному стані головки струмоприймача

схід останнього може відбутись під впливом бокової сили з тим більшою ймовірністю, чим менше контактне натискання.

Умовні позначення на рис. 1: a-b – ділянка збільшеного електричного зносу і втрат від сходу головок струмоприймачів з контактної мережі; b-c – ділянка втрат за рахунок електричного зносу вугільних вставок і проводів контактної мережі; c-d – ділянка мінімальних втрат (оптимальний натиск); d-e – ділянка втрат за рахунок механічного зносу вугільних вставок і проводів.

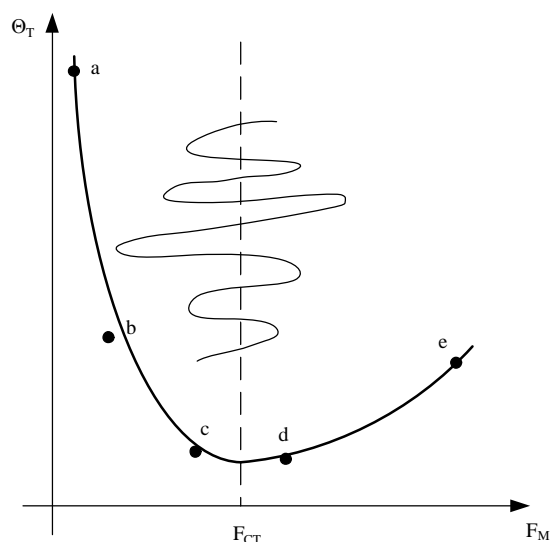


Рис.1. Залежність сумарних втрат в системі струмознімання від контактної мережі

Для створення такого блоку використаємо теорію нечітких множин і побудуємо математичну мо-

дель нечіткого логічного висновку для визначення оптимального натиску на контактну мережу  $Y$ .

Згідно з термами (табл.1.) визначимо діапазон зміни вхідних і вихідних величин та проведемо їх лінгвістичну оцінку.

В якості вхідних величин  $X = (X_1, X_2, X_3)$  вибрано:  $X_1$  – значення швидкості тролейбуса;  $X_2$  – значення кута повороту штанг відносно осі тролейбуса;  $X_3$  – значення висоти проводу.

Наступним кроком створення нечіткої математичної моделі є фазифікація [2] вхідних величин  $X$  згідно з термами. Використовуючи гаусівську функцію належності, отримуємо нечітку множину:

$$\mu(X) = \exp\left(\frac{(x-b)^2}{2 \cdot c^2}\right), \quad (1)$$

де  $b$  – координата максимуму;  $c$  – коефіцієнт концентрації.

Параметри функції належності (ФН) вхідних величин наведені в табл. 2.

1. Характеристика вхідних та вихідних величин математичної моделі блока визначення оптимального натиску на контактну мережу

Параметри	Назва	Діапазон значень	Терми
$X_1$	Швидкість тролейбуса	[0...60] км/год	Низька швидкість (НШ), середня швидкість (СШ), висока швидкість (ВШ), максимальна швидкість (МШ)
$X_2$	Кут повороту штанг відносно осі тролейбуса	[-60°...+60°]	Великий кут вліво (ВКЛ), середній кут вліво (СКЛ), центральна позиція (ЦП), середній кут вправо (СКП), великий кут вправо (ВКП)
$X_3$	Висота проводу (провісання)	[4,8...5,1] м	Мала висота проводу (МВП), середня висота проводу (СВП), велика висота проводу (ВВП)
$Y$	Натиск	[30...180] Н·м	Дуже низький рівень (ДНР), низький рівень (НР), середній рівень (СР), високий рівень (ВР), дуже високий рівень (ДВР), максимальний рівень (МР)

2. Параметри функції належності вхідних величин

Змінні	Терми	Параметри ФН	
		c	b
$X_1$	НШ	12	0

$X_2$	СШ	6	24
	ВШ	6	40
	МШ	8	60
	ВКЛ	20	-60
	СКП	8	+15
	СКЛ	8	-15
	ВКП	20	+60
$X_3$	ЦП	1,5	0
	МВП	0,05	4,8
	ВВП	0,05	5,1
	СВП	0,05	5

Для функціонування математичної моделі нечіткого логічного висновку необхідно сформувати експертну базу знань нечітких правил (табл. 3), яка містить лінгвістичні правила залежності  $Y = f(X)$ .

3. База знань нечітких правил

Входи			Виходи	Входи			Виходи
$X_1$	$X_2$	$X_3$	$Y$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$Y$
НШ	ЦП	МВП	ДНР	ВШ	СКЛ	СВП	СР
НШ	ЦП	СВП	ДНР	ВШ	СКП	СВП	СР
НШ	СКЛ	МВП	ДНР	СШ	ВКЛ	СВП	ВР
НШ	СКП	МВП	ДНР	СШ	ВКП	СВП	ВР
НШ	СКЛ	СВП	ДНР	СШ	ВКЛ	ВВП	ВР
НШ	СКП	СВП	ДНР	СШ	ВКП	ВВП	ВР
НШ	ЦП	ВВП	НР	ВШ	ЦП	ВВП	ВР
НШ	СКЛ	ВВП	НР	ВШ	СКЛ	ВВП	ВР
НШ	СКП	ВВП	НР	ВШ	СКП	ВВП	ВР
НШ	ВКЛ	МВП	НР	ВШ	ВКЛ	НВП	ВР
НШ	ВКП	МВП	НР	ВШ	ВКП	МВП	ВР
СШ	ЦП	МВП	НР	МШ	ЦП	МВП	ВР
СШ	СКЛ	МВП	НР	МШ	СКЛ	МВП	ВР
СШ	СКП	МВП	НР	МШ	СКП	МВП	ВР
СШ	ЦП	СВП	НР	МШ	ЦП	СВП	ВР
СШ	СКЛ	СВП	НР	МШ	СКЛ	СВП	ВР
СШ	СКП	СВП	НР	МШ	СКП	СВП	ВР
НШ	ВКЛ	СВП	СР	ВШ	ВКЛ	СВП	ДВР
НШ	ВКЛ	ВВП	СР	ВШ	ВКП	СВП	ДВР
НШ	ВКП	СВП	СР	ВШ	ВКЛ	ВВП	ДВР
НШ	ВКП	ВВП	СР	ВШ	ВКП	ВВП	ДВР
СШ	ЦП	ВВП	СР	МШ	ЦП	ВВП	ДВР
СШ	СКЛ	ВВП	СР	МШ	СКЛ	ВВП	ДВР
СШ	СКП	ВВП	СР	МШ	СКП	ВВП	ДВР
СШ	ВКЛ	МВП	СР	МШ	ВКЛ	МВП	ДВР
СШ	ВКП	МВП	СР	МШ	ВКП	МВП	ДВР
ВШ	ЦП	МВП	СР	МШ	ВКЛ	СВП	МРН
ВШ	ЦП	СВП	СР	МШ	ВКП	СВП	МРН
ВШ	СКЛ	МВП	СР	МШ	ВКЛ	ВВП	МРН
ВШ	СКП	МВП	СР	МШ	ВКЛ	ВВП	МРН

Для отримання результатів моделювання складемо на основі експертної бази знань і термів ФН базу нечітких логічних рівнянь, при цьому будемо використовувати операції  $\bullet$  (I-min) та  $\vee$  (АБО-max) [6]:

$$\mu^{P_{hor}}(P) = [\mu^{nsh}(x_1) \cdot \mu^{cp}(x_2) \cdot \mu^{mvp}(x_3)] \vee [\mu^{nsh}(x_1) \cdot \mu^{cp}(x_2) \cdot \mu^{svp}(x_3)] \vee [\mu^{nsh}(x_1) \cdot \mu^{skl}(x_2) \cdot \mu^{mvp}(x_3)] \vee [\mu^{nsh}(x_1) \cdot \mu^{skp}(x_2) \cdot \mu^{mvp}(x_3)] \vee [\mu^{nsh}(x_1) \cdot \mu^{skl}(x_2) \cdot \mu^{svp}(x_3)] \vee [\mu^{nsh}(x_1) \cdot \mu^{skp}(x_2) \cdot \mu^{svp}(x_3)], \quad (2)$$

$$\mu^{P_v}(P) = [\mu^{nsh}(x_1) \cdot \mu^{cp}(x_2) \cdot \mu^{vvp}(x_3)] \vee [\mu^{nsh}(x_1) \cdot \mu^{ckl}(x_2) \cdot \mu^{vvp}(x_3)] \vee [\mu^{nsh}(x_1) \cdot \mu^{skp}(x_2) \cdot \mu^{vvp}(x_3)] \vee [\mu^{nsh}(x_1) \cdot \mu^{skl}(x_2) \cdot \mu^{mvp}(x_3)] \vee [\mu^{nsh}(x_1) \cdot \mu^{vskp}(x_2) \cdot \mu^{mvp}(x_3)] \vee [\mu^{ssh}(x_1) \cdot \mu^{cp}(x_2) \cdot \mu^{mvp}(x_3)] \vee [\mu^{ssh}(x_1) \cdot \mu^{skl}(x_2) \cdot \mu^{mvp}(x_3)] \vee [\mu^{ssh}(x_1) \cdot \mu^{skp}(x_2) \cdot \mu^{mvp}(x_3)] \vee [\mu^{ssh}(x_1) \cdot \mu^{skl}(x_2) \cdot \mu^{svp}(x_3)] \vee [\mu^{ssh}(x_1) \cdot \mu^{skp}(x_2) \cdot \mu^{svp}(x_3)], \quad (3)$$

$$\mu^{P_{sv}}(P) = [\mu^{nsh}(x_1) \cdot \mu^{skl}(x_2) \cdot \mu^{svp}(x_3)] \vee [\mu^{nsh}(x_1) \cdot \mu^{skl}(x_2) \cdot \mu^{vvp}(x_3)] \vee [\mu^{nsh}(x_1) \cdot \mu^{vskp}(x_2) \cdot \mu^{svp}(x_3)] \vee [\mu^{ssh}(x_1) \cdot \mu^{vskp}(x_2) \cdot \mu^{svp}(x_3)] \vee [\mu^{ssh}(x_1) \cdot \mu^{skl}(x_2) \cdot \mu^{vvp}(x_3)] \vee [\mu^{ssh}(x_1) \cdot \mu^{skp}(x_2) \cdot \mu^{vvp}(x_3)] \vee [\mu^{ssh}(x_1) \cdot \mu^{skp}(x_2) \cdot \mu^{svp}(x_3)] \vee [\mu^{ssh}(x_1) \cdot \mu^{vskp}(x_2) \cdot \mu^{vvp}(x_3)] \vee [\mu^{ssh}(x_1) \cdot \mu^{vskp}(x_2) \cdot \mu^{svp}(x_3)] \vee [\mu^{ssh}(x_1) \cdot \mu^{skl}(x_2) \cdot \mu^{vvp}(x_3)] \vee [\mu^{ssh}(x_1) \cdot \mu^{skp}(x_2) \cdot \mu^{vvp}(x_3)], \quad (4)$$

$$\mu^{P_{sv}}(P) = [\mu^{ssh}(x_1) \cdot \mu^{vkl}(x_2) \cdot \mu^{svp}(x_3)] \vee [\mu^{ssh}(x_1) \cdot \mu^{vskp}(x_2) \cdot \mu^{svp}(x_3)] \vee [\mu^{ssh}(x_1) \cdot \mu^{vkl}(x_2) \cdot \mu^{vvp}(x_3)] \vee [\mu^{ssh}(x_1) \cdot \mu^{vskp}(x_2) \cdot \mu^{vvp}(x_3)] \vee [\mu^{ssh}(x_1) \cdot \mu^{cp}(x_2) \cdot \mu^{vvp}(x_3)] \vee [\mu^{ssh}(x_1) \cdot \mu^{skl}(x_2) \cdot \mu^{vvp}(x_3)] \vee [\mu^{ssh}(x_1) \cdot \mu^{skp}(x_2) \cdot \mu^{vvp}(x_3)] \vee [\mu^{ssh}(x_1) \cdot \mu^{cp}(x_2) \cdot \mu^{svp}(x_3)] \vee [\mu^{ssh}(x_1) \cdot \mu^{skl}(x_2) \cdot \mu^{svp}(x_3)] \vee [\mu^{ssh}(x_1) \cdot \mu^{skp}(x_2) \cdot \mu^{svp}(x_3)] \vee [\mu^{ssh}(x_1) \cdot \mu^{vkl}(x_2) \cdot \mu^{vvp}(x_3)] \vee [\mu^{ssh}(x_1) \cdot \mu^{vskp}(x_2) \cdot \mu^{vvp}(x_3)], \quad (5)$$

$$\mu^{P_{sv}}(P) = [\mu^{vsh}(x_1) \cdot \mu^{vkl}(x_2) \cdot \mu^{svp}(x_3)] \vee [\mu^{vsh}(x_1) \cdot \mu^{vskp}(x_2) \cdot \mu^{svp}(x_3)] \vee [\mu^{vsh}(x_1) \cdot \mu^{vkl}(x_2) \cdot \mu^{vvp}(x_3)] \vee [\mu^{vsh}(x_1) \cdot \mu^{vskp}(x_2) \cdot \mu^{vvp}(x_3)] \vee [\mu^{msh}(x_1) \cdot \mu^{cp}(x_2) \cdot \mu^{vvp}(x_3)] \vee [\mu^{msh}(x_1) \cdot \mu^{skl}(x_2) \cdot \mu^{vvp}(x_3)] \vee [\mu^{msh}(x_1) \cdot \mu^{skp}(x_2) \cdot \mu^{vvp}(x_3)] \vee [\mu^{msh}(x_1) \cdot \mu^{cp}(x_2) \cdot \mu^{svp}(x_3)] \vee [\mu^{msh}(x_1) \cdot \mu^{skl}(x_2) \cdot \mu^{svp}(x_3)] \vee [\mu^{msh}(x_1) \cdot \mu^{skp}(x_2) \cdot \mu^{svp}(x_3)], \quad (6)$$

$$\mu^{P_{sv}}(P) = [\mu^{msh}(x_1) \cdot \mu^{vkl}(x_2) \cdot \mu^{svp}(x_3)] \vee [\mu^{msh}(x_1) \cdot \mu^{vskp}(x_2) \cdot \mu^{svp}(x_3)] \vee [\mu^{msh}(x_1) \cdot \mu^{vkl}(x_2) \cdot \mu^{vvp}(x_3)] \vee [\mu^{msh}(x_1) \cdot \mu^{vskp}(x_2) \cdot \mu^{vvp}(x_3)], \quad (7)$$

Маючи виміряні вхідні величини  $X$ , і використовуючи дану модель, знаходимо нечітку множину  $\tilde{Y}$ , з якої після операції дефазифікації отримуємо оптимальний натиск. Реалізацію запропонованої моделі здійснено в середовищі Matlab 6.5. Результати моделювання представлені на рисунках 2 і 3.

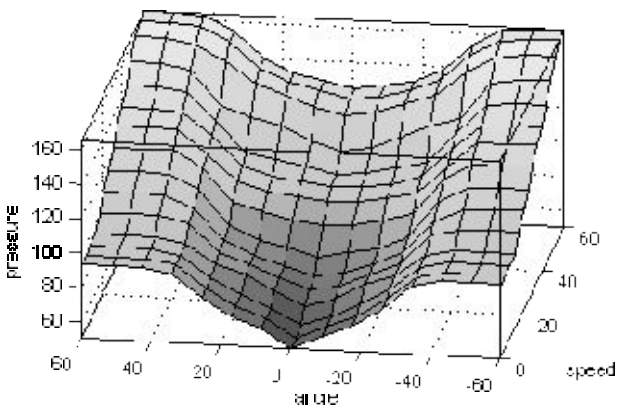


Рис.2. Залежність зміни натиску відносно швидкості та кута повороту

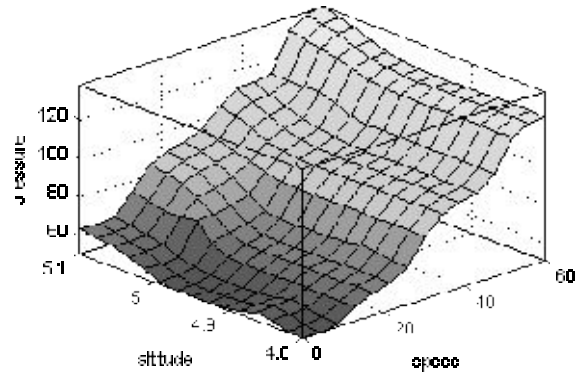


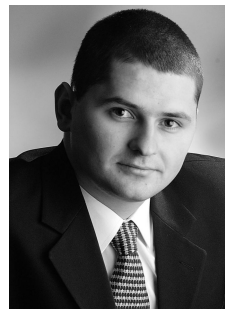
Рис.3. Залежність зміни натиску відносно висоти провoda та швидкості

**Висновки.** Розроблена математична модель блока визначення оптимального натиску струмоприймачів тролейбуса з використанням теорії нечітких множин, який враховуючи швидкість тролейбуса, висоту контактної мережі та кут повороту струмоприймачів відносно осі забезпечує визначення оптимального натиску під час руху тролейбуса. Реалізація блока визначення оптимального натиску струмоприймачів тролейбуса можлива з використанням fuzzy контролера за допомогою розробленої математичної моделі.

#### Список використаної літератури

1. Веклич В. Ф. Диагностирование технического состояния троллейбусов / В.Ф.Веклич – М.: Транспорт, 1990. – 295 с. .
2. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С.Д.Штовба – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.

Отримано 12.07.11



Курочка Віктор Петрович,  
аспірант каф. електро-  
механічних систем  
автоматизації в  
промисловості та на  
транспорті  
Вінницького нац.техн.ун-ту,  
kurochka\_vp@rambler.ru



Курочка Дмитро Петрович,  
студент каф. електро-  
механічних систем  
автоматизації в  
промисловості та на  
транспорті  
Вінницького нац.техн.ун-ту,  
v.i.p.dimak@gmail.com