

# АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТИПУ ТЯГОВОГО МОСТА НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ПАРАМЕТРИ МІСЬКИХ ЕЛЕКТРОБУСІВ ВЕЛИКОГО КЛАСУ

ТзОВ "Науково-технічний центр "Автополіпром"

## **Анотація**

*Розглянуті конструкції та конструктивні особливості тягових мостів сучасних міських електробусів. Запропонована класифікація тягових мостів міських електробусів за різними класифікаційними ознаками. Проаналізовані переваги і недоліки та вплив тягових мостів різних типів за конструкцією на основні конструктивні та експлуатаційні параметри.*

**Ключові слова:** міський електробус, тяговий міст, типи тягових мостів, класифікація тягових мостів, експлуатаційні параметри електробусів.

## **Abstract**

*Constructions and design features of traction bridges of modern city electric buses are considered. The classification of traction bridges of city electric buses according to different classification features is offered. The advantages and disadvantages and influence of traction bridges of different types on a design on the basic design and operational parameters are analyzed.*

**Keywords:** city electric bus, traction axle, types of traction axle, classification of traction axle, operational parameters of electric buses.

## **Вступ**

Електробуси з кожним роком набувають все ширшого застосування у системах міських перевезень пасажирів. Тому, уже не тільки всесвітньо відомі виробники міських автобусів, а й фірми, які не займалися їх виробництвом або й взагалі новоутворені, пропонують нові моделі електробусів, створені за власними проектами. Аналіз конструкцій сучасних моделей міських електробусів показує, що переважна їх більшість спроектована за класичною колісною формулою 4x2.2. Більше того, біля 80 % таких електробусів відноситься до великого та особливо великого класів за габаритною довжиною кузова, яка становить 11,9...12,5 м. Фактично, це модифікації міських автобусів, обладнаних електричним тяговим приводом (ЕТПр), кузови яких уніфіковані, щонайменше, на 85-90 %, тобто адаптовані для розміщення тягових мостів, комплектувальних виробів системи ЕТПр та автономних джерел електричної енергії (ДЕЕ). Проте, компанії, які раніше не займалися виробництвом міських автобусів і не стурбовані проблемою переоснащення виробництва, пропонують електробуси, спроектовані за іншою колісною формулою – 4x2.1 з одинарними колесами тягових мостів. У трансмісіях таких електробусів застосовуються мости інших типів, зокрема, з незалежною підвіскою одинарних коліс.

Зрозуміло, що застосування у тягових приводах міських електробусів мостів різних типів впливає на їх конструктивні (споряджена маса) та експлуатаційні (питома витрата електроенергії на перевезення одного пасажирів тощо) параметри.

## **Результати дослідження**

У електричних тягових приводах сучасних електробусів застосовуються тягові мости різних типів, які відрізняються конструктивно та принципово. Найбільшого поширення на нинішній час набули електромеханічні тягові мости порталного типу. Крім того, все ще застосовуються тягові мости балкового типу, а за останні роки деякими фірмами створені електробуси з тяговими мостами розрізного типу з незалежною підвіскою одинарних коліс. Принципова відмінність тягових мостів полягає у типах приводу їх коліс, який може бути механічним, електромеханічним або тільки електричним. У тягових мостах механічного типу обертовий момент від тягового електродвигуна (ТЕД), розміщеного окремо від моста, передається на тягові колеса через механічний редуктор головної передачі – одинарної одно- або двоступеневої або подвійної (рознесеної) з колісними редукторами. Головні передачі з

бортовими редукторами застосовуються у порталних мостах балкового типу. Такі мости застосовувалися у конструкціях електробусів I-го покоління. Згодом на основі класичних механічних порталних тягових мостів були створені електромеханічні мости, які відрізняються тим, що два ТЕД були інтегровані у конструкцію балки П-подібного типу і розміщені перед колісними редукторами. З появою високомоментних ТЕД електромеханічні тягові мости були виконані у варіанті без колісних редукторів, тобто стали електричними. Крім того, в механічних тягових мостах застосовується механічний диференціал, а у конструкціях мостів електромеханічного та електричного типів – електронний диференціал. Отже, основними класифікаційними ознаками тягових мостів міських електробусів являються тип їх підвіски до кузовів електробусів, кількість тягових коліс, кількість і розміщення ТЕД та наявність механічного редуктора. Класифікація тягових мостів сучасних міських електробусів (тролейбусів) за цими основними характерними ознаками наведена на рис. 1.

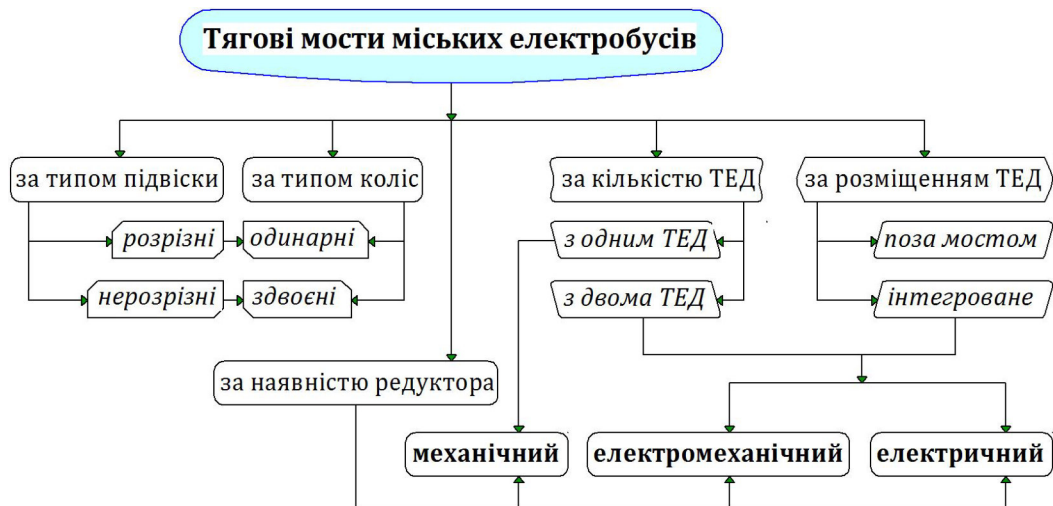


Рис. 1. Класифікація тягових мостів сучасних міських електробусів

Основні технічні параметри тягових мостів різних типів, які застосовуються у тягових приводах сучасних міських електробусів великого і особливо великого класів з допустимою повною масою 18000-19500 кг, наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Основні технічні параметри тягових та тягово-керованих мостів різних типів міських електробусів

	Тип тягового моста					
	механічний		електро-механічний	електричний		
Модель тягового моста	ZF A 132	ZF AV 133	IDS TJ 105-225	IDS TJ 105-225 HR	ZF AVE 130	ZAwheel v1.0
Фірма-виробник	ZF		BRIST Axle Systems S.r.l.		ZF	Ziehl-Abegg
Тип моста за підвіскою до кузова	нерозрізний		розрізний		нерозрізний	
Тип за конструкцією балки	балковий	портальний	-	-	портальний	
Допустима навантага, кН (кГс)	127,5 (13000)		103,0 (10500)		127,5 (13000)	
Передавальне число редуктора головної передачі/ колісного редуктора	3,54; 5,22	5,73; 6,19	5,29	8,92 або 6,0	22,66	-
Параметри тягових електродвигунів:						
- кількість, од.	-				2	
- пікова потужність, кВт ( об./хв.)	-				2x125 (10990)	2x120 (500)
- крутний момент на колесах, Н·м	-				2x11000	2x3700
Тип підвіски коліс	залежний		незалежний		залежний	
Параметри коліс:						
- тип	двоєні		одинарні		двоєні	двоєні
- типорозмір дисків	8,25x R22,5"		11,25x22,5"		8,25x22,5"	
- маса диска, кг	37,0		44,0		37,0	
- типорозмір шин	275/70R22.5		385/55 R22.5		275/70R22.5	
- маса шини, кг	51,0		75,0		51,0	
Маса моста з підвіскою без коліс, кг	689	973	574	650	1220	646

Наведені у табл. 1 моделі тягових мостів застосовуються у конструкціях електробусів, спроектованих за компоувальними схемами, які передбачають застосування колісних формул 4x2.2 (рис. 2а, 2г, 2д, 2ж та 2з) або 4x2.1 (рис. 2.б та 2в).

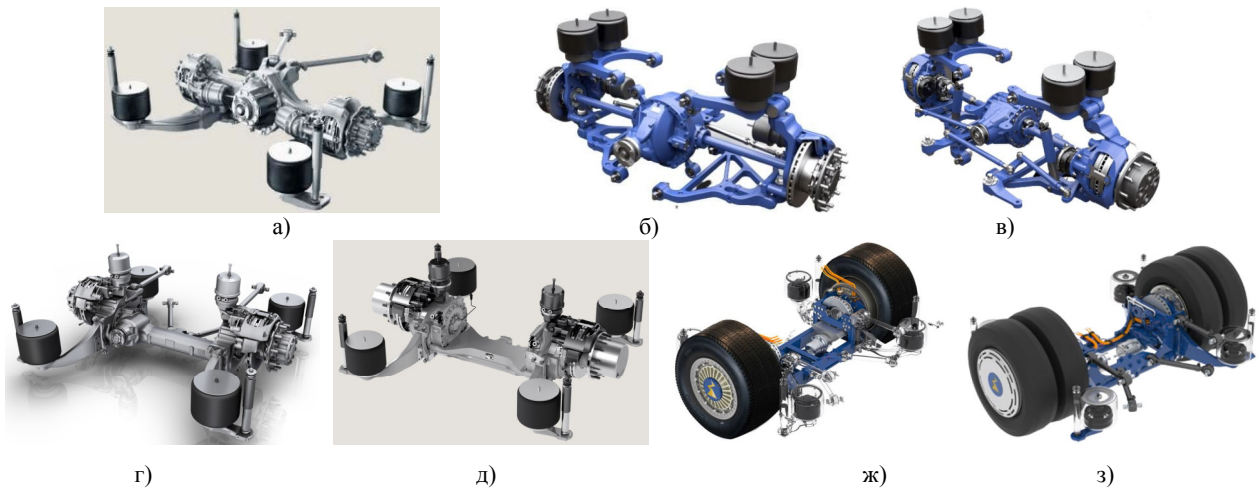


Рис. 2. Конструктивні особливості тягових мостів сучасних міських електробусів:  
а – моделі ZF A 132; б – моделі ZF AV 133; в – моделі IDS TJ 105-225; г – моделі IDS TJ 105-225 HR; г – моделі ZF AVE 130;  
ж – моделі ZAwheel v1.0 (з одинарними колесами); з – моделі ZAwheel v2.0

Конструктивні особливості тягових мостів міських електробусів мають безпосередній вплив на вибір конструктивних рішень, пов'язаних:

- з колісними формулами одинарних електробусів – 4x2.2 або 4x2.1;
- з компоувальними схемами кузовів електробусів за розміщенням керованого та тягового мостів і, відповідно, плануваннями пасажирських приміщень;
- з компоувальними схемами кузовів електробусів за кількістю, типом та розміщенням пасажирських дверей.

Окрім того, від типів тягових мостів у певній мірі залежать і конструктивні та експлуатаційні параметри електробусів, перш за все:

- маса електробусів у спорядженому або у порожньому стані;
- номінальна пасажиромістимість за однакової допустимої повної маси;
- питома витрата електроенергії на перевезення одного пасажирів;
- величина автономного пробігу за однакової допустимої повної маси;
- зручність пасажирообміну (посадки-висадки) пасажирів, зручність проходу по пасажирських салонах, орієнтація (розміщення) пасажирських сидінь тощо.

Загалом, усі ці параметри мають безпосередній вплив на один з найважливіших параметрів – економічну ефективність експлуатації міських електробусів, яка, щоправда, залежить і від багатьох інших факторів. Але, вплив конструктивних параметрів все ж має вирішальне значення.

З метою оцінки впливу типу тягових мостів міських електробусів проведені розрахункові дослідження з визначення:

- спорядженої та порожньої маси електробусів великого класу з кузовом найбільш поширеної довжини, прийнятої рівною 12,0 м;
- номінальної пасажиромістимості електробусів при однаковій допустимій повній масі, рівній 18000 кг;
- питомої витрати електроенергії на перевезення одного пасажирів при номінальній пасажиромістимості електробусів.

Визначення спорядженої маси міських електробусів проведено за методикою, наведеною у роботі [1], за виразом

$$M_{cn} = M_{k0} + m_{akb} + (m_{km} + 2m_{kkm}) + (m_{mm} + n_{kmm}m_{kmm}), \quad (1)$$

де  $M_{k0}$  – маса кузова електробуса без маси керованого і тягового мостів з колесами та маси тягових акумуляторних батарей (АКБ) і окремого (ТЕД), кг;  $m_{akb}$  – маса тягових АКБ, кг;  $m_{km}$  і  $m_{mm}$  – маса,

відповідно, керованого і тягового мостів без коліс, кг;  $m_{ккм}$  – маса одинарного колеса (диска і шини) керованого моста, кг;  $n_{ккм}$  кількість одинарних коліс тягового моста, од.;  $m_{ккм}$  – маса одинарного колеса (диска і шини) тягового моста, кг.

Розрахункову масу кузовів електробусів без керованого і тягового мостів, обладнаних колесами, та автономних НEE, пропонується визначати за виразом

$$M_{к0}^l = \Delta m_{к0}^l \times L_{к}, \quad (2)$$

де  $\Delta m_{к0}^l$  – питома маса 1-го погонного метра кузова електробуса без мас керованого і тягового мостів з колесами та автономних НEE, кг/м;  $L_{к}$  – довжина кузова електробуса, м.

Результати розрахунків з визначення маси міських електробусів у спорядженому стані з кузовами однакової довжини  $L_{к} = 12,0$  м та однакової ширини і висоти, обладнаних керованим мостом одного і того ж типу та тяговими мостами різних типів при прийнятій величинах  $\Delta m_{к0}^l = 850$  кг/м та  $m_{акб} = 2000$  кг наведені у табл. 2. Для розрахунків прийнятий керований міст моделі IFS TJС 58-225 з незалежною підвіскою коліс та допустимою навантагою 56,9 кН (5800 кгс), обладнаного колесами з дисками і шинами типорозмірів, відповідно, 8,25x R22,5 та 275/70R22.5.

Таблиця 2 – Параметри мас міських електробусів у залежності від типу тягового моста

	Тип тягового моста					
	механічний				електро-механічний	електричний
Модель тягового моста	ZF A 132	ZF AV 133	IDS TJ 105-225	IDS TJ 105-225 HR	ZF AVE 130	ZAwheel v1.0
Маса тягового моста з підвіскою без коліс, кг	689	973	574	650	1220	646
Маса коліс тягового моста, кг	352		238		352	
Маса тягового моста з підвіскою і колесами, кг	1041	1325	812	888	1572	998
Маса керованого моста моделі IFS TJС 58-225 без коліс, кг	469					
Маса коліс керованого моста, кг	176					
Маса керованого моста з підвіскою і колесами, кг	645					
Маса тягових АКБ, кг	2000					
Маса тягового електродвигуна*, кг	180				-	
Маса карданної передачі, кг	40		-			
Маса спорядженого кузова без маси мостів та тягових АКБ та ТЕД, кг	10200					
Споряджена маса електробуса, кг	14106	14390	13837	13913	14417	13843
Різниця споряджених мас, кг	-311	-27	-580	-504	0	-574
Примітка: *Тяговий електродвигун моделі SUMO MD HV2400-6P фірми "DANA TM4 INC." номінальною та піковою потужністю, відповідно, 120 кВт та 240 кВт.						

За результатами проведених розрахунків для застосування у конструкціях проєктованих перспективних міських електробусів можуть бути рекомендовані тягові мости моделей IDS TJ 105-225, IDS TJ 105-225 HR та "ZAwheel v1.0".

Номінальна пасажиромістимість електробусів при прийнятій однаковій величині допустимої повної маси, рівній 18000 кг, розрахована за виразом

$$N_{ном} = \frac{[M_n] - (M_{сн} + m_{вод})}{m_{пас}}, \quad (3)$$

де  $[M_n]$  – допустима повна маса електробуса, кг;  $M_{сн}$  – маса електробуса у спорядженому стані, кг;  $m_{вод}$  – маса водія, кг;  $m_{пас}$  – маса пасажера, кг.

Відповідно до вимог Правил ЄЕК ООН № 107 [2] прийняті наступні величини наведених вище параметрів:  $m_{вод} = 75$  кг;  $m_{пас} = 68$  кг. Допустима повна маса електробусів становить прийнята у двох варіантах: варіант № 1 –  $[M_n] = 18000$  кг, аналогічно допустимій повній масі двомостових автобусів

та тролейбусів, а також вантажних автомобілів; варіант № 2 – допустима повна маса електробусів  $[M_n] = 19500$  кг.

Розрахована номінальна пасажировмістимість електробусів у залежності від типу тягового моста при всіх інших однакових умовах та конструктивних параметрах наведена у табл. 3.

Таблиця 3 – Номінальна пасажировмістимість за параметрами мас міських електробусів у залежності від типу тягового моста

	Тип тягового моста					
	механічний				електро-механічний	електричний
Модель тягового моста	ZF A 132	ZF AV 133	IDS TJ 105-225	IDS TJ 105-225 HR	ZF AVE 130	ZAwheel v1.0
Допустима повна маса електробуса, кг	18000					
Допустима маса пасажирів, кг	3894	3610	4163	4087	3583	4157
Номінальна пасажировмістимість, чол.	57	53	61	60	53	61
Допустима повна маса електробуса, кг	19500					
Допустима маса пасажирів, кг	5394	5110	5663	5587	5083	5657
Номінальна пасажировмістимість, чол.	79	75	83	82	75	83

З аналізу табл. 3 номінальна пасажировмістимість міських електробусів, обладнаних механічними тяговими мостами з незалежною підвіскою коліс моделей IDS TJ 105-225, IDS TJ 105-225 HR або електричними порталними тяговими мостами моделі "ZAwheel v1.0" більша на 3...8 чол. у порівнянні з вмістимістю електробусів, обладнаних механічними нерозрізними балковими або електромеханічними порталними мостами.

Питома витрата електроенергії тягових АКБ при перевезенні пасажирів міськими електробусами визначається за виразом

$$\Delta w_{акб}^{mnl} = \frac{\Delta w_{акб}^{ml}}{N_{ном}}, \quad (4)$$

де  $\Delta w_{ml}$  – питома витрата електроенергії тягових АКБ при перевезенні пасажирів за масою та пробігом, кВт·год./кг·км;  $N_{ном}$  – номінальна пасажировмістимість електробуса, чол.

Для міських електробусів середня питома витрата електроенергії тяговими АКБ за експериментальними дослідженнями приймається рівною  $\Delta w_{ml} = 0,075$  кВт·год./кг·км при масі електробусів 18000 кг та  $\Delta w_{ml} = 0,086$  кВт·год./кг·км при повній масі 19500 кг.

Розрахункова питома витрата електроенергії тягових АКБ при перевезенні пасажирів електробусами, обладнаними тяговими мостами різних типів, наведена у табл. 4.

Таблиця 4 – Питома витрата електроенергії тяговими АКБ при перевезенні пасажирів міськими електробусами у залежності від типу тягового моста

	Тип тягового моста					
	механічний				електро-механічний	електричний
Модель тягового моста	ZF A 132	ZF AV 133	IDS TJ 105-225	IDS TJ 105-225 HR	ZF AVE 130	ZAwheel v1.0
Допустима повна маса електробуса, кг	18000					
Номінальна пасажировмістимість, чол.	57	53	61	60	53	61
Питома витрата електроенергії на перевезення пасажирів, кВт·год./кг·км·пас.	$1,32 \cdot 10^{-3}$	$1,42 \cdot 10^{-3}$	$1,23 \cdot 10^{-3}$	$1,25 \cdot 10^{-3}$	$1,42 \cdot 10^{-3}$	$1,23 \cdot 10^{-3}$
Допустима повна маса електробуса, кг	19500					
Номінальна пасажировмістимість, чол.	79	75	83	82	75	83
Питома витрата електроенергії на перевезення пасажирів, кВт·год./кг·км·пас.	$1,09 \cdot 10^{-3}$	$1,15 \cdot 10^{-3}$	$1,04 \cdot 10^{-3}$	$1,05 \cdot 10^{-3}$	$1,15 \cdot 10^{-3}$	$1,04 \cdot 10^{-3}$

Питома витрата електроенергії тягових АКБ на перевезення пасажирів міськими електробусами, обладнаними тяговими механічними розрізними мостами з одинарними колесами та електричними порталними мостами, менша на 5,3...13,4 % при допустимій повній масі 18000 кг та на 3,7...9,6 % при допустимій повній масі 19500 кг у порівнянні з електробусами, обладнаними механічними та електромеханічними нерозрізними мостами.

Тип тягового моста безпосередньо впливає на планування пасажирських салонів міських електробусів, завдяки:

- можливій компоновальній схемі за допустимою колісною формулою, від якої, у свою чергу, залежить розміщення керованого і тягового мостів по довжині кузова;
- питомій величині підлоги у пасажирському салоні з низьким рівнем, регламентованим вимогами Правил ЄЕК ООН № 107.

Зрозуміло, що тягові мости, обладнані здвоєними колесами, вимагають застосування колісної формули 4x2.2. Оскільки відношення допустимих навантаж на керований та тяговий мости при такій колісній формулі становить 1:2.24 (5800:13000 кгс), то проектування кузовів електробусів вимагає застосування великих переднього і заднього звисів. Тягові мости з незалежною підвіскою, обладнані одинарними колесами з широкопрофільними шинами, допускають не тільки застосування колісної формули 4x2.1, але й їх розміщення майже за передньою та перед задньою стінками кузова завдяки повороту коліс тягового-керованого моста на кути до 35° при великій довжині кузовів електробусів. Застосування таких тягових мостів забезпечує:

- низький рівень підлоги у всьому пасажирському салоні, тобто, проектування міських електробусів зі 100 % низьким рівнем підлоги;
- різні варіанти планування пасажирського салону з розміщенням пасажирських сидінь у два, три або чотири ряди за рахунок відсутності у ньому арок коліс керованого та тягового мостів;
- зручний прохід по пасажирському салону за рахунок відсутності вузьких ділянок між арками коліс керованого і тягового мостів;
- значно швидший та зручніший пасажирообмін на зупинках за рахунок близького доступу до подвійних пасажирських дверей.

### Висновки

Проведені розрахункові дослідження впливу типу та конструктивних особливостей тягових мостів міських електробусів дають підставу для наступних висновків:

- застосування у тягових приводах найбільш розповсюджених балкових порталних електромеханічних тягових мостів моделі ZF AVE 130 та аналогічних мостів інших виробників являється не доцільним для проектування нових перспективних моделей міських низькопідлогових електробусів;
- застосування порталних електромеханічних тягових мостів у трансмісіях міських електробусів обумовлене лише бажанням виробників міських автобусів виготовляти такі ж електробуси при мінімальних конструктивних змінах і капіталовкладеннях у технологічну підготовку їх виробництва;
- ефективність експлуатації електробусів з довжиною кузова 12,0±0,1 м являється економічно не вигідною для фірм-перевізників навіть за умови збільшення допустимої повної маси до 19500 кг;
- створення нових перспективних та конкурентоспроможних міських електробусів повинно базуватися на застосуванні розрізних тягових механічних або електромеханічних мостів з незалежною підвіскою одинарних коліс, які забезпечують планування пасажирських салонів без наявності у проходах арок коліс керованого і тягового мостів.

Ще одним перспективним типом тягових мостів для міських електробусів являються мости типу "De-Dion", обладнані двома інтегральними блоками у складі: ТЕД, проміжний одноступеневий редуктор з електронним диференціалом.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Войтків С. В. Визначення параметрів мас міських електробусів великого класу на етапі ескізного проектування. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту*. Матеріали ІХ-ої міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 14-15 квітня 2021 року: зб. наук. праць. Вінниця: ВНТУ, 2021. С. 59-64.
2. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження транспортних засобів категорій М2 та М3 стосовно їхньої загальної конструкції : Правила ЕЭК ООН № 107-02. [Чинний з 01.07.2009]. ООН, 2011.

**Войтків Станіслав Володимирович** – канд. техн. наук, Заслужений машинобудівник України, генеральний конструктор, ТзОВ "Науково-технічний центр "Автополіпром", м. Львів, e-mail: voytkivsv@ukr.net.

**Voytkiv Stanislav V.** – Cand. Sc. (Eng), The deserved machine engineer of Ukraine, general designer "Scientific and technical center "Autopoliprom", e-mail: voytkivsv@ukr.net.