

## АНАЛІЗ ПРОЕКТУ ІННОВАЦІЙНОГО ЗЧЛЕНОВАНОГО ДВОСЕКЦІЙНОГО ТРАМВАЙНОГО ПОТЯГА

ТзОВ "Науково-технічний центр "Автополіпром"

### Анотація

*Проведений порівняльний аналіз проекту двосекційного зчленованого трамвайного потяга, розробленого на основі інноваційної компоувальної схеми, яка передбачає застосування чотирьох одновісних колісних візків замість двох двовісних, та сучасних моделей трамвайних багатосекційних потягів. Наведена оцінка основних експлуатаційних параметрів вибраних моделей трамвайних потягів-аналогів та пропонованого проекту, зокрема, номінальної пасажиромістимості, спорядженої та повної конструктивної маси і навантаги на колісні візки та їх осі.*

**Ключові слова:** двосекційний трамвайний потяг, інноваційна компоувальна схема, номінальна пасажиромістимість, трамвайний колісний візок, навантага на колісний візок.

### Abstract

*A comparative analysis of the project of a two-section articulated tram train, developed on the basis of an innovative layout scheme, which involves the use of four single-axle wheeled carts instead of two two-axle ones, and modern models of multi-section tram trains was carried out. The evaluation of the main operating parameters of the selected models of analogue tram trains and the proposed project, in particular, the nominal passenger capacity, the equipped and total structural weight and the load on the wheeled carts and their axles, is given.*

**Keywords:** two-section tram train, innovative layout scheme, nominal passenger capacity, tram trolley, trolley load.

### Вступ

Трамвайний транспорт відноситься до одного з видів екологічно чистого міського транспорту громадського користування, тому доволі широко застосовується у багатьох країнах світу, зокрема, і у 22 вітчизняних містах. Довжина мереж трамвайних колій у цих містах становить понад 2000 км, а щорічний обсяг перевезень пасажирів сягає 3 млрд. пасажирів.

Проте, розвиток вітчизняного трамвайного транспорту, зокрема, оновлення його рухомого складу, з одного боку, відбувається вкрай повільно, а з іншого, у конструкціях нових моделей практично не застосовуються інноваційні рішення, що призводить до низької конкурентоспроможності вітчизняних трамвайних одинарних вагонів та зчленованих багатосекційних потягів.

На нинішній час дрібносерійним виробництвом трамвайних одинарних вагонів та багатосекційних потягів займаються два вітчизняних підприємства:

- спільне підприємство Електронтранс" (м. Львів), що входить до складу ПАТ "Концерн "Електрон", утворене у 2011 році, яке займається виробництвом повністю (100 %) низькопідлогових три- та п'ятисекційних трамвайних потягів моделей ТЗЛ44, ТЗВ44, ТЗЛ64 та ТЗВ64 [1];

- ТОВ "Татра-Юг" (м. Дніпро), утворене у 1993 році, яке займається виробництвом одинарних частково низькопідлогових (36 %) вагонів моделі К1М, двосекційних високопідлогових потягів моделі К1, трисекційних високопідлогових потягів моделі К1Е6 та трисекційних частково низькопідлогових і повністю низькопідлогових трамвайних потягів моделей, відповідно, К1М6 та К1Т [2].

Продукція цих підприємств не надто конкурентоспроможна навіть на внутрішньому ринку рухомого складу трамвайного транспорту. Тому, його подальший розвиток практично неможливий без розроблення і застосування інноваційних конструкторських рішень, здатних забезпечити новим перспективним моделям трамвайних зчленованих багатосекційних вагонів конкурентоспроможність не тільки на внутрішньому, але й на зовнішніх ринках європейських та інших країн.

### Результати дослідження

Розвиток конструкцій сучасних трамвайних вагонів та зчленованих багатосекційних потягів відбувається у кількох напрямках, пов'язаних з будовою вагонів і плануванням їх пасажирських салонів, з будовою окремих складових частин, зокрема, колісних візків, тягових електричних двигунів тощо, а

також застосуванням різних компоновальних схем за кількістю, типом і розміщенням колісних візків та пасажирських дверей. На нинішній час у ходовій частині практично всіх моделей трамвайних одинарних та зчленованих багатосекційних потягів застосовуються двовісні колісні поворотні або неповоротні візки. Лише у конструкції трамвайного зчленованого потяга моделі "Simens ULF" застосовані одновісні візки [3].

Одними із найбільш поширених являються трамвайні зчленовані дво- та трисекційні потяги, створені на основі використання дво- або трьох двовісних колісних візків. Габаритна довжина по кузовах сучасних двосекційних трамвайних потягів з двома колісними двовісними візками становить 18,1-20,4 м, а з трьома такими візками – 21,0-24,3 м.

Цікаво, що у наведений діапазон довжин двосекційних трамвайних потягів з двома колісними візками вкладається навіть трисекційні моделі ТЗЛ44 і ТЗВ44 виробництва СП "Електронтранс", довжина яких складає лише 19,5 м. Саме модель ТЗВ44 обрана в якості аналога за основними експлуатаційними параметрами – номінальною вмістимістю та спорядженою і повною масами.

Мета проекту – розроблення інноваційної компоновальної схеми зчленованого двосекційного трамвайного потяга з більшою номінальною вмістимістю при меншій габаритній довжині та, відповідно, меншій спорядженій масі.

Основні параметри трисекційного трамвайного потяга вітчизняного виробництва моделей ТЗЛ44 і ТЗВ44 з різною шириною кузовів та дво- і трисекційних потягів інших виробників наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Основні технічні параметри трамвайних дво- та трисекційних зчленованих потягів

| Модель трамвайного потяга               | KT4 [1]           | Vario FL2 [4]             | 82202 [5]               | T3L44 [1]               | T3B44 [6] | 03T [7]                      |
|---|-------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------|------------------------------|
| Виробник / країна                       | ČKD Tatra / Чехія | Skoda Elcttric / Чехія    | Stadler Rail/ Швейцарія | Електронтранс / Україна |           | Skoda Transportetion / Чехія |
| Рівень підлоги                          | високо-підлоговий | частково низькопідлоговий | низькопідлоговий        |                         |           |                              |
| Кількість секцій. од.                   | 2                 |                           |                         | 3                       |           |                              |
| Розмірні параметри, м:                  |                   |                           |                         |                         |           |                              |
| - довжина / ширина                      | 18,11 / 2,2       | 22,6 / 2.48               | 20,345 / 2,5            | 19,5 /2,3               | 19,5 /2,5 | 21,09/ 2,46                  |
| Кількість 2-вісних колісних візків, од. | 2                 | 3                         | 2                       |                         |           |                              |
| Кількість пасажирських дверей, од.      |                   |                           |                         |                         |           |                              |
| - одинарних / подвійних                 | - / 4             | - / 4                     |                         | 2 / 2                   |           |                              |
| Номінальна вмістимість, чол.:           | 122 / 175         | 232                       | 205                     | 160                     | 174       | 154 / 221                    |
| - кількість стоячих пасажирів при:      |                   |                           |                         |                         |           |                              |
| 5 чол./м <sup>2</sup>                   | 88                | -                         |                         |                         |           | 113                          |
| 8 чол./м <sup>2</sup>                   | 141               | 182                       | 174                     | 125                     | 133       | 180                          |
| - кількість одинарних сидінь, од.       | 34                | 50                        | 31                      | 35                      | 41        | 41                           |
| Параметри мас, кг:                      |                   |                           |                         |                         |           |                              |
| - споряджена маса                       | 33280             | 30000                     | 22400                   | 23800                   | 26390     | 24200                        |
| - повна конструктивна маса              | 53370             | 48240                     | 37750                   | 34700                   | 38300     | 39740                        |

Окрім габаритних розмірів – довжини і ширини по кузовах, ще одним визначальним параметром трамвайних багатосекційних потягів являється допустима повна маса, яка безпосередньо залежить від кількості одно- та двовісних колісних візків і визначається за виразом

$$[M_n] = \sum (n_{ov} + 2n_{dv}) \cdot \frac{[G_{ov}]}{g}, \quad (1)$$

де  $n_{ov}$  – кількість одновісних колісних візків, од.;  $n_{dv}$  – кількість двовісних колісних візків, од.;  $[G_{ov}]$  – допустима навантага на одну вісь колісного візка, Н;  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup> ( $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>).

Відповідно до вимог ДСТУ 4876 [8] допустима навантага на одну вісь двовісних трамвайних колісних візків становить 80,0 кН (8158 кгс). Отже, для трамвайних вагонів з двома двовісними колісними візками допустима повна маса становить  $[M_n] = 32630$  кг.

Проте, як показує аналіз параметрів мас сучасних низькопідлогових трамвайних багатосекційних зчленованих потягів, наведених у табл. 1, реальна навантага на одну колісну вісь двовісних візків становить 8175-9935 кгс, що на 1,0-21,8 % більше допустимої за ДСТУ 4876.

Допустима номінальна пасажировмістимість трамвайних вагонів з умови допустимої повної маси рівна

$$\left[ N_{ном}^m \right] = \frac{[M_n] - M_{cn} - m_{вод}}{m_{пас}}, \quad (2)$$

де  $M_{cn}$  – маса вагона у спорядженому стані, кг;  $m_{вод}$  – розрахункова маса водія трамвая;  $m_{пас}$  – розрахункова маса одного пасажирів, кг.

Для пасажирських колісних транспортних засобів громадського користування приймаються наступні величини мас водія і пасажирів –  $m_{вод} = 75$  кг;  $m_{пас} = 68$  кг.

З іншого боку, допустима номінальна пасажировмістимість трамвайних потягів обмежується також і площею їх пасажирських салонів, призначеною для розміщення сидінь та стоячих пасажирів

$$\left[ N_{ном}^s \right] = n_{oc} + S_{nc}^{cm} \cdot q_{cm}^s, \quad (3)$$

де  $n_{oc}$  – кількість одинарних сидінь, встановлених у пасажирському салоні, од;  $S_{nc}^{cm}$  – площа пасажирського салону, на якій можуть розміщатись стоячі пасажирів,  $m^2$ ;  $q_{cm}^s$  – питома норма стоячих пасажирів на  $1 m^2$  площі пасажирського салону, чол./ $m^2$ .

Максимальна допустима питома норма стоячих пасажирів у пасажирських салонах транспортних засобів громадського користування, зокрема, трамвайних вагонів та багатосекційних потягів, становить 8 чол./ $m^2$ .

Отже, для забезпечення максимально можливої номінальної пасажировмістимості проєктованих трамвайних багатосекційних потягів (у даному випадку, двосекційних) необхідною умовою являється рівність допустимих вмістимостей за повною масою та за площею пасажирського салону, тобто

$$N_{ном}^{max} \leq \left[ N_{ном}^m \right] = \left[ N_{ном}^s \right]. \quad (4)$$

Окрім того, номінальна пасажировмістимість транспортних засобів громадського користування залежить ще від багатьох чинників, зокрема, від кроку встановлення пасажирських сидінь, довжини їх горизонтальної проекції, кількості, розміщення та типу пасажирських дверей за кінематикою відчинення-зачинення тощо.

Компонувальна схема інноваційного двосекційного трамвайного потяга розроблена на основі концепції, яка передбачає застосування:

- чотирьох одновісних колісних поворотних візків замість двох двовісних поворотних з колесами діаметром 0,71 м;
- чотирьох подвійних пасажирських дверей поворотного типу (на трамвайному потязі моделі ТЗВ44 застосовано двоє одинарних та двоє подвійних дверей розсувного типу);
- пасажирських сидінь з величиною горизонтальної проекції 0,54 м та кроку їх розміщення 0,68 м.

Ширина кузова проєктованого перспективного трамвайного двосекційного потяга прийнята рівною 2,5 м.

Інноваційна компоновальна схема трамвайного двосекційного зчленованого потяга, розроблена на основі застосування чотирьох одновісних колісних візків, наведена на рис. 1.

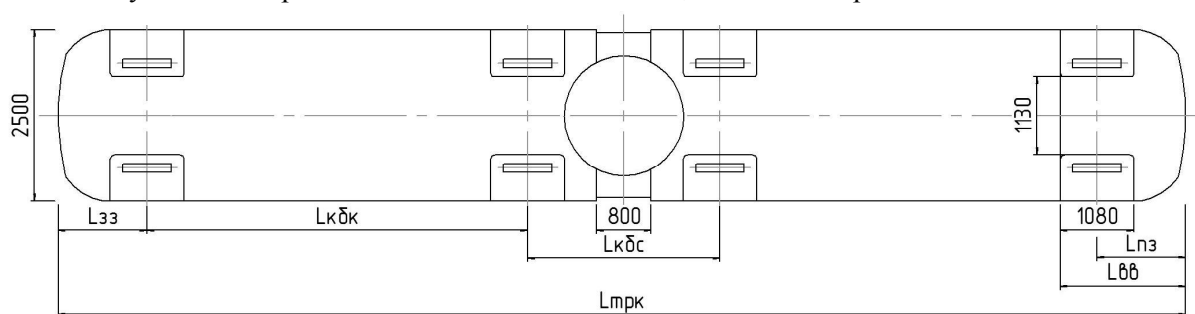


Рис. 1. Інноваційна компоновальна схема зчленованого двосекційного трамвайного потяга:

L33 і Lзз – відповідно, задній і передній звиси кузова;

Lкбк – колісна база крайніх візків; Lкбс – колісна база середніх візків; Lвв – довжина відділення водія

Довжина відділення водія у сучасних багатосекційних трамвайних потягів з входом із пасажирського приміщення становить  $L_{\text{вв}} = 1,77\text{--}2,43$  м, а з окремим входом –  $2,92\text{--}3,1$  м. Інші розмірні параметри пропонуваної інноваційної компоновальної схеми визначаються на основі розроблення ескізних планувань пасажирських салонів (рис. 1).

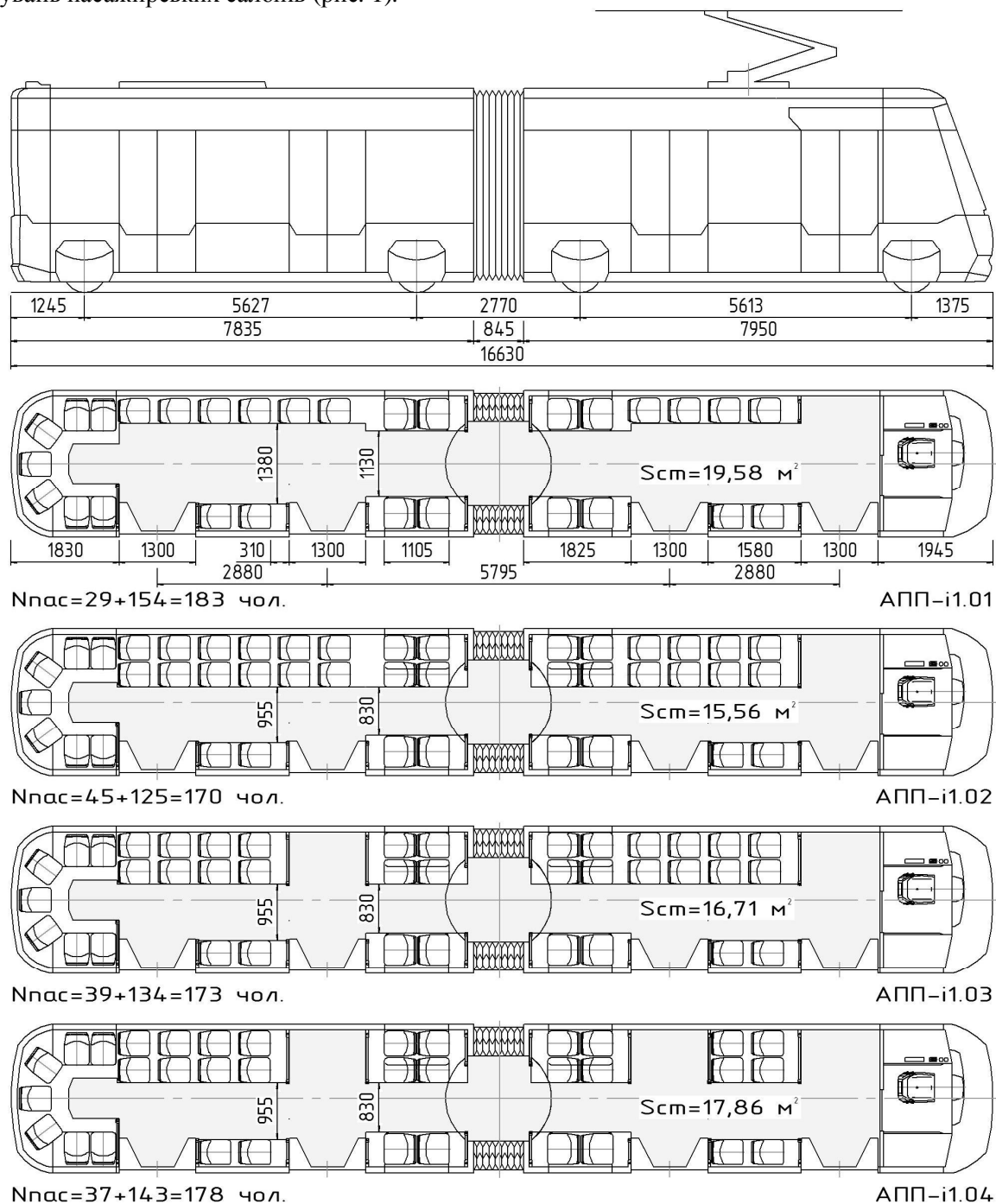


Рис. 2. Проект інноваційного двосекційного зчленованого трамвайного потяга та варіанти планування його пасажирського салону

Для аналізу проекту двосекційного трамвайного потяга, розробленого на основі застосування пропонуваної компоновальної схеми з чотирма одновісними колісними візками необхідне визначення маси потяга у спорядженому стані та повної конструктивної маси.

Маса потяга у спорядженому стані на етапі розроблення ескізних пропозицій визначається за виразом

$$M_{\text{cn}} = \Delta m_{\text{cn}}^I \cdot L_{\text{к}} + m_{\text{ос}} (n_{\text{ос}} - 29), \quad (5)$$

де  $\Delta m_{cn}^I$  – питома маса вагона за довжиною кузова, кг/м;  $L_k$  – довжина потяга по кузову, м;  $m_{oc}$  – маса одного одинарного пасажирського сидіння з системою кріплення, кг;  $n_{oc}$  – кількість одинарних сидінь, встановлених у пасажирському салоні потяга, од.; 29 – загальна кількість одинарних пасажирських сидінь у найлегшому варіанті потяга, од.

На основі рекомендацій, наведених у роботі [9], питома маса вагона за довжиною кузова приймається рівною 1320 кг/м. Маса одинарного сидіння з елементами кріплення приймається  $m_{oc} = 15$  кг.

Порожня маса проектного трамвайного двосекційного потяга становить

$$M_{пор} = m_{nac} \cdot N_{ном} + m_{вод}. \quad (6)$$

Повна конструктивна маса двосекційного трамвайного потяга визначається за виразом

$$M_n = M_{пор} + M_{nac}, \quad (7)$$

де  $M_{nac}$  – маса пасажирів, кг;

$$M_{nac} = (n_{oc} + q \cdot S_{cm}) m_{nac}. \quad (8)$$

Результати проведених розрахунків по визначенню параметрів мас та номінальної пасажировмістимості пропонованого проекту інноваційного двосекційного трамвайного потяга наведені у табл. 2.

Таблиця 2 – Розрахункові величини параметрів мас та пасажировмістимості інноваційного двосекційного трамвайного потяга проект АПП-і1 у різних варіантах планування пасажирського салону

| Проект трамвайного потяга                               | АПП-і1-01 | АПП-і1-02 | АПП-і1-03 | АПП-і1-04 |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Номінальна вмістимість, чол.:                           | 183       | 178       | 173       | 168       |
| - кількість одинарних сидінь, од.                       | 29        | 35        | 39        | 43        |
| - кількість стоячих пасажирів при 8 чол./м <sup>2</sup> | 154       | 143       | 134       | 125       |
| Параметри мас, кг:                                      |           |           |           |           |
| - маса пасажирів  | 12445     | 12105     | 11765     | 11425     |
| - споряджена маса                                       | 21950     | 22040     | 22100     | 22160     |
| - поржня маса   | 22025     | 22115     | 22185     | 22235     |
| - повна конструктивна маса                              | 34470     | 34220     | 33950     | 33660     |

Аналіз отриманих результатів показує, що повна конструктивна маса пропонованого проекту двосекційного зчленованого трамвайного потяга у всіх варіантах комплектації одинарними пасажирськими сидіннями вища за допустиму  $[M_n] = 32630$  кг, відповідно, на 1840-1030 кг. Тому, з умови забезпечення вимог виразу (4), розрахункова допустима пасажировмістимість за допустимою повною конструктивною масою інноваційного двосекційного трамвайного потяга проекту АПП-і1 наведена у табл. 3.

Таблиця 3 – Допустима пасажировмістимість інноваційного двосекційного трамвайного потяга проект АПП-і1 у різних варіантах планування пасажирського салону

| Проект трамвайного потяга                               | АПП-і1-01 | АПП-і1-02 | АПП-і1-03 | АПП-і1-04 |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Номінальна вмістимість, чол.:                           | 156       | 155       | 154       | 153       |
| - кількість одинарних сидінь, од.                       | 29        | 35        | 39        | 43        |
| - кількість стоячих пасажирів при 8 чол./м <sup>2</sup> | 127       | 120       | 115       | 110       |
| - питома норма стоячих пасажирів, чол./м <sup>2</sup>   | 6,49      | 6,72      | 6,88      | 7,07      |
| Повна конструктивна маса, кг                            | 32630     | 32655     | 32655     | 32640     |

Для оцінки розробленого двосекційного трамвайного потяга проекту АПП-і1 та сучасних моделей потягів-аналогів пропонується коефіцієнт експлуатаційної ефективності, який враховує їх основні визначальні параметри – номінальну пасажировмістимість, довжину потяга по кузовах та навантагу на одну вісь колісного візка

$$k_{еф} = \frac{10^3 N_{ном}}{L_k \cdot G_6}, \quad (9)$$

де  $G_6$  – навантагу на одновісний візок або на одну вісь двовісного колісного візка, кг.

Порівняльний аналіз розробленого проекту інноваційного двосекційного трамвайного потяга АПП-і1 та вибраних сучасних моделей-аналогів з однаковою шириною кузовів, рівною 2,5 м, – двосекційного "Stadler 82022" і трисекційного "Електрон ТЗВ44" за параметрами пасажиромістимості, параметрами мас, навантагами на одну вісь колісних візків, кількістю, типом пасажирських дверей та їх розміщенням у кузовах потягів наведений у табл. 4.

Таблиця 4 – Порівняльний аналіз основних експлуатаційних параметрів двосекційного трамвайного потяга проект АПП-і1 та багатосекційних потягів-аналогів сучасних моделей

| Проект трамвайного потяга                                  | Stadler 82022 | Електрон ТЗВ44 | АПП-і1-01   | АПП-і1-02 | АПП-і1-03 | АПП-і1-04 |
|--|---------------|----------------|-------------|-----------|-----------|-----------|
| Довжина / ширина по кузову, м                              | 20,345 / 2,5  | 19,5 / 2,5     | 16,63 / 2,5 |           |           |           |
| Кількість секцій. од.                                      | 2             | 3              | 2           |           |           |           |
| Кількість колісних візків, од.                             | 2             | 2              | 2           |           |           |           |
| Формула пасажирських дверей                                | 2+2-2+2       | 1-2+2-1        | 2+2-2+2     |           |           |           |
| Номінальна вмістимість, чол.:                              | 205           | 174            | 183         | 178       | 173       | 168       |
| - кількість одинарних сидінь, од.                          | 31            | 41             | 29          | 35        | 39        | 43        |
| Параметри мас, кг:   |               |                |             |           |           |           |
| - споряджена маса  | 22400         | 26390          | 21950       | 22040     | 22100     | 22160     |
| - повна конструктивна маса                                 | 37750         | 38300          | 34470       | 34220     | 33950     | 33660     |
| Навантага на вісь колісного візка, кГс                     | 9438          | 9575           | 8618        | 8555      | 8488      | 8415      |
| Перевищення навантаги на вісь відносно допустимої, кГс (%) | 1279 (15,7)   | 1417 (17,4)    | 460 (5,6)   | 397 (4,9) | 330 (4,0) | 257 (3,2) |
| Коефіцієнт експлуатаційної ефективності (9)                | 0,107         | 0,093          | 0,128       | 0,125     | 0,123     | 0,120     |

### Висновки

Двосекційний трамвайний потяг інноваційного проекту АПП-і1 за коефіцієнтом експлуатаційної ефективності переважає двосекційну модель "Stadler 82022" на 11,2-19,6 % та трисекційну модель "Електрон ТЗВ44" на 29,0-37,6 %. При меншій довжині кузова на 2,87 м трамвайний потяг проекту АПП-і1 практично адекватний за номінальною пасажиромістимістю з моделлю "Електрон ТЗВ44", навантага на одну вісь колісного візка якого до того ж більша на 957-1160 кГс (11,1-13,8 %).

Отже, пропонована інноваційна компоновальна схема являється перспективною і може бути рекомендованою для створення сучасних моделей конкурентоспроможних двосекційних зчленованих трамвайних потягів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Рухомий склад міського електричного транспорту. Механічна частина : навч. посібник / В. Х. Далека, М. В. Хворост, В. І. Скуріхін, Д. І. Скуріхін. Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 388 с.
2. TATRA-YUG. Вагони. URL: <https://tatra-yug.com.ua/category/produksiya/vagonyu/> (дата звернення 11.02.2024).
3. Tram System – ULF Vienna, Austria. 150 ultra low floor trams. URL: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:bab137c522d71edd55d4aafaf7e50f07656ba37a/ulf-brochure-en.pdf> (дата звернення 11.02.2024).
4. Pragoimex.cz - Produkty společnosti Pragoimex. Tramvaje, vlečné vozy, trakční motory, modernizace tramvají. - Tramvaj VarioLF2/ URL: <https://web.archive.org/web/20080508171805/http://www.pragoimex.cz/l.php?id=39> (дата звернення 13.02.2024).
5. [PDF] Общая презентация 822 и 853.cdr. URL: [www.mazbus.ru](http://www.mazbus.ru) > pdf > stadler > 822\_and\_853\_12 (дата звернення 13.02.2024).
6. Трамвай ТЗВ44 "ЭЛЕКТРОН" с низким уровнем пола для колеи шириной 1524/1435 мм. URL: <http://iat.org.ua/t3b44-elektron/> (дата звернення 11.02.2024).
7. 03T. TRÍČLANKOVÁ JEDNOSMĚRNÁ NIZKOPODLAŽNÍ TRAMVAJ.
8. ДСТУ 4876:2007. Вагони трамвайні пасажирські. Загальні технічні вимоги. [Чинний від 2007-11-21]. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 39 с.
9. Войтків С. В. Визначення параметрів мас трамвайних вагонів на етапі розроблення ескізних пропозицій. Матеріали ЛН наук.-техн. конф. підрозділів Вінницького Нац. техн. уні-ту (НТКП ВНТУ–2023) : зб. доп. Вінниця : ВНТУ, 2023. С. 2750-2754.

**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.