

Висновки:

1. Розроблено комп'ютерну програму для аналізу динаміки приводу виконавчих механізмів з урахуванням електромеханічних характеристик електродвигуна і механічних характеристик пружної нелінійної (лінійної) муфти.
2. Для усіх значень зведеного моменту інерції виконавчого механізму $J_2 = 0,01 - 0,05 - 0,1$ кгм² коефіцієнт динамічності кращий для нелінійної муфти.
3. З ростом моменту інерції виконавчого механізму коефіцієнт динамічності на періоді перехідного процесу зменшується.

Література

1. Вейц В.Л. Динамика управляемого электромеханического привода с асинхронными двигателями / В.Л. Вейц, П.Ф. Вербовой, А.Е. Кочура и др. – К. : Изд-во "Наук. думка", 1988. – 272 с.
2. Харченко С.В. Розрахунок динамічних процесів в електромеханічній привідній системі з пружною муфтою / С.В. Харченко, К.К. Колесник // Науковий вісник УкрДЛТУ : зб. наук.-техн. праць. – Львів : Вид-во УкрДЛТУ. – 2001. – Вип. 11.1. – С. 124-129.
3. Харченко С.В. Математичне моделювання гальмівних режимів роботи привідної системи пасажирського ліфта / С.В. Харченко, Б.В. Бондарчук // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2012. – Вип. 22.13. – С. 294-301.
4. Лютенко В.С. Математична модель для дослідження електромеханічних процесів у підйомниках для складання бурових вишок / В.С. Лютенко // Системи управління, навігації та зв'язку : зб. наук. праць. – 2013. – Вип. 1. – С. 59-64.
5. Чабан В.И. Основы теории переходных процессов электромашиных систем / В.И. Чабан. – Львов : Изд-во "Вища шк.", 1980. – 200 с.
6. Кравчик А.Э. Асинхронные двигатели серии 4А : справочник / А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Соболевская. – М. : Изд-во "Энергоиздат", 1982, 504 с.
7. Пасіка В.Р. Побудова скелетних кривих пружної муфти з ділянкою квазінульової або від'ємної жорсткості / В.Р. Пасіка, І.О. Романчук // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – Сер.: Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2013. – № 759. – С. 79-84.
8. Пасіка В.Р. Вимушені коливання пружної муфти з ділянкою квазінульової жорсткості / В.Р. Пасіка, І.О. Романчук // Вібрації в техніці та технологіях : Всеукр. наук.-техн. журнал. – Вінниця. – 2014. – № 4(76). – С. 24-33.
9. Харченко С.В. Розрахунок жорсткісних характеристик пружних втулково-пальцевих муфт / С.В. Харченко, К.К. Колесник // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – Сер.: Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні і приладобудуванні. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2000. – № 412. – С. 96-100.

Надійшла до редакції 05.10.2016 р.

Комаров С.М., Пасіка В.Р., Романчук І.А., Гембара Н.А. Исследование динамических характеристик муфты с участком квазиулевой жесткости с учетом характеристик электродвигателя

Исследованы динамические процессы в электромеханической двухмассовой системе привода технологических машин и влияния податливости упругой нелинейной муфты с участком квазиулевой жесткости на его динамику. Рассмотрена уточненная двухмассовая модель с учетом электрических параметров асинхронного электродвигателя. Разработана специализированная компьютерная программа, которая позволяет вводить и модифицировать параметры механической части, муфты и электродвигателя и интегрирует полученные дифференциальные уравнения методом Эйлера. Доказано, что исследуемая нелинейная муфта с участком квазиулевой жесткости эффективнее втулочно-пальцевой.

Ключевые слова: электромеханическая система, двухмассовая динамическая модель, упругая нелинейная муфта, коэффициент динамичности.

Komarov S.M., Pasika V.R., Romanchuk I.O., Hembara N.O. The Study of Dynamic Characteristics of Clutch with Quazi-Zero Stiffness Area Considering Electric Motor Characteristics

The study of dynamic processes in the electromechanical two-mass system of the drive of technological machines has been done as well as a study of the impact of nonlinear elastic clutch compliance with quasi-zero stiffness area on its dynamics. A revised two-mass model has been considered taking into account electrical parameters of asynchronous motor. Specialized computer software has been developed that allows you to input and modify the parameters of the mechanical parts, the clutch and the electric motor and integrates the received differential equations by Euler method. It has been proved that the studied nonlinear clutch with the quasi-linear stiffness area is more effective than a sleeve-finger one.

Keywords: electromechanical system, two-mass dynamic model, elastic nonlinear clutch, dynamic factor.

УДК 536.2.083

ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РІДИН

І.С. Васильківський¹, В.О. Фединець², Я.П. Юсик³

Розглянуто теоретичні основи побудови вимірювального перетворювача теплофізичних властивостей рідин у процесі ламінарної течії з використанням порівняльного методу вимірювання, що дасть змогу підвищити точність і спростити процес вимірювання, порівняно з відомими рішеннями. Наведено опис принципової схеми та значення конструктивних параметрів розробленого перетворювача теплофізичних властивостей рідин. Описано порядок проведення вимірювань та наведено розрахункові формули для визначення теплопровідності і температуропровідності рідин. Наведено результати експериментальних досліджень теплофізичних характеристик рідин з використанням розробленого перетворювача.

Ключові слова: теплофізичні властивості, температуропровідність, теплопровідність, тепловий опір, досліджувана та еталонна рідина, вимірювальний перетворювач.

Постановка проблеми. Потреба вимірювання теплофізичних характеристик рідин спричинена тим, що у процесі проведення наукових досліджень і перебігу технологічних процесів треба знати властивості технічно важливих рідин, оскільки досить часто такої інформації у довідковій літературі немає або значення параметрів наведено зі значною похибкою.

Більшість технологічних рідин – це дисперсні системи (суспензії, емульсії або рідинно-газові суміші), ефективні значення теплофізичних характеристик яких можна виміряти тільки під час їх перебігу. У стані спокою відбувається поділ технологічних рідин на їх компоненти. При цьому тверді частинки суспензій випадають в осад, емульсії розшаровуються, дрібні бульбашки газів виділяються з рідинно-газових сумішей [1, 2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останнім часом для вимірювання теплофізичних характеристик потоків технологічних рідин значного поширення набули т. зв. методи ламінарного режиму, які полягають у вимірюванні

¹ доц. І.С. Васильківський, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка";

² проф. В.О. Фединець, д-р техн. наук – НУ "Львівська політехніка";

³ доц. Я.П. Юсик, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка"

теплофізичних характеристик рідин під час їх ламінарного перебігу у трубках і капілярах [1, 2]. На основі цього методу розроблено вимірювальні пристрої, які реалізують цей метод вимірювання.

Одним із варіантів реалізації методу ламінарного режиму є устава, яку описано в [3, 4]. У цій уставі досліджувану рідину прокачують насосом через вимірювальну трубку, стінки якої обігрівають за допомогою електричних секційних нагрівачів.

Витрату досліджуваної рідини і щільність теплового потоку вимірюють на стінці вимірювальної трубки. На виході з вимірювальної трубки вимірюють температуру стінки і середньомасову температуру досліджуваної рідини або температуру рідини на осі трубки, і за цими значеннями розраховують коефіцієнти температуропровідності і теплопровідності.

До недоліків цієї устави треба віднести залежність шуканих величин (коефіцієнта температуропровідності і теплопровідності) від багатьох параметрів, що значно ускладнює процес вимірювання. Потрібно вимірювати витрату рідини, тангенс кута нахилу залежності зміни температури стінки по довжині вимірювальної трубки (температурний коефіцієнт). Крім цього, витрату рідини і температурний коефіцієнт потрібно підтримувати постійними, оскільки їх зміна знижує точність вимірювання.

Мета роботи – створити на базі розроблених методологічних підходів вимірювальний перетворювач теплофізичних характеристик рідин, який реалізує порівняльний спосіб вимірювання, що дасть змогу підвищити точність вимірювання теплофізичних властивостей рухомої рідини, а також, внаслідок спрощення вимірювальної схеми, значно підвищити надійність.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо вимірювальну трубку, через яку протікає досліджувана рідина і на стінки робочої ділянки якої діють тепловим потоком, що створюється, наприклад, електричним нагрівачем. При цьому температура стінки буде дорівнювати

$$t_c = t_n + K_x \cdot X, \quad (1)$$

де: t_c – температура стінки вимірювальної трубки; t_n – початкова температура стінки, яка в деяких випадках дорівнює температурі рідини t_0 на вході у вимірювальну трубку; K_x – температурний коефіцієнт, що дорівнює тангенсу кута нахилу залежності зміни температури стінки t_c по довжині вимірювальної трубки; X – довжина трубки.

Для цього випадку можна записати [3]:

$$a_x = 0,09375 \cdot \frac{K_x \cdot \bar{W}_x \cdot d_x^2}{\Delta t_x} \text{ або } a_x = 0,0573 \cdot \frac{K_x \cdot \bar{W}_x \cdot d_x^2}{\Delta \bar{t}_x}; \quad (2)$$

$$\lambda_x = 0,375 \cdot \frac{q_x \cdot d_x}{\Delta t_x} \text{ або } \lambda_x = 0,229 \cdot \frac{q_x \cdot d_x}{\Delta \bar{t}_x}, \quad (3)$$

де: a_x – температуропровідність досліджуваної рідини; λ_x – теплопровідність досліджуваної рідини; $\bar{W}_x = \frac{4 \cdot g_x}{\pi \cdot d_x^2}$ – середня швидкість течії досліджуваної рідини у вимірювальній трубці; g_x – витрата досліджуваної рідини; d_x – внутрішній

діаметр вимірювальної трубки; q_x – густина теплового потоку на стінці вимірювальної трубки; Δt_x – різниця між температурою досліджуваної рідини на осі вимірювальної трубки і температурою стінки; $\Delta \bar{t}_x$ – різниця між середньомасовою температурою досліджуваної рідини і температурою вимірювальної трубки.

Питомий тепловий потік на стінці теплообмінної ділянки вимірювальної трубки з досліджуваною рідиною визначають за формулою [3]

$$q_x = \frac{(\bar{t}_x - t_{0x}) \cdot C_x \cdot \rho_x \cdot g_x}{\pi \cdot l_x \cdot d_x}, \quad (4)$$

де: \bar{t}_x – середньомасова температура досліджуваної рідини на виході з вимірювальної трубки; t_{0x} – температура рідини на вході у вимірювальну трубку; C_x – питома теплоємність досліджуваної рідини; ρ_x – густина досліджуваної рідини; l_x – довжина теплообмінної ділянки вимірювальної трубки. Основними теплофізичними характеристиками технологічних рідин є температуропровідність, яка слугує мірою їх теплоінерційних властивостей і теплопровідність.

Пропонуємо за основу для розроблення вимірювального перетворювача цих теплофізичних характеристик взяти схему, яка містить у своєму складі дві однакові трубки постійного перетину. Досліджувану та еталонну рідини пропускають з однаковими витратами через трубки, причому температури рідин на входах у вимірювальні ділянки підтримують однаковими.

Під час вимірювання теплопровідності досліджуваної рідини на стінки трубок впливають тепловими потоками, густини яких підтримуються рівними між собою. Під час вимірювання температуропровідності досліджуваної рідини густини цих теплових потоків регулюють так, щоб у кінці вимірювальних трубок температури досліджуваної та еталонної рідин, виміряні на осях трубок, були рівними між собою.

Потім вимірюють різниці температур між осями і стінками вимірювальних трубок на виході, відповідно, для досліджуваної та еталонної рідин, і за відношенням виміряних різниць температур визначають шукану теплофізичну характеристику. Замість вказаних різниць температур можна вимірювати різниці між середньомасовою температурою кожної рідини і температурою стінки труби на виході. Запишемо рівняння (2) і (3) для еталонної рідини і розв'язавши обидві системи рівнянь, отримаємо:

$$a_x = a_e \cdot \frac{K_x \cdot \bar{W}_x \cdot d_x \cdot \Delta t_e}{K_e \cdot \bar{W}_e \cdot d_e \cdot \Delta t_x}, \quad a_x = a_e \cdot \frac{K_x \cdot \bar{W}_x \cdot d_x \cdot \Delta \bar{t}_e}{K_e \cdot \bar{W}_e \cdot d_e \cdot \Delta \bar{t}_x}; \quad (5)$$

$$\lambda_x = \lambda_e \cdot \frac{q_x \cdot d_x \cdot \Delta t_e}{q_e \cdot d_e \cdot \Delta t_x}, \quad \lambda_x = \lambda_e \cdot \frac{q_x \cdot d_x \cdot \Delta \bar{t}_e}{q_e \cdot d_e \cdot \Delta \bar{t}_x}, \quad (6)$$

де: a_e – температуропровідність еталонної рідини; λ_e – теплопровідність еталонної рідини; $\bar{W}_e = \frac{4 \cdot g_e}{\pi \cdot d_e^2}$ – середня швидкість течії еталонної рідини у вимірювальній трубці; g_e – витрата еталонної рідини; d_e – внутрішній діаметр вимірювальної трубки; q_e – густина теплового потоку на стінці вимірювальної трубки з еталонною рідиною; Δt_e – різниця між температурою еталонної рідини на осі

вимірювальної трубки і температурою стінки; $\Delta \bar{t}_e$ – різниця між середньомасовою температурою еталонної рідини і температурою вимірювальної трубки.

Досліджувану та еталонну рідини пропускають з рівними витратами через однакові вимірювальні трубки, тобто можемо записати:

$$\bar{W}_x = \bar{W}_e; d_x = d_e. \quad (7)$$

Крім цього, під час вимірювання теплопровідності досліджуваної рідини забезпечують однакові густини теплових потоків на стінках теплообмінних ділянок вимірювальних трубок ($q_x = q_e$), а під час вимірювання температуропровідності досліджуваної рідини – однакові температурні коефіцієнти ($K_x = K_e$).

На рисунку наведено принципову схему пристрою для реалізації запропонованого методу вимірювання теплофізичних характеристик рідин.

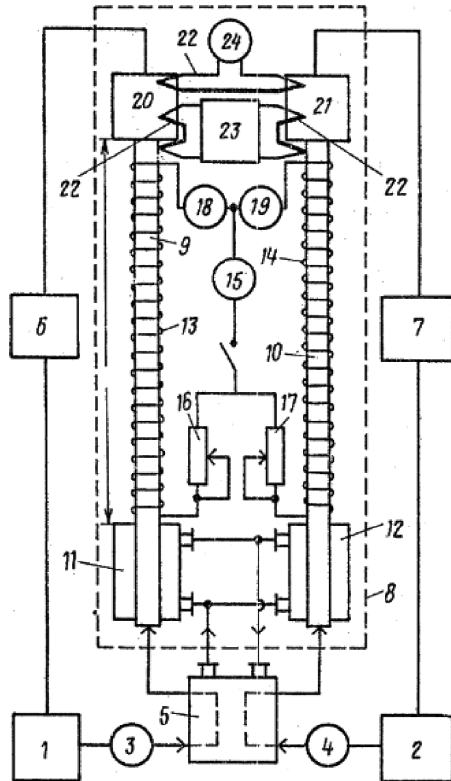


Рис. Принципова схема вимірювального перетворювача теплофізичних характеристик рідин

Пристрій складається з резервуарів 1 і 2, насосів 3 і 4, термостата 5, задавачів витрати 6 і 7 і вимірювального пристрою 8, який має дві трубки 9 і 10, на яких встановлено водяні сорочки 11 і 12. У коло джерела струму 15 під'єднано паралельно нагрівачі 13 і 14, потужності яких регулюються з допомогою реостатів 16 і 17 і контролюються амперметрами 18 і 19. Вимірювачі 20 і 21 се-

редньомасової температури і термопари 22 під'єднано до вимірювача співвідношення 23 і нуля-індикатора 24, відповідно.

Вимірювання виконують так. Досліджувану та еталонну рідини, відповідно – із ємностей 1 і 2, прокачують насосами 3 і 4 через термостат 5, де вони підігріваються до певної температури. Потім досліджувану та еталонну рідини пропускають через вимірювальний пристрій 8, відповідно через вимірювальні ділянки трубок 9 і 10. При цьому витрати досліджуваної та еталонної рідин підтримують однаковими за допомогою задавачів витрати 6 і 7, відповідно. Ізотермічні ділянки вимірювальних трубок 9 і 10, створювані водяними сорочками 11 і 12, слугують для отримання усталеного режиму з параболічним профілем швидкості для обох рідин. Вплив тепловими потоками на стінки робочих ділянок вимірювальних трубок 9 і 10 здійснюють, відповідно, за допомогою електричних нагрівачів 13 і 14, що мають однакові електричні та геометричні характеристики.

Теплові потужності, що виділяються нагрівачами 13 і 14, регулюють відповідно за допомогою реостатів 16 і 17 доти, поки на виході вимірювальних трубок 9 і 10 середньомасові температури рідин, виміряні термопарами 22, не будуть рівні між собою. Рівність цих температур контролюють нуля-індикатором 24. На виходах вимірювальних ділянок трубок 9 і 10 різниці температур між температурами досліджуваної та еталонної рідин на осях цих трубок або середньомасовими температурами рідин і температурою стінок вимірюють за допомогою термопар 22, встановлених на стінках вимірювальних трубок 9 і 10 і вимірювачів 20 і 21 середньомасової температури. Сигнали з термопар 22 подають на вимірювач співвідношення 23, який реалізує операцію ділення вимірних різниць температур, внаслідок чого отримують шукану величину.

За одержання розрахункових співвідношень використано той факт, що на вимірювальній ділянці трубки розподіл температур по стінці підпорядковується лінійному закону. Виконання рівності тангенсів кутів нахилів цих лінійних залежностей для двох вимірювальних ділянок забезпечується рівністю середньомасових температур еталонної та досліджуваної рідин на входах і виходах вимірювальних ділянок. Для реалізації умови $q_x = q_e$ підтримують рівними електричні струми в обмотках нагрівачів.

Розрахункові формули мають вигляд:

$$a_x = a_e \cdot \frac{\Delta t'_e}{\Delta t'_x}, a_x = a_e \cdot \frac{\Delta t''_e}{\Delta t''_x}; \quad (8)$$

$$\lambda_x = \lambda_e \cdot \frac{\Delta t'_e}{\Delta t'_x}, \lambda_x = \lambda_e \cdot \frac{\Delta t''_e}{\Delta t''_x}; \quad (9)$$

де: Δt – різниця температур рідини на осі трубки і температури стінки на виході з вимірювальної ділянки; $\Delta \bar{t}$ – різниця середньомасової температури рідини і температури стінки на виході вимірювальної ділянки; ' – індекс, який вказує на належність величини до випадку вимірювання температуропровідності; '' – те ж, для випадку вимірювання теплопровідності; x – індекс, який вказує на належність величини досліджуваній рідині; e – те ж, для еталонної рідини.

Під час реалізації способу вимірювальними трубками є дві однакові мідні трубки із внутрішнім діаметром $d = 4$ мм і зовнішнім діаметром $d_0 = 6$ мм. Довжини ізотермічних ділянок, що інтенсивно омиваються теплоносієм постійної температури (наприклад, водою за 20 °С), для обох трубок дорівнюють 200 мм. Довжини ділянок дорівнюють 1000 мм. На них розміщені нагрівачі, намотані з ніхромового дроту діаметром $0,8$ мм з кроком $1,0-1,6$ мм. Нагрівачі теплоізовані від навколишнього середовища шаром скловолокна.

Як еталонну рідину використовують толуол, теплофізичні характеристики якого вивчено досить точно. За допомогою розробленого перетворювача вимірювання теплофізичні характеристики води та бензолу. Отримані результати добре узгоджуються з відомими даними. Згідно з отриманими даними, похибка вимірювань не перевищує $2-3$ %.

Висновки. Підвищення точності досягається скороченням числа вимірюваних величин за рахунок відносних вимірювань. При цьому, порівняно з абсолютним способом вимірювання, виключається не тільки вимірювання витрати рідини та діаметра трубки, але і тангенса кута нахилу температурної залежності температури стінки по довжини вимірювальної трубки, що було джерелом значної похибки.

Література

1. Пономарев С.В. Методы и устройства для измерения эффективных теплофизических характеристик потоков технологических жидкостей / С.В. Пономарев, С.В. Мищенко. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 1997. – 249 с.
2. Пономарев С.В. Теоретические и практические аспекты теплофизических измерений : монография / С.В. Пономарев, С.В. Мищенко, А.Г. Дивин. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та. – 2006. – Кн. 2. – 216 с.
3. Пономарев С.В. Теоретические и практические основы теплофизических измерений : монография / С.В. Пономарев, С.В. Мищенко, А.Г. Дивин, В.А. Вертоградский, А.А. Чуриков; под ред. С.В. Пономарева. – М. : Изд-во ФИЗМАТЛит, 2008. – 408 с.
4. Авторское свидетельство 560172 СССР, МКИ G 01 N 25/18. Способ определения теплофизических свойств движущейся жидкости / В.В. Власов, М.В. Кулаков, С.В. Пономарев, А.В. Трофимов, С.В. Мищенко. (СССР), № 2010346/25; заявл. 01.04.74; опубл. 30.05.77, Бюл. № 20.

Васильківський І.С., Фединець В.А., Юськ Я.П. Измерительный преобразователь теплофизических свойств жидкостей

Рассмотрены теоретические основы построения измерительного преобразователя теплофизических свойств жидкостей в процессе ламинарного течения с использованием сравнительного метода измерения, что позволит повысить точность и упростит процесс измерения по сравнению с известными решениями. Приведено описание принципиальной схемы и значение конструктивных параметров разработанного преобразователя теплофизических свойств жидкостей. Описан порядок проведения измерений и приведены расчетные формулы для определения теплопроводности и температуропроводности жидкостей. Приведены результаты экспериментальных исследований теплофизических характеристик жидкостей с использованием разработанного преобразователя.

Ключевые слова: теплофизические свойства, температуропроводность, теплопроводность, тепловое сопротивление, исследуемая и эталонная жидкость, измерительный преобразователь.

Vasylykivskiy I.S., Fedynets V.O., Yusyuk Ya.P. Measuring Transducer of Thermophysical Properties of Liquids

The article provides the theoretical bases of construction of the measuring transducer of thermophysical properties of liquids in laminar flow using the comparative method of measurement that will help improve accuracy and simplify the measurement process compared to the known solutions. The article describes basic configuration and design value of the developed transducer of thermophysical properties of liquids. The article shows the measurement procedure and provides formulas to determine the thermal conductivity and diffusivity of liquids. The results of experimental studies of thermal characteristics of liquids using the developed transducer have been provided.

Keywords: thermophysical properties, thermal diffusivity, thermal conductivity, thermal resistance, studied and calibration liquid, measuring transducer.

УДК 656.22

МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТОЕТАПНОЇ СИСТЕМИ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

В.С. Джус¹, А.Р. Мілянч², І.М. Гончар³, О.В. Джус⁴

Надання сучасних послуг з перевезення пасажирів здебільшого зумовлює потребу розглядати питання таких перевезень різними видами транспорту в комплексі. При цьому намагаються досягнути спільної мети – якісного обслуговування пасажирів. Крім цього, організація роботи з планування таких перевезень передбачає можливість зменшення експлуатаційних витрат. Одним з важливих етапів вирішення проблеми надання якісних транспортних послуг є розроблення математичної моделі багатоетапної системи перевезень різними видами транспорту з урахуванням основних положень транспортної логістики.

Ключові слова: транспортний засіб, перевезення, математична модель, швидкість, безпека, собівартість, очікування, багатоетапна система.

Вступ. Забезпечення ефективної взаємодії між різними транспортними засобами для перевезення пасажирів потребує пошуку ефективних технологій планування не тільки оптимального розкладу руху залізничного транспорту, але й узгоджувати його з маршрутами і розкладом руху міських перевізників. Така організація роботи (планування), яка передбачає можливість зменшення експлуатаційних витрат у залізничних пасажирських перевезеннях, дасть змогу збільшити їх дохідну частину.

Аналіз досліджень. Дослідження у царині організації транспортних перевезень здебільшого відокремлено і незалежно розглядають питання перевезення пасажирів залізничним, автомобільним та міським комунальним транспортом. Зовсім відокремлено або поверхнево аналізують питання міських автомобільних перевезень, наземного і підземного електротранспорту, хоча всі ці способи і засоби перевезень переслідують тільки одну мету – швидке, безпечне, дешеве і комфортне обслуговування пасажирів. Кожен із названих засобів пасажирських перевезень дбає виключно про свої корпоративні інтереси, які зумовлені однаковими для всіх них критеріями: мінімальні витрати на експлуатацію транспортних засобів; зростання пасажиропотоку; отримання максимального прибутку.

¹ доц. В.С. Джус, канд. техн. наук;

² ст. викл. А.Р. Мілянч, канд. техн. наук – Львівська філія Дніпропетровського НУ залізничного транспорту;

³ доц. І.М. Гончар, канд. техн. наук – НЛТУ України, м. Львів;

⁴ зав. лаб., ст. судовий експерт О.В. Джус – Львівський НДІ судових експерти