

О. Ф. КУЗЬКІН

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри «Транспортні технології»
Національний університет «Запорізька політехніка»
ORCID: 0000-0002-3160-1285

І. М. РАЙДА

старший викладач кафедри «Транспортні технології»
Національний університет «Запорізька політехніка»
ORCID: 0000-0003-3925-4692

В. Е. ТРУШЕВСЬКИЙ

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри «Транспортні технології»
Національний університет «Запорізька політехніка»
ORCID: 0000-0002-5966-259X

СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ КОНТАКТІВ ПАСАЖИРІВ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ НА МІСЬКИХ МАРШРУТАХ

Під час спалаху світової пандемії коронавірусу COVID-19, міський масовий пасажирський транспорт розглядався одним із чинників, що сприяли поширенню інфекції серед населення міст. Переміщуючись у обмеженому просторі та об'ємі салону громадського транспорту, пасажирів контактують один з одним безпосередньо, або опосередковано, через контактні поверхні елементів салону, що створює сприятливі умови для передачі захворювання від хворої до здорової людини. Намагаючись зменшити ризики захворювання пасажирів, місцеві органи влади та транспортні оператори запроваджували різноманітні обмеження щодо доступу пасажирів до послуг громадського транспорту – від обмеження максимальної кількості пасажирів у салоні до повного припинення обслуговування пасажирів на окремих міських маршрутах. Однак, ефективність цих заходів та їх вплив на поширення інфекції залишається не з'ясованою.

Стаття присвячена статистичному аналізу показників контактів пасажирів між собою під час користування послугами міського громадського транспорту з метою їх кількісної оцінки для використання у моделях ризиків захворювання пасажирів та імовірнісних моделях поширення інфекції, а також обґрунтування ефективності запровадження організаційно-технологічних заходів щодо користування громадським транспортом під час пандемії та епідемії. На підставі результатів обстеження пасажирських потоків на чотирьох автобусних маршрутах міста Запоріжжя з рухомих складом різної пасажиромісткості, виконаних табличним методом, та моделювання на їх основі рейсової матриці міжзупинкових пасажирських кореспонденцій встановлено статистичні закономірності залежності кількості контактів пасажирів між собою та середньої кількості контактів одного пасажирів під час поїздки від обсягу перевезень на маршрутах за рейс. Встановлено, що випадкова величина середньої кількості контактів пасажирів, віднесена до пасажиромісткості рухомого складу, задовільно описується законом гамма-розподілу, отримані основні статистики і параметри гамма-розподілу цієї випадкової величини.

Ключові слова: громадський транспорт, контакти пасажирів, інфекційні захворювання, статистичний аналіз.

O. F. KUZKIN

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor at the Department of Transport Technologies
National University Zaporizhzhia Polytechnic
ORCID: 0000-0002-3160-1285

I. M. RAIDA

Senior Lecturer at the Department of Transport Technologies
National University Zaporizhzhia Polytechnic
ORCID: 0000-0003-3925-4692

V. E. TRUSHEVSKYI

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Transport Technologies
National University Zaporizhzhia Polytechnic
ORCID: 0000-0002-5966-259X

STATISTICAL ANALYSIS OF PUBLIC TRANSPORT PASSENGER CONTACTS ON URBAN ROUTES

During the outbreak of the global COVID-19 coronavirus pandemic, urban mass passenger transport was considered one of the factors contributing to the spread of infection among the urban population. Moving in the limited space and volume of public transport cabins, passengers come into contact with each other directly or indirectly through the contact surfaces of cabin elements, which creates favorable conditions for the transmission of the disease from a sick person to a healthy person. In an attempt to reduce the risk of passenger disease, local authorities and transport operators have introduced various restrictions on passenger access to public transport services – from limiting the maximum number of passengers in the cabin to completely stopping passenger services on certain city routes. However, the effectiveness of these measures and their impact on the spread of infection remains unclear.

The article is devoted to the statistical analysis of the indicators of passenger contacts among themselves while using the services of urban public transport in order to quantify them for use in passenger disease risk models and probabilistic models of the spread of infections, as well as to substantiate the effectiveness of the introduction of organizational and technological measures for the use of public transport during pandemics and epidemics. Based on the results of the survey of passenger flows on four bus routes of the city of Zaporizhzhia with rolling stock of different passenger capacity, performed by the tabular method, and modeling on their basis the route matrix of inter-stop passenger correspondences, statistical patterns of the dependence of the number of passenger contacts among themselves and the average number of contacts of one passenger during the trip on the volume of transportation on the routes per trip were established. It was established that the random variable of the average number of passenger contacts, attributed to the passenger capacity of the rolling stock, is satisfactorily described by the gamma distribution law, the main statistics and parameters of the gamma distribution of this random variable were obtained.

Key words: public transport, passenger contacts, infectious diseases, statistical analysis.

Постановка проблеми

Розгалужена мережа міського пасажирського транспорту є невід’ємною частиною будь-якого великого міста. Роль міського пасажирського транспорту, який забезпечує належний рівень мобільності його мешканців, зростає зі зростанням чисельності населення та площі міста, разом з цим зростає складність задач з планування, організації та управління ним. Складність таких задач значно підвищується у разі настання надзвичайних ситуацій, до яких можна віднести і виникнення епідемій і пандемій.

В умовах постійної епідемічної загрози перед організаторами регулярних пасажирських перевезень постає проблема вирішення низки особливих та нетривіальних задач: від необхідності організації підготовки рухомого складу до перевезень, яка повинна включати його санітарну обробку, до запровадження управлінських дій щодо процесу організації перевезень з метою зниження ризику поширення інфекцій та зараження пасажирів під час користування громадським транспортом.

Виходячи з рекомендації закладів та організацій охорони здоров’я, з метою зниження ризику захворювання та розповсюдження інфекцій під час епідемій та пандемій бажано уникати будь-яких великих скупчень людей. У цьому контексті масовий міський громадський транспорт, технологія роботи якого полягає у переміщенні великої кількості людей в обмеженому за площею та об’ємом рухомому складі, може розглядатися як потенційно небезпечне середовище для людини.

З метою зниження потенційних ризиків захворювання та поширення інфекції серед користувачів громадського транспорту під час останнього спалаху пандемії коронавірусу Covid-19 у різних країнах світу на різних рівнях – від державного до рівня транспортних операторів, було застосовано низку управлінських рішень щодо запровадження контролю та обмеження рівня наповнення пасажирського рухомого складу [1-3], закриття окремих маршрутів [2], застосування технічних пристроїв з недопущення до користування громадським транспортом особам з симптомами захворювання [4]. Кожен з цих заходів пов’язаний з певними, іноді значними, економічними втратами – як прямими, пов’язаними з запровадженням та експлуатацією технічних пристроїв та зниженням провізної здатності пасажирського рухомого складу, так і опосередкованими, пов’язаними з наслідками зниження рівня мобільності населення та можливого переключення потенційних пасажирів на використання засобів індивідуального моторизованого транспорту. Втім, на даний час, ступінь впливу подібних заходів на темпи поширення інфекцій та ризик захворювання користувачів громадського транспорту під час пандемій залишається до кінця не з’ясованою.

Під час користування масовим міським громадським транспортом пасажир контактує один з одним, що створює умови для розповсюдження інфекцій, механізм передавання яких від хворої до здорової людини є аерогенним (зокрема, повітряно-крапельним) або контактним (як при безпосередньому контакті пасажирів один з одним, так і опосередковано через контактні поверхні салону пасажирського рухомого складу – двері, поручні, ручки тощо).

Таким чином можна висловити припущення, що одним з факторів, що визначають ступінь поширення інфекцій та ризику захворювання пасажирів громадського транспорту, є кількість контактів пасажирів між собою під час здійснення поїздки. У даній роботі досліджено закономірності змінювання величини кількості контактів пасажирів громадського транспорту під час поїздок від техніко-експлуатаційних та результативних показників міських маршрутів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Світова пандемія коронавірусу Covid-19, яка за відносно короткий термін, забрала життя більше 7 мільйонів мешканців планети Земля [5], змінила ставлення до управління міським масовим громадським транспортом в умовах кризових ситуацій. Особи, дотичні до процесів організації та управління такою складною системою, як міський пасажирський транспорт – рядові інженери, керівники транспортних підрозділів, транспортні оператори, представники місцевих органів влади та спільнота науковців, – повинні бути готовими до швидкого та обґрунтованого прийняття управлінських рішень у випадку виникнення подібних до епідемії коронавірусу ситуаціях. При цьому такі рішення мають бути зваженими та ефективними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, бурхливе зростання кількості яких відбулось через останню пандемію коронавірусу Covid-19, свідчить, що роль міського масового громадського транспорту (ГТ) у розповсюдженні інфекції на урбанізованій території досі залишається невизначеною. Більшість дослідників визначають ГТ як один важливих факторів, що сприяє поширенню інфекції серед населення [2, 6, 7]. Однак, на думку деяких дослідників, ГТ не є ключовим фактором у розповсюдженні інфекції [8], або взагалі сприяє зменшенню їх поширення [9].

Більшість науковців у своїх дослідженнях використовують в якості фактору, що кількісно визначає ризик поширення інфекції між пасажиром ГТ та ступінь ризику захворювання пасажиром, кількість контактів пасажирів між собою під час поїздки [2–4, 7, 8]. Зростання кількості таких контактів збільшує потенційний ризик захворювання пасажирів, що є цілком логічним. Отримання фактичних даних про кількість контактів пасажирів під час користування ГТ у містах є доволі трудомісткою задачею, пов'язаною під час пандемій з ризиками захворювання і самих дослідників, тому у попередніх дослідженнях науковців здебільшого використовувались історичні дані автоматизованих систем обліку пасажирів та збирання оплати за проїзд. На підставі цих даних виконувалось моделювання пасажирських кореспонденцій, формування та дослідження мереж контактів пасажирів ГТ [2, 3, 7, 10].

Практичні працівники ГТ у своїй повсякденній професійній діяльності оперують не медичними чи епідеміологічними категоріями, а виробленими та перевіреними часом науково обґрунтованими підходами та методиками транспортної галузі. З цієї точки зору потребують дослідження статистичні закономірності величини кількості контактів пасажирів між собою як фактору ризику поширення інфекційних захворювань під час епідемій та пандемій.

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є статистичний аналіз величини кількості контактів пасажирів між собою під час користування міським ГТ на рівні окремих рейсів міського масового маршрутного транспорту загального користування.

Викладення основного матеріалу дослідження

Для цілей даного дослідження будемо вважати, що два пасажири під час поїздки громадським транспортом мали між собою контакт у разі, якщо вони одночасно перебували у салоні транспортного засобу під час виконання останнім рейсу на окремому міському маршруті. При цьому місцями фактичного розташування пасажирів у салоні та величиною фізичної відстані між ними знехтуємо. Таке припущення є цілком прийнятним, оскільки замкнений внутрішній простір салону автобуса та велика кількість його контактних поверхонь є сприятливими умовами для інфекцій, які розповсюджуються повітряно-крапельним або контактним шляхом.

Контактом пари пасажирів будемо називати подію, яка полягає у тому, що ці два пасажири одночасно перебували у салоні під час поїздки. Кількість контактів усіх пар пасажирів, які фактично скористалися маршрутним транспортним засобом за рейс позначимо як k . Кількість контактів окремого пасажиром визначимо як загальну кількість пасажирів, з якими цей пасажир мав контакт під час здійснення поїздки від зупинки посадки до зупинки виходу.

Розглянемо рейс пасажирського транспортного засобу (ТЗ) на маршруті ГТ, що складається з зупинок, пронумерованих порядковими числами $1, 2, \dots, N$. Нехай нам відома кількість пасажирів, що увійшли до салону ТЗ a_i ($i = \overline{1, N}$) та вийшли з нього b_j ($j = \overline{1, N}$) на кожній зупинці маршруту, при цьому, очевидно, $a_N = b_0 = 0$ та $\sum_{i=1}^N a_i = \sum_{j=1}^N b_j = Q$, де Q – обсяг перевезень пасажирів за рейс. Така інформація може бути отримана за даними систем автоматизованого продажу квитків або на підставі натурних обстежень безпосередньо у салоні ТЗ або на зупинках ГТ. Пасажир, який увійшов до ТЗ на зупинці $m \in [0, N-1]$ та вийшов з ТЗ на зупинці $(n \in [1, N], n > m)$ під час поїздки мав контакти з усіма пасажирами, які увійшли до ТЗ разом з ним та на усіх наступних проміжних зупинках до зупинки виходу виключно, тобто кількість контактів цього пасажиром під час поїздки може бути визначена як

$$k_{mn} = \sum_{i=m}^{n-1} a_i. \quad (3)$$

Вичерпну інформацію про зупинки входу та виходу пасажирів містить рейсова матриця міжзупинкових пасажирських кореспонденцій X , елементи якої x_{ij} ($x, j \in [1, N], j > i$) дорівнюють кількості пасажирів, що вийшли з ТЗ на зупинці j з усіх пасажирів, що увійшли до ТЗ на зупинці i . Така матриця для кожного рейсу може бути отримана безпосередньо (у разі використання даних систем автоматизованого обліку пасажирів з фіксацією зупинок входу

та виходу пасажирів) або шляхом моделювання пасажирських кореспонденцій за відомими значеннями a_i та b_j для усіх зупинок маршруту [11].

Знаючи кількість контактів кожного окремого пасажирів $k_{mn}^{(i)}$ ($i = \overline{1, Q}$) можна розрахувати значення середньої кількості контактів одного пасажирів \bar{k} та загальної кількості контактів пасажирів за рейс E за формулами

$$\bar{k} = \frac{1}{Q} \sum_{i=1}^Q k_{mn}^{(i)}, \quad m, n \in [1, N]; \tag{4}$$

$$E = \frac{1}{2} \cdot \bar{k} \cdot Q. \tag{5}$$

Для дослідження було обрано чотири маршрути міського автобуса міста Запоріжжя (№ 65, № 89, № 55 та № 17). Загальна характеристика досліджуваних маршрутів наведена у табл. 1.

Таблиця 1

Характеристика досліджуваних маршрутів

Характеристика	Значення характеристики для маршруту			
	№ 65 (1)	№ 89 (2)	№ 55 (3)	№ 17 (4)
1. Довжина маршруту, км	8,05	15,1	22,5	26,7
2. Кількість зупинок за напрямками руху (прямий/зворотний)	13/12	25/27	33/34	41/40
3. Пасажиромісткість рухомого складу, пас.	22	30	40	100
4. Кількість досліджених рейсів	96	52	31	34

На кожному з маршрутів було проведено обстеження пасажиропотоків протягом одного буднього дня тижня табличним методом (з підрахунком кількості пасажирів, що увійшли та вийшли з автобуса на кожній зупинці маршруту), в результаті загалом було отримано вихідні дані по 213 рейсам.

Основні статистики результативних показників пасажирських перевезень (математичне очікування m_x та стандартне відхилення σ_x обсягу перевезень пасажирів за рейс), отриманих за результатами обстеження по кожній вибірковій сукупності рейсів на досліджуваних маршрутах, наведені у табл. 2. У цій же таблиці наведені основні статистики показників контактів пасажирів E та \bar{k} по цих вибіркових сукупностях, отримані за формулами (3)–(5) за змодельованими матрицями міжзупинкових пасажирських кореспонденцій по кожному обстеженому рейсу.

Таблиця 2

Основні статистики обсягу перевезень та показників контактів пасажирів на досліджуваних маршрутах

Показник	Значення статистик показника по номерам маршрутів							
	№ 65		№ 89		№ 55		№ 17	
	m_x	σ_x	m_x	σ_x	m_x	σ_x	m_x	σ_x
Q , пас.	17,39	9,32	29,71	6,56	41,19	10,39	123,6	48,19
E	181,8	190,4	395,4	186,9	803,4	435,7	4630,0	3377,5
\bar{k}	15,98	9,30	25,32	6,43	36,27	11,69	64,39	31,76

На рис. 1 наведені графічні залежності обсягу перевезень пасажирів за рейс Q , кількості контактів пасажирів E та середньої кількості контактів одного пасажирів \bar{k} від пасажиромісткості рухомого складу, використовуюваного для перевезень q , а також залежність кількості контактів одного пасажирів E від обсягу перевезень пасажирів за рейс Q .

Аналіз цих залежностей свідчить, що значення усіх досліджуваних показників зростають зі збільшенням пасажиромісткості рухомого складу, при цьому характер зростання є лінійним для обсягу перевезених пасажирів Q та нелінійним для характеристик контактів пасажирів E та \bar{k} . Крім того, загальна кількість контактів пасажирів нелінійно зростає зі збільшенням обсягу перевезень пасажирів за рейс Q .

Зауважимо, що хоча загальна кількість контактів пасажирів E зростає при збільшенні обсягу перевезень пасажирів за рейс Q , між цими величинами теоретично не існує функціональної залежності, оскільки величина E визначається виключно особливостями формування пасажиропотоку на маршруті протягом окремого рейсу, представленими рейсовою матрицею міжзупинкових пасажирських кореспонденцій. При цьому величина Q визначає верхню границю величин E та \bar{k} . Дійсно, якщо за певний рейс на маршруті перевезено Q , то максимальне значення кількості контактів пасажирів визначається виразом

$$E_{\max} = \frac{Q \cdot (Q-1)}{2} = \frac{Q^2 - Q}{2}, \tag{6}$$

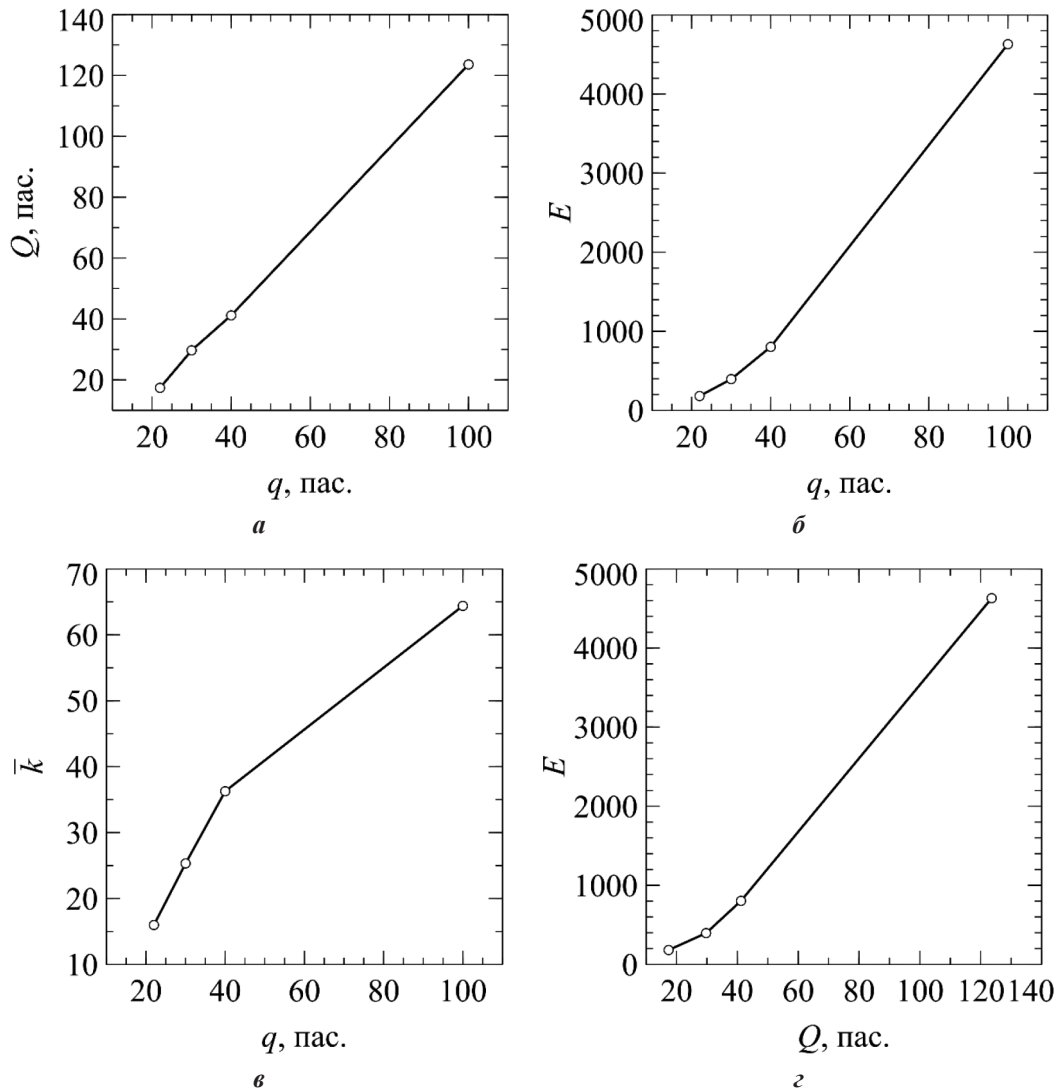


Рис. 1. Залежності $Q = f(q)$ (а), $E = f(q)$ (б), $\bar{k} = f(q)$ (в) та $E = f(Q)$ (г)

що відповідає ситуації коли усі перевезені пасажирів протягом рейсу контактували один з одним. При збільшенні обсягу перевезень пасажирів маємо практично $E_{\max} \rightarrow (1/2) \cdot Q^2$. Очевидно, верхньою границею величини \bar{k} є зменшена на одиницю кількість пасажирів, перевезених за рейс, тобто $\bar{k}_{\max} \rightarrow (Q-1)$. Відношення $E/E_{\max} = \bar{k}/\bar{k}_{\max} = \bar{k}/(Q-1)$ є імовірністю того, що два випадково обраних пасажирів, які проїхали одним рейсом на маршруті, під час поїздки мали контакт один з одним.

Розглянемо випадкову величину питомої кількості контактів пасажирів, яку визначимо як відношення середньої кількості контактів пасажирів за рейс до пасажиромісткості рухомого складу, тобто

$$k' = \frac{\bar{k}}{q} \tag{7}$$

Основні статистики цієї величини k' (математичне очікування m_k , стандартне відхилення σ_k та коефіцієнт варіації v_k) наведені у таблиці 3.

Статистичний аналіз випадкової величини k' показав, що вона може бути задовільно описана законом гамма-розподілу, функція щільності якого визначається формулою [12]

$$f(x) = \frac{x^{\eta-1}}{\theta^{\eta} \cdot \Gamma(\eta)} \cdot e^{-\frac{x}{\theta}}, \tag{8}$$

де η , θ – відповідно, параметр форми та параметр масштабу розподілу; $\Gamma(x)$ – гамма-функція Ейлера.

Таблиця 3

Основні статистики та параметри закону гамма-розподілу величини k'

Параметр	Значення параметру для маршруту			
	№ 65	№ 89	№ 55	№ 17
1. Математичне очікування m_k	0,726	0,844	0,907	0,644
2. Стандартне відхилення σ_k	0,423	0,214	0,292	0,317
3. Коефіцієнт варіації v_k	0,582	0,254	0,322	0,492
4. Параметр форми η	2,621	16,01	9,115	3,630
5. Параметр масштабу θ	0,277	0,053	0,099	0,177
6. Імовірність узгодження p^*	0,438	0,525	0,422	0,270

Перевірка гіпотез про закон розподілу виконувалась за критерієм χ^2 Пірсона на рівні значимості $\alpha = 0,05$. Отримані розрахункові значення імовірності узгодження $p^* > 0,05$, тож гіпотеза про прийнятий закон розподілу підтверджується. На рисунку 2 наведені гістограми розподілу, а у таблиці 3 наведені значення параметрів гамма-розподілу величини k' на досліджуваних маршрутах з різною пасажиромісткістю рухомого складу.

Таким чином, результати розрахунків свідчать, що кількість контактів одного пасажир, що припадає на одне місце пасажир у рухомому складі, має математичне очікування $m_k = 0,644 \dots 0,907$, коефіцієнт варіації $v_k = 0,254 \dots 0,582$ та задовільно описується законом гамма-розподілу, параметри форми і масштабу якого коливаються у доволі широких межах. Зауважимо, що отримані значення параметрів форми закону гамма-розподілу

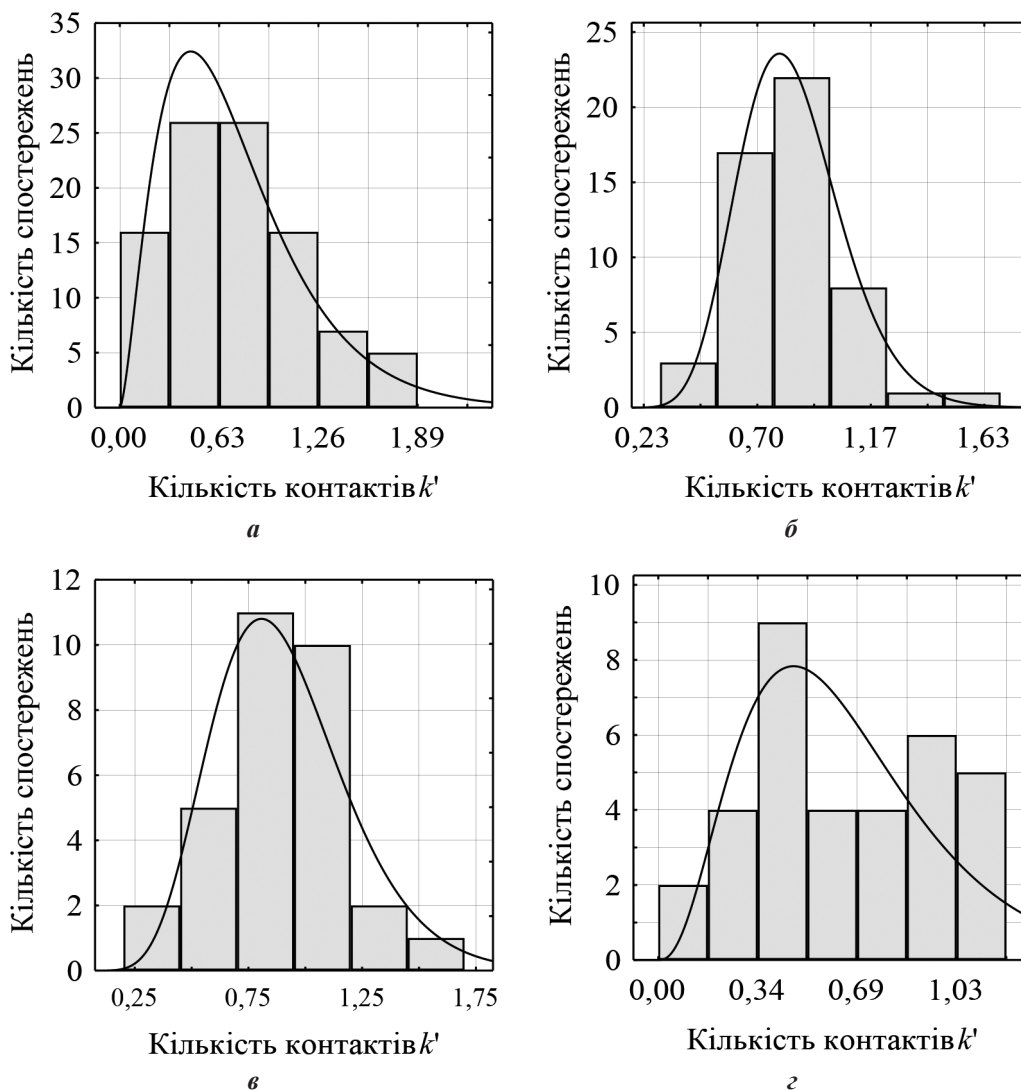


Рис. 2. Гістограми розподілу питомої кількості контактів пасажир для рухомого складу пасажиромісткості $q = 22$ пас. (а), $q = 30$ пас. (б), $q = 40$ пас. (в), $q = 100$ пас. (z)

мають значення, що перевищують $\eta > 2,5$, тож випадкова величина k' може бути також описана нормальним розподілом Гауса.

Отримані статистичні закономірності дозволяють виконувати оцінку кількості контактів пасажирів та середньої кількості контактів одного пасажирів за рейс при користуванні пасажирів міським громадським транспортом на досліджуваних міських автобусних маршрутах з використанням на них рухомого складу різної пасажиромісткості. Така оцінка дає можливість використовувати отримані числові значення контактів пасажирів на міських маршрутах для моделювання ризиків захворювання пасажирів у імовірнісних моделях поширення інфекцій під час епідемій та пандемій.

Висновки

В результаті проведеного статистичного аналізу величин кількості контактів пасажирів між собою під час користування міським ГТ встановлено, що загальна кількість контактів пасажирів між собою та середня кількість контактів одного пасажирів за рейс на міському маршруті нелінійно зростають при збільшенні обсягу перевезень пасажирів за рейс. Встановлено, що випадкова величина середньої кількості контакту одного пасажирів, що припадає на одне місце пасажиромісткості рухомого складу на маршруті може бути задовільно описана законом гамма-розподілу. Отримані результати можуть бути використані для оцінки числових параметрів, що характеризують контакти пасажирів громадського транспорту, у імовірнісних моделях поширення інфекцій серед користувачів ГТ під час спалаху епідемій та пандемій.

Список використаної літератури

1. Постанова кабінету міністрів України «Про встановлення карантину та запровадження обмежувальних протиепідемічних заходів з метою запобігання поширенню на території України гострої респіраторної хвороби COVID-19, спричиненої коронавірусом SARS-CoV-2» від 9 грудня 2020 року № 1236 [Електронний ресурс]. URL: https://ips.ligazakon.net/document/KP201236?an=1&ed=2021_08_18 (дата звернення: 16.01.2025).
2. Mo B., Feng K., Shen Yu, Tam C., Li D., Yin Y., Zhao J. Modeling epidemic spreading through public transit using time-varying encounter network. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, January 2021, Volume 122:102893. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2020.102893>
3. Kumar P., Khani A., Lind E., Levin J. Estimation and Mitigation of Epidemic Risk on a Public Transit Route using Automatic Passenger Count Data. *Transportation Research Record Journal*, February 2021, Vol. 2675(6). doi: <https://doi.org/10.1177/0361198120985133>
4. Zhuang Y., Chen Y. Risk management of Covid-19 epidemic spread in urban rail transit based on SEIR model. *Sixth International Conference on Electromechanical Control Technology and Transportation (ICECTT 2021)*, 2021, Chongqing, China. doi: <https://doi.org/10.1117/12.2624679>
5. COVID-19 Coronavirus Pandemic. World statistics and information portal. [Electronic resource]. URL: <https://www.worldometers.info/coronavirus/> (accessed: 22.01.2025).
6. Troko J., Myles P., Gibson J., Hashim A., Enstone J., Kingdon S., Packham C., Amin S., Hayward A., Van-Tam J. Is public transport a risk factor for acute respiratory infection? *BMC Infectious Diseases* 11, article number: 16 (2011). doi: <https://doi.org/10.1186/1471-2334-11-16>
7. Ku D., Yeon C., Lee S., Lee K., Hwang K., Li Y.C., Wong S.C. Safe traveling in public transport amid COVID-19. *Science Advances*, October 2021, Vol. 7, Issue 43. doi: <https://doi.org/10.1126/sciadv.abg3691>
8. Qian X., Ukkusuri S.V. Modeling the spread of infectious disease in urban areas with travel contagion. *Cornell University*, May 2020, arXiv: 2005.04583. doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2005.04583>
9. Tapiador L., Gomez J., Vassallo J.M. Exploring the relationship between public transport use and COVID-19 infection: A survey data analysis in Madrid Region. *Sustainable Cities and Society*, May 2024, Volume 104:105279. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105279>
10. Кузькін О. Ф., Райда І. М., Мартинов Д. О. Аналіз мереж контактів пасажирів громадського транспорту для різних типів міських маршрутів – Транспортні технології та безпека дорожнього руху. Збірник тез доповідей П'ятої всеукраїнської науково-практичної конференції 12–13 березня 2024 р., Запоріжжя [Електронний ресурс] – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2024, 27–29 с. URL: <https://eir.zp.edu.ua/items/001ab204-667a-4205-b4f5-072c4182d0e0>
11. Ігнатенко О. С., Маруніч В. С. Організація автобусних перевезень у містах. Навчальний посібник. Український транспортний університет. К. : [б.в.], 1998. 193 с.
12. Лашчених О. А., Кузькін О. Ф., Грицай С. В. Імовірнісні і статистико-експериментальні методи аналізу транспортних процесів і систем. Навчальний посібник. Запоріжжя, ЗНТУ, 2012. 420 с.

References

1. Postanova kabinetu ministriv Ukrainy "Pro vstanovlennia karantynu ta zaprovadzhennia obmezhuvalnykh protyepidemichnykh zakhodiv z metoiu zapobihannia poshyrenniu na terytorii Ukrainy hostroi respiratornoi khvoroby

COVID-19, sprychynenoi koronavirusom SARS-CoV-2” [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine “On the establishment of quarantine and the introduction of restrictive anti-epidemic measures to prevent the spread of acute respiratory disease COVID-19, caused by the SARS-CoV-2 coronavirus, in the territory of Ukraine”] (9 December 2020, № 1236) [Electronic resource]. [in Ukrainian].

2. Mo B., Feng K., Shen Yu, Tam C., Li D., Yin Y., Zhao J. (2021) Modeling epidemic spreading through public transit using time-varying encounter network. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, January, Volume 122:102893.

3. Kumar P., Khani A., Lind E., Levin J. (2021) Estimation and Mitigation of Epidemic Risk on a Public Transit Route using Automatic Passenger Count Data. *Transportation Research Record Journal*, February, Vol. 2675(6).

4. Zhuang Y., Chen Y. (2021) Risk management of Covid-19 epidemic spread in urban rail transit based on SEIR model. *Sixth International Conference on Electromechanical Control Technology and Transportation (ICECTT 2021)*, Chongqing, China.

5. COVID-19 Coronavirus Pandemic. World statistics and information portal. [Electronic resource].

6. Troko J., Myles P., Gibson J., Hashim A., Enstone J., Kingdon S., Packham C., Amin S., Hayward A., Van-Tam J. (2011) Is public transport a risk factor for acute respiratory infection? *BMC Infectious Diseases* 11, article number: 16.

7. Ku D., Yeon C., Lee S., Lee K., Hwang K., Li Y.C., Wong S.C. (2021) Safe traveling in public transport amid COVID-19. *Science Advances*, October, Vol. 7, Issue 43.

8. Qian X., Ukkusuri S.V. (2020) Modeling the spread of infectious disease in urban areas with travel contagion. *Cornell University*, May, arXiv: 2005.04583.

9. Tapiador L., Gomez J., Vassallo J.M. (2024) Exploring the relationship between public transport use and COVID-19 infection: A survey data analysis in Madrid Region. *Sustainable Cities and Society*, May, Volume 104:105279.

10. Kuzkin O. F., Raida I. M., Martynov D. O. (2024) Analiz merezh kontaktiv pasazhyriv hromadskoho transportu dlia riznykh typiv misykykh marshrutiv [Analysis of public transport passenger contact networks for different types of urban routes]. *Transportni tekhnologii ta bezpeka dorozhnoho rukhu. Zbirnyk tez dopovidei Piatoi vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii 12–13 bereznia 2024 r., Zaporizhzhia*, 27–29 pp. [Electronic resource]. [in Ukrainian].

11. Ihnatenko O. S., Marunych V. S. (1998) Orhanizatsiia avtobusnykh perevezen u mistakh. [Organization of bus transportation in cities.] *Navchalnyi posibnyk. Ukrainskyi transportnyi universytet – K.* : [b.v.] – 193 p. [in Ukrainian].

12. Lashchenykh O. A., Kuzkin O. F., Hrytsai S. V. (2012) Imovirnisni i statystyko-eksperymentalni metody analizu transportnykh protsesiv i system. [Probabilistic and statistical-experimental methods of analyzing transport processes and systems.] *Navchalnyi posibnyk. – Zaporizhzhia, ZNTU.* – 420 p. [in Ukrainian].