

make it possible to machine any electrically conductive material irrespective of its physical and chemical properties, in particular hardness. There is a known method for dimensional machining of bodies of rotation with electric arc using a wire electrode tool that is pulled along in the machining area thus "compensating" for that tool's EDM wear and tear. The machining accuracy is therefore significantly heightened. However, when implementing this method, an effect of splashing the working fluid outside the working area of the machine and a pronounced luminous effect from the burning of the electric arc in the machining area are observed. That worsens the working conditions. In addition, when pulling the wire electrode tool along the convex surface of the electrode holder, the sliding friction arises, which eventually leads to mechanical destruction of the contact point. As a result, a deep kerf is formed on the electrode holder. When the depth of the kerf reaches the diameter of the wire electrode tool, the destruction of the electrode holder by the electric arc begins. Consequently, the durability of the electrode holder in the known method is unsatisfactory.

A method of dimensional machining of bodies of rotation with electric arc using a wire electrode tool with the immersion of the machining area in the working fluid has been proposed, which makes it possible to improve the working conditions of the operator by eliminating the effect of fluid splashing and removing the luminous effect of arc burning in the machining area. In addition, it has been proposed to make the electrode holder in the form of a roller that rotates with a guide groove for the wire electrode tool, while the nozzle for creating the transverse hydrodynamic fluid flow has been proposed to be mounted in a separate fixed housing that is adjacent to the electrode holder. This technical solution replaces the sliding friction with the rolling one thus enhancing the durability of the electrode holder. Mathematical models of the process characteristics of the DMA-process (dimensional machining with electric arc) for bodies of rotation using a wire electrode tool with the immersion of the machining area in the working fluid have been obtained that make it possible to control the machining productivity, the specific machining productivity, the specific electric power consumption, and the roughness of the surface machined.

electric arc, hydrodynamic conditions, wire electrode tool, shaping arrangement, immersion tank

Одержано (Received) 30.07.2020

Прорецензовано (Reviewed) 05.08.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

УДК 656.078

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).324-330](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).324-330)

І.О. Хітров, доц., канд. техн. наук, **М.Є. Кристопчук**, доц., канд. техн. наук
*Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне,
Україна
e-mail: i.o.khitrov@nuwm.edu.ua, m.ie.krystopchuk@nuwm.edu.ua*

Закономірності формування і розподілу транспортних та пасажирських потоків

Проведено аналіз результатів досліджень розміщення об'єктів транспортної інфраструктури, зокрема автовокзалів та транспортно-пересадочних вузлів в плані міста, залежно від планувальних особливостей транспортної мережі. Встановлено, що для побудови раціональної маршрутної мережі міст та стійкого зв'язку між об'єктами транспортної інфраструктури необхідне дослідження пасажирських кореспонденцій та розподілу транспортних потоків.

транспортна інфраструктура, транспорт, транспортна мережа, транспортні потоки, пасажирські потоки, розподіл потоків, ефективність

И.А. Хитров, доц., канд. техн. наук, **М.Е. Кристопчук**, доц., канд. техн. наук
Національний університет водного господарства та природопользования, г. Ровно, Украина
Закономерности формирования и распределения транспортных и пассажирских потоков

© І.О. Хітров, М.Є. Кристопчук, 2020

Проведен анализ результатов исследований размещения объектов транспортной инфраструктуры, в частности автовокзалов и транспортно-пересадочных узлов в плане города, в зависимости от планировочных особенностей транспортной сети. Определено, что для построения рациональной маршрутной сети городов и устойчивой связи между объектами транспортной инфраструктуры необходимо исследование пассажирских корреспонденций и распределений транспортных потоков.

транспортная инфраструктура, транспорт, транспортная сеть, транспортные потоки, пассажирские потоки, распределение потоков, эффективность

Постановка проблеми. В умовах постійно зростаючої мобільності населення, специфічного розосередження виробництва, нерівномірності розподілу праці за транспортними районами, необхідності підтримання комфортного середовища перебування, особливе місце в загальній структурі пасажирського сполучення відіграє система міського пасажирського транспорту. Прийняття рішень щодо покращення функціонування маршрутних систем є вкрай необхідним, але водночас складним завданням, оскільки визначає в цілому подальший соціально-економічний розвиток міста, стійкість і безпеку функціонування його транспортного комплексу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Місто, як об'єкт стратегічного управління, досліджували науковці, такі як В. Бабаєв, Т. Барановська, О. Бойко-Бойчук, В. Вакуленко, А. Гутнов, Т. Дерун, С. Жилкіна, Н. Жунда, М. Ігнатенко, Г. Лаппо, К. Лінг, М. Орлатого, О. Нижник, В. Рохчіні, П. Холл та інші.

Функціонування міського транспортного комплексу, направлене на скорочення витрат загального часу поїздки пасажирів в міському транспорті, неможливе без організації транспортно-пересадочних вузлів. Відомі праці з дослідження пересадочних вузлів П. Горбачова, Є. Левковської, З. Азаренкової, В. Щурової.

Недостатньо уваги в дослідженнях приділяється питанням підвищення якості функціонування транспортних і пасажирських потоків із застосування сучасних методів їх моделювання.

Постановка завдання. Метою даної роботи є встановлення закономірностей формування і розподілу потоків пасажирів для транспортної мережі міста з описом моделей їх функціонування.

Виклад основного матеріалу. Основною класифікаційною ознакою міста є чисельність населення. Найчисельнішою групою є малі міста, значну частину яких становлять адміністративні центри районів, в яких мешкає близько 22 млн. міських і сільських жителів, що становить майже половину населення України [1, 2].

Аналіз розміщення транспортно-пересадочних вузлів у містах [3, 4] вказує, що головні вузли знаходяться переважно поблизу загальноміського центру (рис. 1).

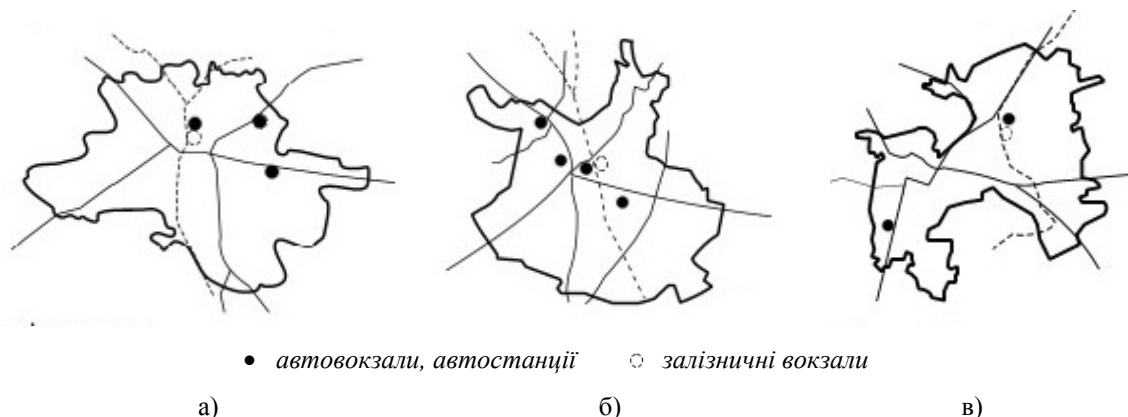


Рисунок 1 – Розміщення транспортно-пересадочних вузлів на плані для середніх міст Західного регіону України: Рівне (а), Луцьк (б), Івано-Франківськ (в)

Джерело: розроблено авторами

Основний обсяг пасажирських перевезень в зоні впливу найзначніших міст припадає на рейковий, переважно залізничний, та автобусний види транспорту. При цьому, якщо автобусні маршрути з передмість і віддалених місць (рейсові, туристичні, міжміські) закінчуються, як правило, в периферійних зонах міста, то пасажирські електропоїзди прибувають на кінцеві головні станції (вокзали), розташовані частіше поблизу центру міста [5]

Важливим елементом соціально-економічного розвитку міста, в контексті транспортної інфраструктури, є дослідження функціонування вулично-дорожньої мережі з пошуком альтернативних резервів для покращення її ефективної роботи.

Виокремимо основні вимоги формування раціональної маршрутної системи міста. Зокрема, міські маршрути повинні зв'язувати найкоротшим шляхом пасажироутворюючі пункти (промислові підприємства, вокзали, ринки, центральну частину міста тощо), чисельність маршрутів повинна відповідати потребам пасажирів у безпересадочних сполученнях, необхідності дотримання рівномірності завантаженості маршрутів на всій протяжності, узгодженості маршрутів з приміським сполученням. Дієвим способом розвантаження найнапруженіших ділянок транспортної мережі є залучення автобусів більшої пасажиромісткості.

Дотримання вказаних вимог раціоналізації маршрутної системи дозволить розосередити транспортні засоби за основними пасажироутворюючими напрямками, уникнути дублювання пасажирського транспорту на спільних ділянках маршрутів, підвищити середній коефіцієнт використання місткості з покращенням рівня комфортності.

Оцінку попиту на перевезення пасажирів представимо класичною схемою [6-8], як вказано на рис. 2.

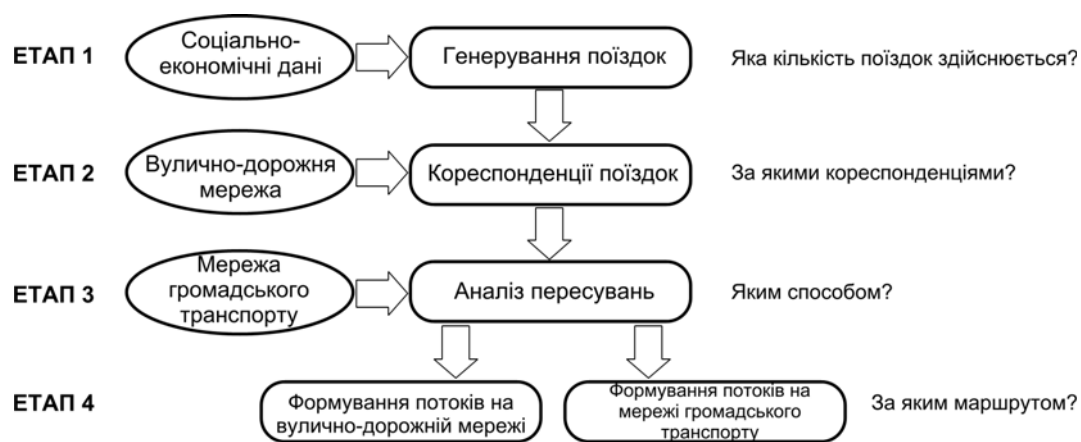


Рисунок 2 – Схема процесу вивчення та аналізу попиту на перевезення пасажирів
Джерело: розроблено авторами

Традиційний підхід до визначення місць концентрації поїздок описується “синтетичними” моделями, наприклад, гравітаційною, яка базується на фізичному законі (величина потоків, як значення функції, зменшується при збільшенні відстані між зонами транспортного обслуговування). При цьому розглядається гіпотеза, що поїздки між зонами i та j – це функція двох змінних (кількості поїздок в зоні i та відносної привабливості зони j відносно всіх зон [9]).

В загальному випадку задаються обсягами генерування поїздок T_i (об’єм кореспонденцій T_{ij} для фіксованої зони i повинен бути рівним T_i)

$$T_i = \sum_j T_{ij}, \quad \forall i, j. \quad (1)$$

Гравітаційна модель набуває вигляду:

$$T_{ij} = T_i \frac{X_j^\alpha f(t_{ij})}{\sum_{j=1}^J X_j^\alpha f(t_{ij})}, \quad \forall i, j, \quad (2)$$

де X_j^α – певний вимір рівня привабливості зони призначення j ;

$f(t_{ij})$ – функція відстані або узагальненої вартості пересування c_{ij} між зоною походження i та призначення j .

Практичним рішенням задач транспортного планування є моделювання поведінкового попиту, який базується на понятті функції корисності (привабливості) [10].

Після встановлення величини пасажиропотоків у транспортній системі особливої ваги набуває оптиміальне планування мереж, покращення організації руху, оптимізація системи маршрутів громадського транспорту, що є основою побудови математичних моделей для визначення і прогнозування параметрів функціонування транспортної мережі, таких як інтенсивність руху на елементах мережі, обсяг перевезень громадського транспорту, середні швидкості руху, затримки та втрати часу тощо, тобто для побудови прогнозних моделей.

Прогнозні моделі призначені для вирішення задач при відомих геометрії та характеристиках транспортної мережі, а також розміщення поточотвірних об'єктів. Необхідно дати прогноз завантаження транспортної мережі, що буде містити в собі деякі усереднені характеристики руху, такі як обсяг міжрайонних кореспонденцій, інтенсивність потоку, розподіл автомобілів і пасажирів по шляхах руху та ін. Такі моделі дозволяють прогнозувати наслідки змін у транспортній мережі або в розміщенні об'єктів транспортної інфраструктури.

Завантаження транспортної мережі визначається кількістю транспортних засобів, які використовують для руху кожен елемент мережі. Моделювання завантаження полягає в розподілі міжрайонних кореспонденцій за конкретними шляхами, що з'єднують пари районів. Вихідними даними виступає набір матриць кореспонденцій, що відносяться до переміщень різних видів або різних класів користувачів.

Відомі два підходи до моделювання розподілу транспортних потоків: нормативний та описувальний. У нормативних моделях розподіл транспортних потоків здійснюється на основі оптимізації деякого глобального критерію, що характеризує ефективність роботи всієї мережі. Як правило це виражена в тій або іншій формі мінімізація сумарних витрат. В основу описувального підходу покладено принцип, відповідно до якого кожен учасник прагне мінімізувати власні витрати. У результаті задача прогнозування транспортних потоків може розглядатися як окремий випадок пошуку рівноваги за Нешем в грі n осіб. Формально ця поведінка описується у вигляді принципів Вардропа: усі шляхи, які з'єднують райони p і q , що використовуються для руху представниками кореспонденції F_{pq} , мають однакову вартість; ціна будь-якого шляху між районами p і q , що не використовується для руху, перевищує ціну використовуваних шляхів.

Зазначимо, що вибір шляху окремими користувачами збільшує завантаження елементів мережі. Це призводить до збільшення узагальненої ціни цих елементів. Вибір, здійснений одними учасниками руху, побічно впливає на вибір, виконаний іншими.

Найефективнішою є модель пошуку рівноважного розподілу. Один з варіантів якої застосовується для розподілу користувачів одного класу. Вводимо такі позначення: I – множина вузлів мережі; V – множина дуг мережі; $\square V_i^+$ – множина дуг, що входять у вузол $i \in I$; V_i^- – множина дуг, що виходять з вузла $i \in I$; P – множина джерел; Q – множина стоків; u_{ij} – сумарний потік по дузі $(i, j) \in V$, u_{ij}^{pq} – потік по дузі $(i, j) \in V$ представників кореспонденції pq ; $u_{(ij)1(ji)2}^{pq}$ – потік на поворот із дуги $(ij)1 \in V$ на дугу $(ij)2 \in V$ представників кореспонденції pq ; F_{pq} – величина кореспонденції pq . Сумарні потоки на дугах пов'язані з потоками представників окремих кореспонденцій:

$$u_{ij} = \sum_{p \in P, q \in Q} u_{ij}^{pq}, \quad (i, j) \in V. \quad (3)$$

Допустиме рішення виражає „закон збереження” користувачів у мережі:

$$\left. \begin{aligned} u_{(ij)1}^{pq} &= \sum_{(i,j)1 \in V_i^+} u_{(ij)1(ji)2}^{pq}, \quad (i, j)1 \in V_i^-; \\ u_{(ij)2}^{pq} &= \sum_{(i,j)2 \in V_i^-} u_{(ij)1(ji)2}^{pq}, \quad (i, j)2 \in V_i^+; \end{aligned} \right\} \forall i \in I, (p, q) \in (P \times Q). \quad (4)$$

Баланс за величинами кореспонденцій для джерел і стоків:

$$F_{pq} = \sum_{(p,j) \in V_p^+} u_{pj}^{pq} = \sum_{(i,q) \in V_q^-} u_{iq}^{pq}, \quad p \in P, q \in Q. \quad (5)$$

Цінова функція $c_{ij}(u)$ виражає вартість проходження сумарним потоком u дуги $(i, j) \in V$. За ціновою функцією будемо інтегральну цінову функцію:

$$C_{ij}(u) = \int_0^u c_{ij}(v) dv, \quad (i, j) \in V. \quad (6)$$

Таким чином, у прийнятих позначеннях модель рівноважного розподілу описується задачею оптимізації (при обмеженнях (3)-(5)):

$$f(u) = \min_u \sum_{(i,j) \in V} C_{ij}(u) \quad (7)$$

Таким чином, модель (7) при обмеженнях (3)-(5) можна використовувати для розподілу потоків за мережею, а гравітаційну – для розподілу пасажирських кореспонденцій між взаємодіючими інфраструктурними об'єктами.

Висновки:

1. Розташування транспортно-пересадочних вузлів в транспортній інфраструктурі міста головним чином визначає їх транспортну структуру.

2. Розподіл пасажирських кореспонденцій між взаємодіючими інфраструктурними об'єктами описується гравітаційною моделлю (величина потоків,

як значення функції, зменшується при збільшенні відстані між зонами транспортного обслуговування).

3. Модель пошуку рівноважного розподілу доцільно застосовувати як задачу оптимізації розподілу транспортних потоків.

4. При виборі місць розташування об'єктів транспортної інфраструктури, перерозподілу пасажирських кореспонденцій, слід розглядати комплексні моделі, які характеризують ефективність роботи всієї мережі.

Список літератури

1. Державне регулювання розвитку соціальної інфраструктури населених пунктів України : навч. посіб. / Вакуленко В. М. та ін. Київ : Вид-во УАДУ, 2002. 112 с.
2. Новітні моделі соціально-економічного розвитку міст в умовах формування ринкових відносин та громадянського суспільства / Удовиченко В. П. та ін. ; за ред. Ю. П. Лебединського. Київ : Заповіт, 2003. 340 с.
3. Левковская Е. П. Транспортно-планировочные принципы организации пересадочных узлов пригородно-городского сообщения : автореф. дис. на соиск. науч. ступеня канд. тех. наук : 18.00.04. Москва, 1989. 35 с.
4. Щурова В. А. Роль мережі транспортно-пересадкових вузлів у функціонально-планувальній структурі міста. *Містобудування та територіальне планування*. 2002. Вип. 13. С. 248-255.
5. Пашкевич С. М., Кристопчук М. Є. Аналіз параметрів функціонування об'єктів транспортної інфраструктури на формування транспортних та пасажирських потоків у містах. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2018. № 1. С. 66-72. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ctmbt_2018_1_13. (дата звернення: 17.09.2020)
6. Управління розвитком міста : навч. посіб. / за ред. В. М. Вакуленка, М. К. Орлатого. Київ : Вид-во НАДУ, 2006. 389 с.
7. Вакуленко К. Є. Вибір автотранспортного засобу на маршрутах міського пасажирського транспорту : автореф. дис. на здобуття наук... ступеня канд. тех. наук : 05.22.01 Харків, 2009. 24 с.
8. Доля В. К. Пасажирські перевезення : підручник. Харків : Видавництво «Форт», 2011. 504 с.
9. Кристопчук М. Є. Соціально-економічна ефективність пасажирської транспортної системи приміського сполучення : монографія. Рівне : НУВГП, 2012. 158 с. URL: [http://ep3.nuwm.edu.ua/1645/1/Кристопчук Соціально-економічна zah.pdf](http://ep3.nuwm.edu.ua/1645/1/Кристопчук%20Соціально-економічна%20zah.pdf) (дата звернення: 22.09.2020)
10. Кристопчук М. Є., Лобашов О. О. Приміські пасажирські перевезення: навч. пос. Харків : НТМТ, 2012. 224с. URL: [http://ep3.nuwm.edu.ua/11277/1/Приміські пасажирські перевезення.pdf](http://ep3.nuwm.edu.ua/11277/1/Приміські%20пасажирські%20перевезення.pdf). (дата звернення: 25.09.2020)

References

1. Vakulenko, V.M. (2002). *Derzhavne rehulyuvannya rozvytku sotsialnoi infrastruktury naselenykh punktiv Ukraine [State regulation of the development of social infrastructure of settlements of Ukraine]*. Kyiv: UADU [in Ukrainian].
2. Udovychenko, V.P. et al. (2003). *Novitni modeli sotsialno-ekonomichnoho rozvytku mist v umovakh formuvannya rynkovykh vidnosyn ta hromadyanskoho suspilstva [The latest models of socio-economic development of cities in the formation of market relations and civil society] / YU.P. Lebedynskoho (Ed.)*. Kyiv: Zapovit [in Ukrainian].
3. Levkovskaia, E.P. (1989). *Transportno-planirovochnye pryntsypy orhanyzatsii peresadochnykh uzlov pryhorodno-horodskoho soobshchenyya [Transport and planning principles of the organization of interchange hubs of suburban-urban traffic]. Extended abstract of candidate's thesis*. Moskva [in Russian].
4. Shchurova, V.A. (2002). *Rol merezhi transportno-peresadkovykh vuzliv u funktsionalno-planuvannii strukturii mista [The role of the network of transport interchanges in the functional and planning structure of the city]. Mistobuduvannya ta terytorialne planuvannya – Urban planning and spatial planning. Vol. 248-255* [in Ukrainian].
5. Pashkevych, S.M., & Krystopchuk, M.YE. (2018). *Analiz parametriv funktsionuvannya obyektiv transportnoyi infrastruktury na formuvannya transportnykh ta pasazhyrskykh potokiv u mistakh [Analysis of the parameters of the functioning of transport infrastructure facilities for the formation of transport and*

- passenger flows in cities]. *Suchasni tekhnologii v mashynobuduvanni ta transporti – Modern technologies in mechanical engineering and transport*, 1, 66-72. nbuv.gov.ua. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/ctmbt_2018_1_13 [in Ukrainian].
6. Vakulenko, V.M., & Orlatoho, M.K. (Eds.). (2006). *Upravlinnya rozvytkom mista [Management of city development]*. Kyiv: NADU [in Ukrainian].
 7. Vakulenko, K.YE. (2009). Vybir avtotransportnoho zasobu na marshrutakh miskoho pasazhyrskoho transportu [Choice of vehicle on urban passenger transport routes]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kharkiv [in Ukrainian].
 8. Dolia, V.K. (2009). *Pasazhyrski perevezennia [Passenger transportation]*. Kharkiv: Vydavnytstvo «Fort» [in Ukrainian].
 9. Krystopchuk, M.YE. (2012). *Sotsialno-ekonomichna efektyvnist pasazhyrskoi transportnoi systemy prymiskoho spoluchennia [Socio-economic efficiency of the suburban passenger transport system]*. Rivne: NUVHP [in Ukrainian].
 10. Krystopchuk, M.YE., & Lobashov, O.O. (2012). *Prymiski pasazhyrski perevezennia [Suburban passenger traffic]*. Kharkiv: NTMT [in Ukrainian].

Ihor Khitrov, Assoc. Prof. PhD tech. sci., **Mykhailo Krystopchuk**, Assoc. Prof. PhD tech. sci.

National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine

Regularities of Formation and Distribution of Transport and Passenger Flows

Decision-making to improve the functioning of route systems is an extremely necessary, but at the same time difficult task, as it determines the overall socio-economic development of the city, the stability and safety of its transport complex. The purpose of this work is to establish patterns of formation and distribution of passenger flows for the transport network of the city with a description of models of their operation.

The traditional approach to determining the concentration of travel is described by "synthetic" models, such as gravity. A practical solution to the problems of transport planning is the modeling of behavioral demand, which is based on the concept of attractiveness function. The load of the transport network is determined by the number of vehicles on it. Download simulation is the distribution of inter-district correspondence along specific paths connecting district pairs. In normative models, the distribution of traffic flows is based on the optimization of some global criterion that characterizes the efficiency of the entire network. The descriptive approach is based on the principle according to which each participant seeks to minimize their own costs. The most effective is the model of finding the equilibrium distribution. One of the variants of which is used to distribute users of one class.

In this way, the location of transport interchanges in the transport infrastructure of the city mainly determines their transport structure. The distribution of passenger correspondence between interacting infrastructure objects is described by a gravitational model. The equilibrium distribution search model should be used as a task to optimize the distribution of traffic flows.

transport infrastructure, transport, transport network, transport flows, passenger flows, flow distribution, efficiency

Одержано (Received) 30.09.2020

Прорецензовано (Reviewed) 15.10.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020