

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

Направление – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей

УДК [UDC] 624.04 (075.8)

DOI 10.17816/transsyst20239486-93

© Ю.В. Тряпицын, Д.А. Тряпкин

Дальневосточный государственный университет путей сообщения
(Хабаровск, Россия)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАСЧЕТА ЛЕДОВЫХ ПЕРЕПРАВ

Обоснование: В зимний период на севере Дальневосточного региона открываются ледовые переправы. В большинстве случаев они организуются из-за отсутствия капитальных мостов. Для доставки грузов и пассажиров в отдаленные населенные пункты, где плохо развита дорожная сеть и ограниченный срок навигации используются ледовые переправы, т.к. чтобы добраться до населенных пунктов необходимо пересекать водоемы. Ледовые переправы остаются единственным способом связи таких населенных пунктов с городами большой численностью населения. Наиболее надежным способом увеличения несущей способности является вмораживание наплавного моста шарнирной схемы в ледовый покров. Преимуществом таких переправ является малая чувствительность к климатическим условиям и природе водного потока, малость кренов и осадок. В настоящее время данные переправы используются на трансграничных переходах Дальнего Востока, но методики расчета их нет.

Цель: Разработка методики, которая совершенствовала бы расчет ледовых переправ с учетом усиления в виде металлических понтонных конструкций состоящих из шарнирных паромов на двух опорах.

Материалы и методы: В статье приводится модель расчета. Расчетная схема: металлическая конструкция, вмороженная в лед лежащая на воде, представляет из себя жесткий штамп на плите, лежащей на упругом основании переправы. Для подтверждения принятой модели расчета был проведен эксперимент реальной переправы в виде статических испытаний.

Результаты: В статье представлены результаты определения прогибов переправы по принятой модели расчета и после проведения эксперимента. Также была рассчитана грузоподъемность усиленной переправы по месяцам.

Заключение: Данное исследование поможет проводить расчеты комбинированных переправ для значительного увеличения несущей способности.

Ключевые слова: прогиб, двухопорный паром, ледовая переправа, несущая способность, расчетная схема, наплавной мост.

Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS

Field – Design and construction of roads, subways, airfields, bridges and transport tunnels

© Yu.V. Tryapitsyn, D.A. Tryapkin

Far Eastern State Transport University
(Khabarovsk, Russia)

IMPROVEMENT OF THE CALCULATION OF ICE CROSSINGS

Background: In winter, ice crossings open in the north of the Far Eastern region. In most cases, they are organized due to the lack of capital bridges. Ice crossings are used to deliver goods and passengers to remote settlements where the road network is poorly developed and the navigation period is limited, because to get to settlements it is necessary to cross reservoirs. Ice crossings remain the only way to connect such settlements with cities with a large population. The most reliable way to increase the load-bearing capacity is to freeze the floating bridge of the articulated circuit into the ice cover. The advantage of such crossings is low sensitivity to climatic conditions and the nature of the water flow, small rolls and sediment. Currently, these crossings are used at cross-border crossings of the Far East, but there are no calculation methods.

Aim: Development of a methodology that would improve the calculation of ice crossings, taking into account the reinforcement in the form of metal pontoon structures consisting of articulated ferries on two supports.

Materials and Methods: The article provides a calculation model. Design scheme: a metal structure frozen in ice lying on water is a rigid stamp on a plate lying on the elastic base of the crossing. To confirm the accepted calculation model, an experiment of a real crossing in the form of static tests was carried out.

Results: The article presents the results of determining the crossing deflections according to the accepted calculation model and after the experiment. The carrying capacity of the reinforced ferry was also calculated by months.

Conclusion: This study will help to carry out calculations of combined crossings for a significant increase in load-bearing capacity.

Key words: deflection, double-support ferry, ice crossing, load-bearing capacity, design scheme, floating bridge.

ВВЕДЕНИЕ

В зимний период на севере Дальневосточного региона открываются ледовые переправы. В большинстве случаев они организуются из-за отсутствия капитальных мостов. Для доставки грузов и пассажиров в отдаленные населенные пункты, где плохо развита дорожная сеть и ограниченный срок навигации используются ледовые переправы, т.к. чтобы добраться до населенных пунктов необходимо пересекать водоемы [1]. Ледовые переправы остаются единственным способом связи таких населенных пунктов с городами большой численностью населения. Для проезда тяжелой техники через водные препятствия нужно, чтобы лед был достаточно толстый и прочный, а также имел минимальное количество трещин. И чтобы достигнуть данного эффекта переправы нужно усиливать либо намораживанием льда поверх естественного [2], либо вмораживанием массивов дерева [3]. Данные способы усиления ледовых переправ не дадут желаемого эффекта увеличения несущей способности для пропуска тяжелой техники и регулярного использования ледовой переправы [4]. Для того, чтобы значительно увеличить несущую способность данных переправ нужно

применить более надежное усиление. Одним из таких усилений является вмораживание наплавного моста [5] шарнирной схемы в ледовый покров.

Преимуществом таких переправ является малая чувствительность к климатическим условиям и природе водного потока, малость кренов и осадок.

В настоящее время данные переправы используются на трансграничных переходах Дальнего Востока, но методики расчета их нет и задача состоит в том, чтобы разработать методику, которая бы совершенствовала расчет ледовых переправ с учетом усиления в виде металлических понтонных конструкций состоящих из шарнирных паромов на двух опорах.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА КОМБИНИРОВАННЫХ ПЕРЕПРАВ

Расчетная схема: металлическая конструкция, вмороженная в лед лежащая на воде, представляет из себя жесткий штамп на плите, лежащей на упругом основании [6].

Производится разбиение опорных элементов конструкции на равные части напоминающие квадрат (рис. 1). В центре масс частей разбиения прикладывается активная нагрузка в виде сосредоточенной силы от подвижной нагрузки и распределенной по площади окружности, от нагрузки которая действует по площади части разбиения [7, 8].

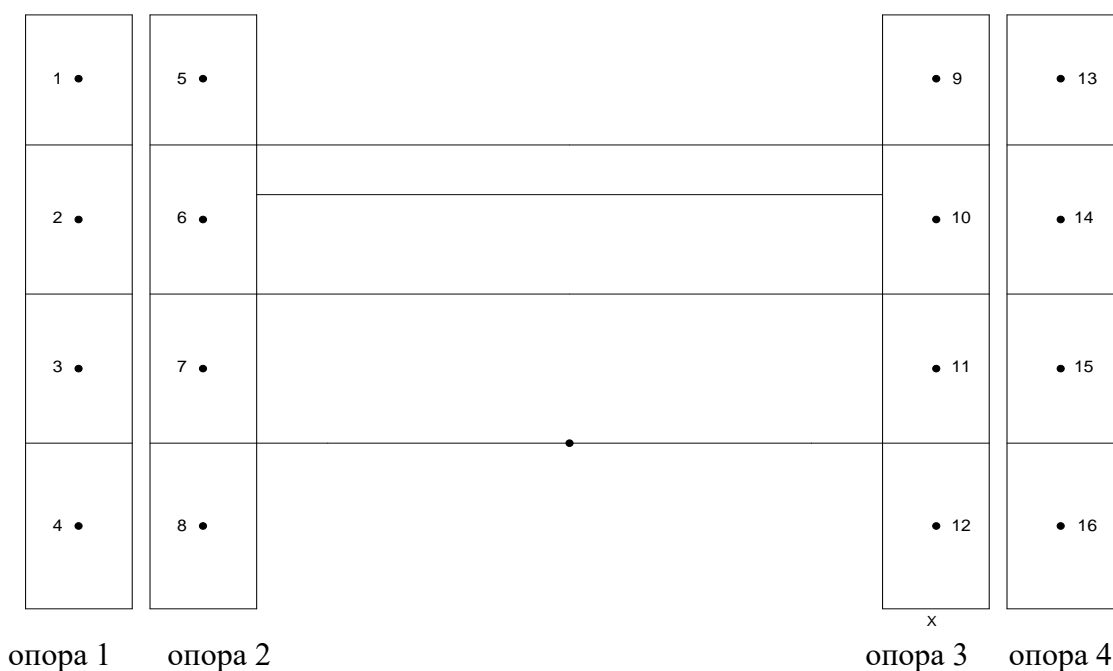


Рис. 1. Сетка разбиения двухопорного парома

После того как провели разбиение опор наплавного моста определяют величины радиального и тангенциального моментов с учетом табличных функций $(f_0'(\alpha), g_0^{[M]}(\xi_k), g_0^{[M]}(\xi_k))$ используемых для вычисления изгибающих моментов в теории изгиба плит на упругом винклеровском основании [9–11].

Формулы для определения величин моментов:

$$G_r = G(0) - \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n P \cdot g_0^{[M]}(\xi_k); \quad G_r = G(0) - \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n P \cdot g_0^{[M]}(\xi_k),$$

где $G(0) = -\frac{ql^2}{4} \pi \alpha (1 + \alpha) f_0'(\alpha)$ – изгибающий момент определяемый через равномерно распределенную по контуру приведенного радиуса нагрузку q и приведенный радиус эквивалентного круга $\alpha = r_{\text{экв}}/l$, $r_{\text{экв}}$ – радиус эквивалентного круга, P – сосредоточенная нагрузка, $\xi_k = r_k/l$ – приведенное расстояние между точкой, в которой определяются усилия или перемещения, и точкой, в которой приложено внешнее воздействие, l – характеристика гибкости льда, r_k – расстояние между точками.

Величина допускаемого изгибающего момента определяется [12]:

$$[M] = \frac{R_f \cdot h^2}{6 \cdot 2,5},$$

где R_f – нормативное сопротивление льда изгибу, h – толщина льда.

Затем под действием системы сосредоточенных сил используя табличную функцию $f_0(\xi_k)$ [9], цилиндрическую жесткость (D) и характеристику гибкости (l) определяются прогибы:

$$w = \frac{l^2}{4D} \sum_{i=1}^n P \cdot f_0(\xi_k). \quad (1)$$

Допускаемый прогиб принимаем $[f] = h/4$.

По формуле (1) были определены прогибы ледового слоя с усилением путем вмораживания наплавного моста и без усиления при разной толщине льда, результаты приведены в Табл.

Таблица. Расчет прогибов

h, см		35	55	83
D, кгс/см ²		2356·10 ⁵	9393·10 ⁵	31417·10 ⁵
l, см		696,7	984,5	1331,3
∑ f ₀ (ξ)·P, кг	С усилением	7619,73	10606,8	12797,5
	Без усиления	11863	13384,7	14382,8
Прогиб w, см	С усилением	3,92	2,74	1,8
	Без усиления	6,11	3,45	2,03

По различным месяцам была рассчитана грузоподъемность комбинированной переправы от осевой нормативной нагрузки от автотранспортных средств (Рак) и осевой нормативной нагрузки от

автотранспортных средств, осуществляющих перевозки тяжеловесных грузов, пропускаемых в специальном режиме (Рнк). Для расчета использовалось условие прочности льда. Результаты расчета приведены на графике (Рис. 2).

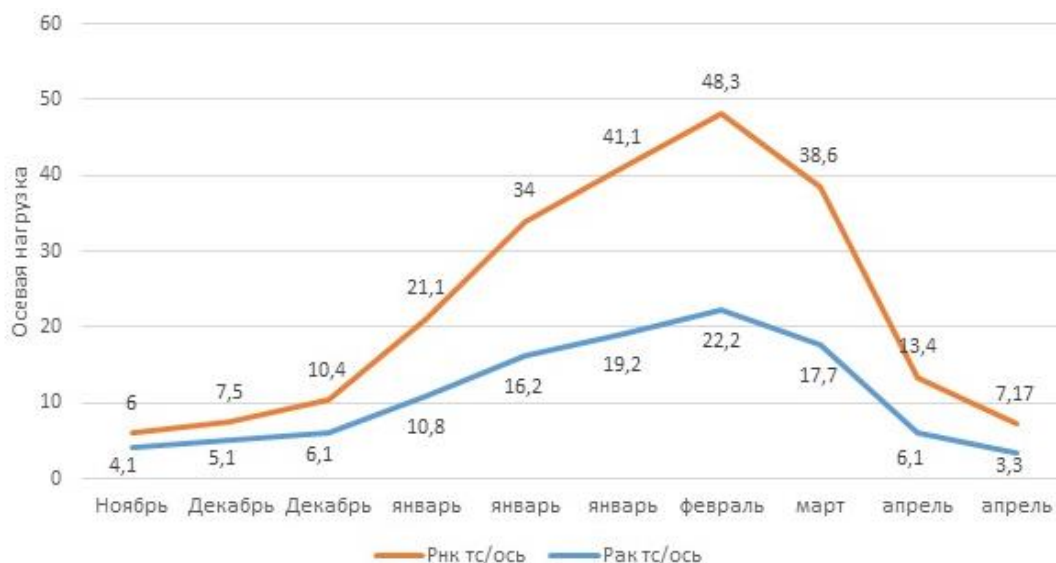


Рис. 2. График грузоподъемности усиленной ледовой переправы

ЭКСПЕРИМЕНТ

Для подтверждения принятой модели расчета данных переправ был проведен эксперимент в виде статических испытаний на действующей ледовой переправе, усиленной рассматриваемым способом. Эксперимент проводился при толщине льда 83 сантиметра. В процессе проведения испытания измерительными приборами снималась осадка понтона. Датчики системы «ФАЗА» и прогибомеры размещались согласно Рис. 3.

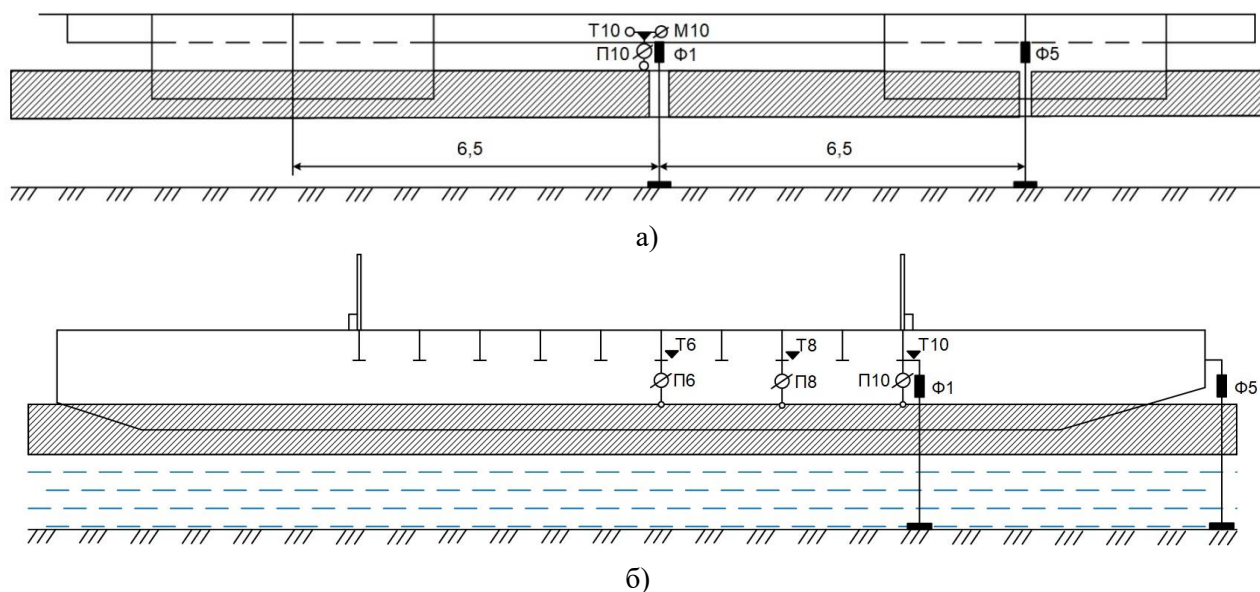


Рис. 3. Схема размещения измерительных приборов:
а) поперек пролетного строения, б) вдоль пролетного строения

После проведения эксперимента результат показал, что прогиб усиленной переправы составил 1,6 см.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Был разработан усовершенствованный расчет ледовых переправ с учетом усиления (вмораживанием наплавного моста).

Высокая сходимость аналитического и экспериментального результатов расчета прогиба усиленной ледовой переправы говорит о том, что модель расчета для рассматриваемой расчетной схемы выбрана правильно.

Авторы заявляют, что:

1. У них нет конфликта интересов;
2. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов.

Библиографический список / References

1. Лузганов А.А. Обустройство ледовых переправ в условиях крайнего севера // Арктика и Север. – 2011. – № 3. – С.1–9. [Luzganov AA. Obustroistvo ledovykh pereprav v usloviyakh krainego severa. *Arktika i Sever*. 2011;3:1-9. (In Russ.)]. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17101104> Ссылка активна на: 30.11.2023.
2. Хафизов Э.Р., Миннуллин Э.Р. Намораживание, как способ усиления ледовых переправ // В сборнике: Академическая наука – проблемы и достижения. Материалы XXI международной научно-практической конференции. – 2019. – С. 75–76. [Khafizov EhR, Minnullin EhR. Namorazhivanie, kak sposob usileniya ledovykh pereprav. V sbornike: *Akademicheskaya nauka - problemy i dostizheniya*. Materialy XXI mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. 2019. pp. 75-76. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 30.11.2023. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41340256>
3. Харенко П.С., Черватюк Л.М. Способ усиления ледовой переправы // В сборнике: Развитие дорожно-транспортного комплекса и строительной инфраструктуры на основе рационального природопользования. Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). – 2012. – С. 150–155. [Kharenko PS, Chervatyuk LM. Sposob usileniya ledovoi perepravu // V sbornike: *Razvitie dorozhno-transportnogo kompleksa i stroitel'noi infrastruktury na osnove ratsional'nogo prirodopol'zovaniya*. materialy VII Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (s mezhdunarodnym uchastiem). 2012. pp. 150-155. (In Russ.)]. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=yklijh&ysclid=lpkdwerr51335307162> Ссылка активна на: 30.11.2023.
4. Федотова Е.А., Киселев П.В., Понятов А.Г. Методы усиления ледяного покрова водных переходов временных зимних дорог // В сборнике: Наземные транспортно-технологические комплексы и средства. Материалы международной научно-технической конференции. Министерство образования и науки РФ; Тюменский индустриальный университет. – 2016. – С. 316–319. [Fedotova EA, Kiselev PV, Ponyatov AG. Metody usileniya ledyanogo pokrova vodnykh perekhodov vremennykh

- zimnikh dorog // V sbornike: *Nazemnye transportno-tekhnologicheskie komplekсы i sredstva*. Materialy mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii. Ministerstvo obrazovaniya i nauki RF; Tyumenskii industrial'nyi universitet. 2016. pp. 316-319. (In Russ.)). Ссылка активна на: 30.11.2023. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26011968>
5. Skinner LB, Benmore CJ, Shyam B, Weber JKR, Parise JB: Structure of the floating water bridge and water in an electric field. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2012;41(109):16463-16468. doi: 10.1073/pnas.1210732109
 6. Малофеев А.Г., Якименко О.В. Несущая способность ледовых переправ // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2009. – № 1(11). – С. 32–36. [Malofeev AG, Yakimenko OV. Nesushchaya sposobnost' ledovykh pereprav. *Vestnik Sibirskoi gosudarstvennoi avtomobil'no-dorozhnoi akademii*. 2009;1(11):32-36. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 30.11.2023. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17892939>
 7. Бычковский Н.Н., Гурьянов Ю.А. Ледовые строительные площадки, дороги и переправы. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2005. – 180 с. [Bychkovskii NN, Guryanov YuA. Ledovye stroitel'nye ploshchadki, dorogi i perepravu. *Saratov: Saratov. gos. tekhn. un-t*;2005. 180 p. (In Russ.)].
 8. Козин В.М., Жесткая В.Д., Погорелова А.В., и др. Прикладные задачи динамики ледяного покрова / Академия Естествознания. – М., 2008. – 329 с. [Kozin VM, Zhestkaya VD, Pogorelova AV, et al. *Prikladnye zadachi dinamiki ledyanogo pokrova / Akademiya Estestvoznaniya*. Moscow; 2008. 329 p. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 30.11.2023. Доступно по: <https://monographies.ru/en/book/view?id=14>
 9. Коренев Б.Г., Черниговская Е.И. Расчет плит на упругом основании (пособие для проектировщиков). – М.: ЦНИИСК, 1962. – 356 с. [Korenev BG, Chernigovskaya EI. *Raschet plit na urugom osnovanii (posobie dlya proektirovshchikov)*. Moscow; 1962. 356 p. (In Russ.)].
 10. ГОСТ Р 58948-2020. Дороги автомобильные общего пользования. Дороги автомобильные зимние и ледовые переправы. Технические правила устройства и содержания / Стандартиформ. – М. – 2020. – 52 с. [GOST R 58948-2020. *Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Dorogi avtomobil'nye zimnie i ledovye perepravu. Tekhnicheskie pravila ustroystva i sodержaniya / Standartinform*. Moscow; 2020. 52 p. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 28.11.2023. Доступно по: <https://docs.cntd.ru/document/1200174655?ysclid==lphxsee9y755018517>
 11. Козин В.М., Земляк В.Л. Физические основы разрушения ледяного покрова резонансным методом / ИМиМ ДВО РАН, Комсомольск-на-Амуре. – 2013. – 250 с. [Kozin VM, Zemlyak VL. *Fizicheskie osnovy razrusheniya ledyanogo pokrova rezonansnym metodom / IMIM DVO RAN. Komsomol'sk-na-Amure*; 2013. 250 p. (In Russ.)]. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22464123> Ссылка активна на: 30.11.2023.
 12. СП 38.13330.2012. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). – М., 2012. [SP 38.13330.2012. *Nagruzki i vozdeistviya na gidrotekhnicheskie sooruzheniya (volnovye, ledovye i ot sudov)*. Moscow; 2012. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 28.11.2023. Доступно по: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293793/4293793649.pdf?ysclid=lphwfi1fl1257364097>

Сведения об авторах:

Тряпицын Юрий Владимирович, кандидат технических наук, доцент;
eLibrary SPIN:8890-1721; ORCID: 0000-0003-0093-6557;
E-mail: Tryapitsinyv@mail.ru

Тряпкин Дмитрий Александрович, старший преподаватель;
eLibrary SPIN:8893-7828; ORCID: 0000-0001-6484-741X;
E-mail: Dmitry.tryapkin@yandex.ru

Information about the authors:

Yuri V. Tryapitsyn, Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences, eLibrary
SPIN:8890-1721; ORCID: 0000-0003-0093-6557;
E-mail: Tryapitsynv@mail.ru

Dmitry A. Tryapkin, Assistant Professor;
eLibrary SPIN:8893-7828; ORCID: 0000-0001-6484-741X;
E-mail: Dmitry.tryapkin@yandex.ru

Цитировать:

Тряпицын Ю.В., Тряпкин Д.А. Совершенствование расчета ледовых переправ // Инновационные транспортные системы и технологии. – 2023. – Т. 9. – № 4. – С. 86–93. doi: 10.17816/transsyst20239486-93

To cite this article:

Tryapitsyn YV, Tryapkin DA. Improvement of the calculation of ice crossings. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2023;9(4):86-93. doi: 10.17816/transsyst20239486-93