

UDC 656.715.07:005 (045)
DOI:10.18372/1990-5548.72.16945

¹K. V. Cherednichenko,
²O. E. Sokolova

ON PROSPECTS OF ANALYTIC HIERARCHY PROCESS APPLICATION FOR FREIGHT TRANSPORTATION SAFETY MANAGEMENT IN INTEGRATED TRANSPORT SYSTEMS

^{1,2}Faculty of Transport, Management and Logistics, National Aviation University, Kyiv, Ukraine
E-mails: ¹cherednichenko.kostya@gmail.com ORCID 0000-0002-9388-3521,
²sokolovaelena89@gmail.com ORCID 0000-0001-6341-0195

Abstract—Integrated transport systems are a perfect form of transportation organization, because they allow integrated use of competing modes of transport, providing a high level of transportation service at affordable prices and savings in transportation costs. With the increasing demand for such transportation, the issue of transport safety assessment is becoming more important, particularly in preservation of cargo and vehicles in each section of the transportation process. In the process of technical progress, it becomes increasingly difficult to achieve a high enough level of transport safety, which allows to ensure national security and interests in the field of transport activities. Unfortunately, transport safety management today is mainly carried out at organizational level, which needs to be supplemented with safety assessment of transport system's objects. The development of methods for transport safety assessment remains a complex scientific task, the solving of which depends on the economic efficiency and safety of the transportation process. Since transport safety is the state of the transport system, its assessment includes the safety assessments of various transport infrastructures. Thus, there is some imaginary protection field of the object of transport infrastructure, which provides counteraction to a set of existing or perceived threats. The proposed algorithm for safe freight transportation routes development may be divided into two cyclical stages: optimal transport hub determination from the alternatives; optimal transportation route choosing between selected transport hubs. The method provides a comprehensive and rational framework for structuring a decision problem, for representing and quantifying its elements, for relating those elements to overall goals, and for evaluating alternative solutions. The practical use of the proposed approach allows at the designing stage of multimodal transportation routes to evaluate their alternatives, according to the selected criteria and take the necessary measures in order to improve transport safety.

Index Terms—Aviation freight transportation; integrated transportation; multimodal transportation; safety management; transport safety.

I. INTRODUCTION

In world practice, the creation of integrated transport systems in the form of intermodal and multimodal transportations is an integral condition for the foreign trade relations development. Such systems are aimed to accelerate, reduce costs and simplify operations with consolidated standard freight units. The need for such systems was formed due to the peculiarities of each mode of transport, its technological and technical characteristics, which restrain the ability to compete and promote transport interaction. With the increasing demand for multimodal transportation, the issue of transport safety assessment is becoming more important, particularly in preservation of cargo and vehicles in each section of the transportation process [1], [2].

The concept of “transport safety” may be defined as the state of protection of transport infrastructure objects, which allows to ensure national security and national interest in the field of transportation activities, the sustainability of it, the ability to

prevent harm to the health and life of people, damage to property and the environment, to minimize economic damage in transport activity [3], [4].

Transport safety of integrated transportation systems covers a number of safety areas: aviation safety and safety of road, rail, sea and pipeline modes of transport (Fig. 1).

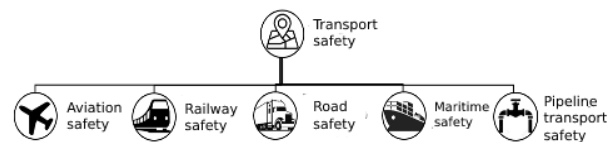


Fig. 1. Areas of transport safety

In this context, transport safety assessment modelling is relevant and requires appropriate scientific developments.

II. PROBLEM STATEMENT

Today, transport safety management is mainly carried out at organizational level. This means that every safety event is recorded, analyzed and

investigated in order to manage the causes/factors of future's negative events. But the time factor in such organizational management implementation has a relative nature and not related to hazard identification and elimination.

That is, transport safety ensuring on the basis of organizational management needs to be supplemented with safety assessment of transport system's objects. It should be noted that since events in this field are quite rare, data analysis may not provide the necessary effect. It is recommended to manage transport safety with optimal transportation route development from available design alternatives on the basis of expert's assessment.

III. PROBLEM SOLUTION AND RESULTS

T. Saaty analytic hierarchy process (AHP) is a theory of relative measurement of intangible criteria. With this approach to relative measurement, a scale of priorities is derived from pairwise comparison measurements only after the elements to be measured are known.

Rather than prescribing a "correct" decision, the AHP helps decision makers find one that best suits their goal and their understanding of the problem. It provides a comprehensive and rational framework for structuring a decision problem, for representing and quantifying its elements, for relating those elements to overall goals, and for evaluating alternative solutions. The method provides a comprehensive and rational framework for structuring a decision problem, for representing and quantifying its elements, for relating those elements to overall goals, and for evaluating alternative solutions.

In general, AHP consist of 4 steps [5]: to structure the problem in the form of a hierarchy or network; to set criteria priorities and evaluate each of the alternatives; to determine the weighing coefficients in each level; to calculate combined weighting factor and determine the best alternative.

The algorithm for safe freight transportation routes development may be divided into two cyclical stages: optimal transport hub determination from the alternatives (TH); optimal transportation route choosing between selected transport hubs (TR).

Step 1. In order determine the safest transport hub, it is necessary to: set the evaluation system that affects the level of safety; calculate its influence using a pairwise comparison scale [6]:

$$F_1 = [f_1, f_2, \dots, f_n], \tag{1}$$

where f_1, f_2, \dots, f_n is the system of risk factor assessments affecting the level of transport safety at nodes.

Comparison scale may be presented as follows: 1 – equal importance; 3 – minor advantage of one over the other; 5 – substantial or strong advantage; 7 – a significant advantage; 9 – superiority of one object over another; 2, 4, 6, 8 – intermediate values.

Thus, the matrix of pairwise comparisons:

$$\begin{pmatrix} 1 & p_2 = p(f_1 / f_2) & \dots & p_n = p(f_1 / f_n) \\ p_{n+1} = 1 / p_2 & 1 & \dots & p_{2n} = p(f_2 / f_n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{2n+1} = 1 / p_n & p_{2n+2} = 1 / p_2 & \dots & 1 \end{pmatrix}, \tag{2}$$

A new matrix of risk factors comparison formed by dividing each element $(p_1, p_2, \dots, p_{2n+2})$ (by the sum of the estimates of the corresponding column $(\sum_1, \sum_2, \dots, \sum_n)$). The most important factor is with the maximum average value in the row (equation 3).

Now the comparison of transport hub alternatives for each risk factor should be conducted. The algorithm of matrix transformations remains the same (Tables 1 and 2).

Then matrixes of priority vectors and factor weight coefficients of were formed (Table 3).

$$\left(\begin{array}{cccccc} 1 / \sum_1 & p_2 / \sum_2 & \dots & p_n / \sum_n & \mu_1 = (1 / \sum_1 + p_2 / \sum_2 + \dots + p_n / \sum_n) / n \\ p_{n+1} / \sum_1 & 1 / \sum_2 & \dots & p_{2n} / \sum_n & \mu_2 = (p_{n+1} / \sum_1 + 1 / \sum_2 + \dots + p_{2n} / \sum_n) / n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{2n+1} / \sum_1 & p_{2n+2} / \sum_2 & \dots & 1 / \sum_n & \mu_n = (p_{2n+1} / \sum_1 + p_{2n+2} / \sum_2 + \dots + 1 / \sum_n) / n \end{array} \right). \tag{3}$$

TABLE I. TRANSPORT HUB ALTERNATIVES COMPARISON FOR A SINGLE RISK FACTOR

p_2 / \sum_2	TH ₁	TH ₂	...	TH _n
TH ₁	1	$k_2 = k(TH_1 / TH_2)$...	$k_n = k(TH_1 / TH_n)$
TH ₂	$k_{n+1} = 1 / k_2$	1	...	$k_{2n} = k(TH_2 / TH_n)$
...	1	...
TH _n	$k_{2n+1} = 1 / k_n$	$k_{2n+2} = 1 / k_{2n}$...	1
$\sum (1)$	$\sum_1 = k_1 + k_{n+1} + \dots + k_{2n+1}$	$\sum_2 = k_2 + 1 + \dots + k_{2n+2}$...	$\sum_n = k + k_{2n} + \dots + 1$

TABLE II. PRIORITY VECTORS BY RISK FACTORS

Transport hub	Priority vector
f_1	
TH ₁	$\omega_1 = (1 / \sum(1)_1 + k_2 / \sum(1)_2 + \dots + k_n / \sum(1)_n) / n$
TH ₂	$\omega_2 = (k_{n+1} / \sum(1)_1 + k / \sum(1)_2 + \dots + k_{n+3} / \sum(1)_n) / n$
...	...
TH _n	$\omega_n = (k_{2n+1} / \sum(1)_1 + k_{2n+2} / \sum(1)_2 + \dots + 1 / \sum(1)_n) / n$
f_2	
TH ₁	$\gamma_1 = (1 / \sum(2)_1 + z_2 / \sum(2)_2 + \dots + z_n / \sum(2)_n) / n$
TH ₂	$\gamma_2 = (z_{n+1} / \sum(2)_1 + 1 / \sum(2)_2 + \dots + z_{n+3} / \sum(2)_n) / n$
...	...
TH _n	$\gamma_n = (z_{2n+1} / \sum(2)_1 + z_{2n+2} / \sum(2)_2 + \dots + 1 / \sum(2)_n) / n$
f_n	
TH ₁	$\varphi_1 = (1 / \sum(n)_1 + m_2 / \sum(n)_2 + \dots + m_n / \sum(n)_n) / n$
TH ₂	$\varphi_2 = (m_{n+1} / \sum(n)_1 + 1 / \sum(n)_2 + \dots + m_{n+3} / \sum(n)_n) / n$
...	...
TH _n	$\varphi_n = (m_{2n+1} / \sum(n)_1 + m_{2n+2} / \sum(n)_2 + \dots + 1 / \sum(n)_n) / n$

The optimal transport hub is evaluated by formula:

$$TH_{opt} = TH \left(\min \left[\begin{matrix} \left(\begin{matrix} \omega_1 & \gamma_1 & \dots & \varphi_1 \\ \omega_2 & \gamma_2 & \dots & \varphi_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \omega_n & \gamma_n & \dots & \varphi_n \end{matrix} \right) \times \begin{pmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \\ \dots \\ \mu_n \end{pmatrix} \end{matrix} \right] \right). \quad (4)$$

Step 2. The last step dedicated for choosing a safe route (TR_{opt}) to the established before safe transport hub. This procedure is performed similarly to the first step, except the risk factors on the

transportation routes were taken into account ($F_2 = [k_1, k_2, \dots, k_n]$).

The cyclical repetition of the first and second steps lead to the formation of the optimal integrated cargo transportation in terms of transport safety (ITS_t):

$$ITS_t = [TH_{opt_1}; TR_{opt_1}] + [TH_{opt_2}; TR_{opt_2}] + \dots + [TH_{opt_n}; TR_{opt_n}]. \quad (5)$$

Thus, the algorithm for safe integrated transportation may be presented as follows (Fig. 2).

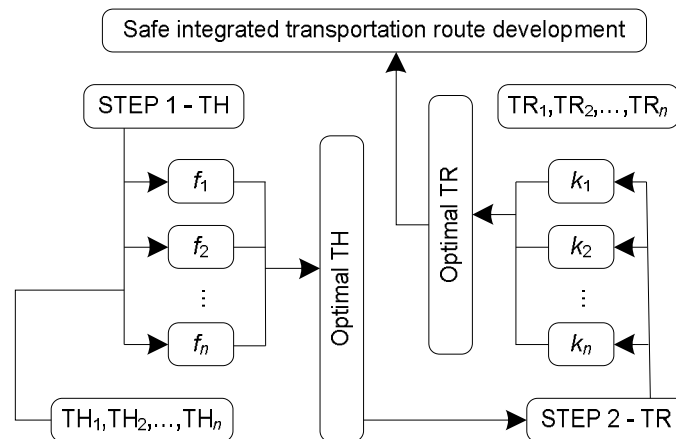


Fig. 2. Algorithm for safe integrated transportation route development

IV. CONCLUSIONS

Today, new types of transport systems is formed – integrated transport systems, which may be defined as the result of the synthesis of several transport systems, where different types of transport are effectively interact.

With the increasing demand for multimodal transportation, the issue of transport safety assessment is becoming more important, particularly in preservation of cargo and vehicles in each section of the transportation process. The development of methods for transport safety assessment remains a complex scientific task, the solving of which

depends on the economic efficiency and safety of the transportation process.

The practical use of the proposed methodological approach (AHP) allows at the designing stage of multimodal transportation routes to evaluate their alternatives, according to the selected criteria and take the necessary measures in order to improve transport safety.

REFERENCES

- [1] M. B. Yanchuk, S. V. Pron, V. P. Fedyna, and K. V. Cherednichenko, "The Scientific-Methodological Approaches to Transport Risks Management in Multimodal Freight Transportations," *Business Inform*, 2, 2020, pp. 198–209. <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2021-2-198-209>
- [2] Y. J. Seo, F. Chen, and S. Y. Roh, "Multimodal Transportation: The Case of Laptop from Chongqing in China to Rotterdam in Europe," *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 33, pp. 155–165, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2017.09.005>
- [3] K. V. Cherednichenko and M. D. Yanchuk, "Mathematical formalization of transport safety assessment," 9th World Congress "Aviation in the XXI-st century 2020", 2020.
- [4] D. Wang, "Assessing road transport sustainability by combining environmental impacts and safety concerns," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 777, 2019, 212–223. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.10.022>
- [5] H. Huang, C. Han, G. Xu, M. Jiang, and S. C. Wong, "Incorporating safety reliability into route choice model: Heterogeneous crash risk aversions," *Analytic Methods in Accident Research*, 25, 100–112, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.amar.2020.100112>
- [6] T. L. Saaty and R. Islam, "The Analytic Hierarchy Process in the Transportation Sector," *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, 634:79–91, 2010. https://doi.org/10.1007/978-3-642-04045-0_7

Received May 21, 2022

Cherednichenko Kostiantyn. ORCID 0000-0002-9388-3521. Post-graduate student. Assistant Professor.

Air Transportation Management Department, National Aviation University, Kyiv, Ukraine.

Education: National Aviation University, Kyiv, Ukraine, (2020).

Research area: transport safety assessment, integrated transportation systems, simulation modeling on transport.

Publications: 16.

E-mail: cherednichenko.kostya@gmail.com

Sokolova Olena. ORCID 0000-0001-6341-0195. PhD in Economics. Associate Professor.

Air Transportation Management Department, National Aviation University, Kyiv, Ukraine.

Education: National Aviation University, Kyiv, Ukraine, (2005).

Research area: multimodal transportation, supply chain management, aviation logistics.

Publications: 70.

E-mail: sokolovaelena89@gmail.com

К. В. Чередніченко, О. Є. Соколова. Перспективи застосування методу аналізу ієрархій для управління безпекою вантажних перевезень в інтегрованих транспортних системах

Інтегровані транспортні системи є досконалою формою організації перевезень, оскільки дозволяють комплексно використовувати конкуруючі види транспорту, забезпечуючи високий рівень транспортного обслуговування за доступними цінами та економію транспортних витрат. Зі зростанням попиту на такі перевезення все більшої актуальності набуває питання оцінки безпеки перевезень, зокрема щодо збереження вантажів і транспортних засобів на кожній ділянці транспортного процесу. У процесі технічного прогресу стає все важче досягти достатньо високого рівня транспортної безпеки, що дозволяє забезпечити національну безпеку та інтереси у сфері транспортної діяльності. На жаль, сьогодні управління безпекою на транспорті здійснюється переважно на організаційному рівні, який необхідно доповнювати оцінкою безпеки об'єктів транспортної системи. Розробка методів оцінки безпеки транспорту залишається складною науковою задачею, від вирішення якої залежить економічна ефективність і безпека транспортного процесу. Оскільки транспортна безпека – це стан транспортної системи, її оцінка включає оцінки безпеки різних транспортних інфраструктур. Таким чином, існує деяке уявне поле захисту об'єкта транспортної інфраструктури, яке забезпечує протидію комплексу існуючих або передбачуваних загроз. Запропонований алгоритм розробки безпечних маршрутів вантажних перевезень можна розділити на два циклічні етапи: визначення оптимального транспортного вузла з альтернатив; вибір оптимального маршруту транспортування між обраними транспортними вузлами. Метод забезпечує комплексну та раціональну основу для структурування проблеми прийняття рішення, для представлення та кількісного визначення її елементів, для зв'язку цих елементів із загальними цілями та для оцінки альтернативних рішень. Практичне використання запропонованого підходу дозволяє на етапі проектування мультимодальних маршрутів перевезень оцінити їх альтернативи, відповідно до обраних критеріїв, і вжити необхідних заходів для підвищення безпеки перевезень.

Ключові слова: авіаційні вантажні перевезення; інтегрована транспортна система; мультимодальні перевезення; транспортна безпека; управління безпекою.

Чередніченко Костянтин Валентинович. ORCID 0000-0002-9388-3521. Аспірант. Асистент.

Кафедра організації авіаційних перевезень, Національний авіаційний університет, Київ, Україна.

Освіта: Національний авіаційний університет, Київ, Україна, (2020).

Напрямок наукової діяльності: оцінка безпеки перевезення вантажів, інтегровані транспортні системи, імітаційні (симуляційні) моделі на транспорті.

Кількість публікацій: 16.

E-mail: cherednichenko.kostya@gmail.com

Соколова Олена Євгенівна. ORCID 0000-0001-6341-0195. Кандидат економічних наук. Доцент.

Кафедра організації авіаційних перевезень, Національний авіаційний університет, Київ, Україна.

Освіта: Національний авіаційний університет, Київ, Україна, (2005).

Напрямок наукової діяльності: мультимодальні перевезення, управління ланцюгами постачань, авіаційна логістика.

Кількість публікацій: 70.

E-mail: sokolovaelena89@gmail.com

К. В. Чередніченко, Е. Е. Соколова. Перспективы применения метода анализа иерархий для управления безопасностью грузовых перевозок в интегрированных транспортных системах

Интегрированные транспортные системы являются совершенной формой организации перевозок, поскольку позволяют комплексно использовать конкурирующие виды транспорта, обеспечивая высокий уровень транспортного обслуживания при доступных ценах и экономии транспортных расходов. С ростом потребности в таких перевозках все более актуальным становится вопрос оценки транспортной безопасности, особенно при сохранении грузов и транспортных средств на каждом участке перевозочного процесса. В процессе технического прогресса становится все труднее достичь достаточно высокого уровня транспортной безопасности, позволяющего обеспечить безопасность и интересы государства в сфере транспортной деятельности. К сожалению, управление транспортной безопасностью сегодня в основном осуществляется на организационном уровне, что необходимо дополнить оценкой безопасности объектов транспортной системы. Разработка методов оценки транспортной безопасности остается сложной научной задачей, от решения которой зависит экономическая эффективность и безопасность перевозочного процесса. Поскольку транспортная безопасность – это состояние транспортной системы, ее оценка включает оценку безопасности различных транспортных инфраструктур. Таким образом, возникает некое мнимое защитное поле объекта транспортной инфраструктуры, обеспечивающее противодействие совокупности существующих или предполагаемых угроз. Предлагаемый алгоритм построения маршрутов безопасных грузоперевозок можно разделить на два циклических этапа: определение оптимального транспортного узла из альтернатив; выбор оптимального маршрута перевозки между выбранными транспортными узлами. Метод обеспечивает всеобъемлющую и рациональную основу для структурирования проблемы принятия решения, для представления и количественной оценки ее элементов, для связи этих элементов с общими целями и для оценки альтернативных решений. Практическое использование предложенного подхода позволяет на этапе проектирования маршрутов мультимодальных перевозок оценивать их альтернативы по выбранным критериям и принимать необходимые меры для повышения транспортной безопасности.

Ключевые слова: авиационные грузовые перевозки; интегрированная транспортная система; мультимодальные перевозки; транспортная безопасность; управление безопасностью.

Чередніченко Константин Валентинович. ORCID 0000-0002-9388-3521. Аспірант. Асистент.

Кафедра організації авіаційних перевезень, Національний авіаційний університет, Київ, Україна.

Образование: Національний авіаційний університет, Київ, Україна, (2020).

Направление научной деятельности: оценка безопасности перевозки грузов, интегрированные транспортные системы, имитационные (симуляционные) модели на транспорте.

Количество публикаций: 16.

E-mail: cherednichenko.kostya@gmail.com

Соколова Елена Евгеньевна. ORCID 0000-0001-6341-0195. Кандидат экономических наук. Доцент.

Кафедра организации авиационных перевозок, Национальный авиационный университет, Киев, Украина.

Образование: Национальный авиационный университет, Киев, Украина, (2005).

Направление научной деятельности: мультимодальные перевозки, управление цепями поставок, авиационная логистика.

Количество публикаций: 70.

E-mail: sokolovaelena89@gmail.com