

І.М. Ганношина<sup>1</sup>, Ю.Г. Ковальов<sup>2</sup>, М.П. Долина<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Київський інститут водного транспорту ім. гетьмана П. Конашевича-Сагайдачного, Київ

<sup>2</sup>Льотна академія національного авіаційного університету, Кропивницький

<sup>3</sup>Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ОЦІНКА ОБҐРУНТОВАНОСТІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ АВТОМАТИЗОВАНОМУ ВИЗНАЧЕННІ МАРШРУТУ ПЕРЕХОДУ СУДНА

*Проведено оцінку обґрунтованості прийняття рішень при автоматизованому визначенні маршруту переходу судна, в якому багатокритеріальна задача вибору варіанту маршруту судна з певної кількості варіантів, що сформовані автоматизовано, вирішується з застосуванням методу аналізу ієрархії. Для автоматизації процесу визначення маршруту судна при плануванні переходу пропонується використати метод, що враховує маневрені характеристики судна, потреби в паливі та вплив факторів навігаційно-гідрографічної обстановки.*

**Ключові слова:** планування переходу судна, маршрут, автоматизація процесу визначення маршруту, дискретна модель ходу судна, теорія графів, метод аналізу ієрархії.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Одним з вирішальних умов успішних дій судноводія є обґрунтоване і своєчасне прийняття рішень про визначення маршруту судна при плануванні переходу і його коригування під час переходу в реальному масштабі часу [1]. Постійне зростання трафіку, розмірів і швидкостей суден зумовили необхідність постійного підвищення вимог до обґрунтованості планування і оперативності коригування маршруту судна, внаслідок чого зростають вимоги до якості навігаційних розрахунків, які є основою переходу. Автоматизоване визначення маршруту судна, дозволяє розрахувати достатню кількість маршрутів для кожного з варіантів плану переходу судна, з врахуванням факторів навігаційно-гідрографічної обстановки та маневрених характеристик судна.

Дослідження [1–2] показують, визначення маршруту судна при плануванні переходу знаходиться в тісному взаємозв'язку з іншими завданнями планування переходу, що включають в себе заходи що опосередковано впливають на вибір маршруту судна. Для кожного з планів переходу може бути визначений маршрут, котрий може виявитися неприйнятним з міркувань, наприклад часу переходу. Тому виникає необхідність аналізу та оцінки можливих варіантів планів переходу для підвищення обґрунтованості визначення маршруту судна при плануванні переходу.

Таким чином, автоматизація визначення маршруту судна при плануванні переходу для підвищення обґрунтованості та оперативності планування переходу є актуальною науково-технічною задачею.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В даний час існує ряд підходів до вирішення задачі ви-

значення маршруту переходу, які реалізовані з використанням методів динамічного програмування, теорії графів, методів варіаційного числення, методу ізохрон. У роботах [4–5] для вирішення цього завдання застосовуються оптимізаційні моделі, засновані на використанні генетичних алгоритмів. У роботах [6–12] завдання вибору найкоротшого маршруту агента, вирішується методами дослідження операцій на графах, методами штучного інтелекту на основі нейронних мереж. Однак перераховані підходи не дозволяють повною мірою врахувати чинники навігаційно-гідрографічної обстановки та не пропонують підходів для порівняння маршрутів. Таким чином, ключові завдання навігації: формалізація навігаційної обстановки, автоматична побудова фізично реалізованого маршруту судна при плануванні переходу і його корекція в реальному масштабі часу вимагають нових підходів до вирішення.

**Мета статті** – полягає в оцінці обґрунтованості прийняття рішень при автоматизованому визначенні маршруту переходу судна.

### Виклад основного матеріалу

Як показано автором у [13] можливо отримати варіанти маршруту судна автоматизовано, для цього треба формалізувати умови пошуку маршруту. Оскільки визначення маршруту судна при плануванні переходу знаходиться в тісному взаємозв'язку з іншими завданнями планування переходу, що включають в себе заходи, які опосередковано впливають на вибір маршруту судна. Пропонується автоматизовано визначити маршрут для кожного з прийнятних планів переходу. Кожний розрахований варіант маршруту має властиві йому характеристики (час переходу, безпека, необхідне паливо) і характе-

ристиками плану переходу, для якої він розрахований (вартість, навантаження). Виникає завдання вибору найбільш вигідного варіанта маршруту. Можливий підхід до вибору варіанта маршруту переходу базується на аналізі ієрархій для обґрунтування вибору найкращої із запропонованих альтернатив, характеристики яких є векторами з різнорідними компонентами.

Для оцінки обґрунтованості прийняття рішень при автоматизованому визначенні маршруту переходу судна визначимо  $Q$  факторів, які слід враховувати при підготовці рішення. Всі фактори проран-

жовано за значимістю (ступеня впливу на якість рішення), тобто задана кількісна оцінка значущості кожного  $i$ -го фактора  $\alpha_i$ , при цьому

$$\sum_{i=1}^Q \alpha_i = 1.$$

Перелік значущих чинників, які використовуються при вирішенні задачі визначення маршруту переходу судна, і кількісну оцінку їх значимості, отримаємо шляхом експертного опитування (табл. 1).

Таблиця 1

Перелік значущих чинників завдання визначення маршруту переходу судна, їх вага і спосіб обліку методами з різним ступенем автоматизації

№ з/п	Найменування фактору	Вага фактору $\alpha_j$	Спосіб обліку	
			без СППР	з СППР
1.	Положення і стан судна, його остійність і його обладнання; будь-які експлуатаційні обмеження; його допустима осадка в море, на фарватерах і в портах; дані його маневреності, включаючи будь-які обмеження	0,0895	Н	Н
2.	Будь-які особливості характеристики вантажу (особливо якщо вантаж є небезпечним) і його розміщення, укладання і кріплення на судні	0,0886	Н	Н
3.	Наявність компетентного і добре відпочившого екіпажу з метою здійснення переходу	0,0839	Ф	Н
4.	Оновлені свідоцтва і документи, що стосуються судна, його обладнання, екіпажу, пасажирів або вантажу, які повинні бути на судні	0,0806	Ф	Н
5.	Точні і відкориговані карти належного масштабу, які будуть використовуватися, і будь-які пов'язані з переходом постійні або тимчасові повідомлення мореплавцям і діючі радіонавігаційні попередження	0,0758	Ф	Н
6.	Точні і відкориговані лоції, описи вогнів і радіотехнічних засобів навігаційного огороження	0,0751	Ф	Н
7.	Судноводійні довідники по шляхах руху суден і карти планування переходу, видані компетентними органами	0,0749	О	П
8.	Атласи припливів і течій, а також таблиці припливів	0,0741	О	П
9.	Кліматологічні дані	0,0563	О	Ф
10.	Гідрографічні та океанографічні дані	0,0557	Ф	Н
11.	Метеорологічна інформація	0,0333	Ф	Н
12.	Доступність служб для вибору маршруту в залежності від погодних умов	0,0301	Ф	Н
13.	Встановлені шляхи руху суден і системи судових повідомлень, служби руху суден і заходи по захисту морського середовища	0,0282	О	П
14.	Інтенсивність руху суден, яка може відзначатися під час всього переходу	0,0238	Ф	Н
15.	Інформацію, що стосується лоцманської проводки, посадки і висадки лоцманів, якщо передбачається використання лоцмана, включаючи обмін інформацією між капітаном і лоцманом	0,0227	Ф	Н
16.	Доступну інформацію по порту, включаючи інформацію, що стосується доступності берегових засобів і устаткування для реагування в аварійних ситуаціях	0,0225	Ф	Н
17.	Будь-які додаткові питання, що відносяться до типу судна або його вантажу, районам, через які судно буде проходити, характеру майбутнього переходу	0,0205	О	П
18.	Помилки (при ході за траєкторію)	0,0199	О	Ф
19.	Евристичні знання судноводія	0,0179	О	Н
20.	Неточність вихідних даних	0,0118	О	Ф
21.	Неповнота вихідних даних	0,0111	О	Ф
22.	Інші фактори	0,0037	О	О

Примітка: О – опосередковане узагальнення, Ф – функціональне узагальнення, П – пряме узагальнення, Н – безпосереднє узагальнення.

Облік чинників будь-якої моделі (розрахункової задачі, методики) здійснюється різними методами їх узагальнення, кожен з яких характеризується своїми методичними похибками і своїми значеннями відносною середньою похибки, яка вноситься в розрахунки внаслідок неточного (узагальненого) обліку чинників. Значення цих похибок істотно залежать від способу обліку значущих чинників в моделі знаходиться в таких межах [14]:

$\beta_1 = 0$  при безпосередньому обліку фактора шляхом завдання його поточного значення, яке відповідає значенню в реальному процесі;

$\beta_2 = 0,4 \dots 0,49$  при простому узагальненні (заміні сукупності різних, але однорідних по фізичній змісту чинників одним фактором);

$\beta_3 = 0,6$  при функціональному і концептуальному узагальненні різнорідних чинників з метою відображення їх в моделі однією представницькою величиною;

$\beta_4 = 1$  при непряму або неявному обліку чинників.

Способи обліку значущих чинників методами з різним ступенем автоматизації наведені в табл. 1.

Коефіцієнт обґрунтованості ( $K_{об}$ ) методу можна представити в наступному вигляді [14]:

$$K_{об} = 1 - \sum_{j=1}^4 \left( \beta_j \cdot \sum_{i \in g_j} \alpha_i \right),$$

де  $g_j$  – множина факторів, які враховуються  $j$ -м способом узагальнення.

Таким чином, коефіцієнти обґрунтованості прийняття рішень при визначенні маршруту переходу судна залежно від ступеню автоматизації складуть:

– при визначенні маршруту традиційним способом без використання системи підтримки прийняття рішень  $K_{об} = 0,56$ ;

– при визначенні маршруту з використанням системи підтримки прийняття рішень  $K_{об} = 0,91$ .

Коефіцієнт обґрунтованості при автоматизованому вирішенні задачі визначення маршруту переходу судна на 35% більше, ніж в разі вирішення зазначених завдань без використання системи підтримки прийняття рішень (рис. 1.5).

Оцінивши обстановку, капітан судна обирає достатню кількість планів переходу. Обрані плани переходу формалізуються у вигляді матриці штрафів за прокладку маршруту через елементи простору

[13]. Для кожного з планів переходу розраховується маршрут з використанням методу визначення варіанту маршруту судна при плануванні переходу. Отримані варіанти маршруту ранжуємо на основі аналізу ієрархій з використанням заздалегідь сформованої узгодженої матриці суджень експертів, про характеристики варіантів маршруту та планів переходу, для яких вони розраховані.

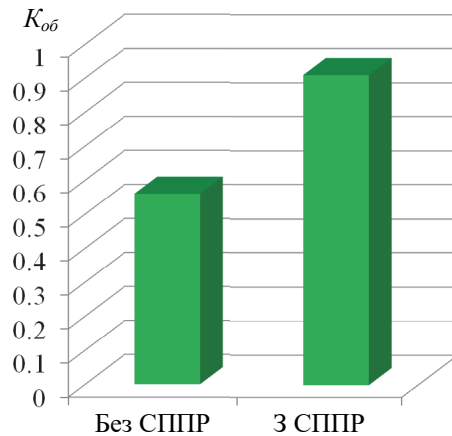


Рис. 1. Порівняння обґрунтованості планування маршруту переходу судна з різним ступенем автоматизації

## Висновки

Аналіз процесу планування переходу судна показав, що задача визначення маршруту знаходиться в тісному взаємозв'язку з іншими задачами планування переходу, що включають в себе заходи, які опосередковано впливають на вибір маршруту судна. Тому виникає необхідність аналізу та оцінки можливих варіантів планів переходу для підвищення обґрунтованості визначення маршруту судна при плануванні переходу. Для вибору найкращої із альтернатив пропонується використати аналіз ієрархій.

Таким чином отримав подальший розвиток метод вибору варіанту маршруту судна при автоматизованому визначенні маршруту для підвищення обґрунтованості та оперативності планування переходу.

Коефіцієнт обґрунтованості при автоматизованому вирішенні задачі визначення маршруту переходу судна на 35% більше, ніж в разі вирішення зазначених завдань без використання системи підтримки прийняття рішень.

## Список літератури

1. Совершенствование теории судовождения на внутренних водных путях: автореф. дис. ... д-ра. техн. наук: 05.22.19. / Тихонов В.И. – Н. Новгород, 2011. – 39 с.
2. Васьков В.А. Формализация знаний о маневрировании судна в портовых водах на основе нечетких функций / В.А. Васьков, А.А. Мироненко // Эксплуатация морского транспорта. – 2010. – № 2(60). – С. 39-43.
3. Мироненко А.А. Модель программного движения судна в стесненных водах / А.А. Мироненко // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2013. – № 2. – С. 65-70.

4. Modeling and Optimization Algorithms in Ship Weather Routing / Walther L., Rizvanolli A., Wendebourg M., Jahn C. // *International Journal of e-Navigation and Maritime Economy*. – 2016. – Vol. 4. – pp. 31–45.
5. Климовский А.О. Подготовка судоводителей с использованием программного обеспечения с функцией планирования и исполнения перехода / А.О. Климовский, В.А. Рыжов // *Компьютерные инструменты в образовании*. – 2017. – № 6. – С. 44-53.
6. Simple Local Path Planning Algorithm for Autonomous Mobile Robots / N. Buniyamin, W. A. J. Wan Ngah, N. Sariff, Z. Mohamad // *Int. J. of Systems Applications, Eng. & Development*. – 2011. – Issue 2. – Vol.5. – pp.151-159.
7. Depth Space Approach to Human-Robot Collision Avoidance / F. Flacco, T. Kroger, A. De Luca, O. Khatib // *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation RiverCentre*. – Saint Paul, Minnesota, USA, – 2012. – pp.338-345.
8. Чертков А.А. Рекурсивный метод оптимизации логистических путей средствами MATLAB / А.А. Чертков, А.А. Вардомская, А.А. Дмитриев // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова*. – 2015. – № 6 (34). – С. 196-204.
9. Gao S. Real-time traveler information for optimal adaptive routing in stochastic time-dependent networks / S. Gao, H. Huang // *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. – 2012. – Vol. 21. – Is. 1. – pp. 196–213. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2011.09.007>.
10. Kirsanov A. Path planning for the autonomous underwater vehicle / A. Kirsanov, S. Anavatti, T. Ray // *International Conference on Swarm, Evolutionary, and Memetic Computing*. – Springer, Cham, 2013. – pp. 476-486. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-03756-1>.
11. A survey on path planning for persistent autonomy of autonomous underwater vehicles / Z. Zeng, L. Lian, K. Sammut, F. He, Y. Tang, A. Lammas // *Ocean Engineering*. – 2015. – Vol. 110. – Part A. – pp. 303-313. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.10.007>.
12. Чертков А.А. Автоматизация выбора кратчайших маршрутов судов на основе модифицированного алгоритма Беллмана–Форда / А.А. Чертков // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова*. – 2017. – Т. 9. – № 5. – С. 1113-1122. <https://doi.org/10.21821/2309-5180-2017-9-5-1113-1122>.
13. Підхід до вирішення завдання автоматизації процесу визначення маршруту судна при плануванні переходу / О.М. Тимошук, І.М. Ганношина, Д.О. Пархоменко, Д.О. Ткачук // *Новітні технології. Збірник наукових праць Приватного вищого навчального закладу “Університет новітніх технологій”*. – 2019. – Випуск 1(8). – С. 105-111. <https://doi.org/10.31180/2524-0102/2019.1.08>
14. Моделирование боевых действий войск (сил) противовоздушной обороны та інформаційне забезпечення процесів управління ними: монографія / В.П. Городнов, Г.А. Дробаха, М.О. Єрмошин та ін. – Х.: ХВУ, 2004. – 409 с.

## References

1. Tihonov, V.I. (2011), “*Sovershenstvovanie teorii sudovozhdeniya na vnutrennih vodnykh putyakh: avtoref. dys.*” [Improving the theory of navigation on inland waterways: avtoref. dissertation], N. Novgorod, 39 p.
2. Vaskov, V.A. and Mironenko, A.A. (2010), “Formalizatsiya znaniy o manevrirovanii sudna v portovykh vodakh na osnove nechetkikh funktsiy” [Formalization of knowledge about ship maneuvering in port waters based on fuzzy functions], *Eksploatatsiya morskogo transporta*, No. 2 (60), pp. 39-43.
3. Mironenko, A.A. (2013), “Model programmogo dvizheniya sudna v stesnennykh vodakh [Model of the program movement of the vessel in the constrained waters], *Mehatronika, avtomatizatsiya, upravlenie*, No. 2, pp. 65-70.
4. Walther, L., Rizvanolli, A., Wendebourg, M. and Jahn, C. (2016), Modeling and optimization algorithms in ship weather routing, *International Journal of e-Navigation and Maritime Economy*, Vol. 4, pp. 31-45.
5. Klimovskiy, A.O. and Ryizhov, V.A. (2017), “Podgotovka sudovoditeley s ispolzovaniem programmogo obespecheniya s funktsiyey planirovaniya i ispolneniya perehoda” [Training navigators using software with the function of planning and execution of the transition], *Kompyuternyye instrumenty v obrazovanii*, No. 6, pp. 44-53.
6. Buniyamin, N., Wan Ngah, W.A.J., Sariff, N. and Mohamad, Z. (2011), Simple Local Path Planning Algorithm for Autonomous Mobile Robots, *Int. J. of Systems Applications, Eng. & Development*, Issue 2, Vol. 5, pp.151-159.
7. Flacco, F., Kroger, T., De Luca, A. and Khatib, O. (2012), Depth Space Approach to Human-Robot Collision Avoidance *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation RiverCentre*, pp.338-345.
8. Chertkov, A.A., Vardomskaia, A.A. and Dmitriev, A.A. (2015), Rekursivnyy metod optimizatsii logisticheskikh putey sredstvami MATLAB, *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova*, No. 6 (34), pp. 196-204.
9. Gao, S. and Huang, H. (2012), Real-time traveler information for optimal adaptive routing in stochastic time-dependent networks, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 21, Issue 1, pp. 196-213. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2011.09.007>.
10. Kirsanov, A., Anavatti, S. and Ray, T. (2013), Path planning for the autonomous underwater vehicle, *International Conference on Swarm, Evolutionary, and Memetic Computing*, pp. 476-486. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-03756-1>.
11. Zeng, Z., Lian, L., Sammut, K., He, F., Tang, Y. and Lammas, A. (2015), A survey on path planning for persistent autonomy of autonomous underwater vehicles, *Ocean Engineering*, Vol. 110, Part A, pp. 303-313. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.10.007>.
12. Chertkov, A.A. (2017), Automation selection shortcuts routes of ships on the basis of modified BellmanFord Algorithm, *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova*, pp. 1113-1122. <https://doi.org/10.21821/2309-5180-2017-9-5-1113-1122>.
13. Tymoshchuk, O.M., Hannoshyna, I.M., Parkhomenko, D.O. and Tkachuk, D.O. (2019), “Pidkhd do vyrishennia zavdannia avtomatyzatsii protsesu vyznachennia marshrutu sudna pry planuvanni perekhodu” [Approach to the solution of the problem of automation of the process of determining the route of the ship during the planning of the transition], *Novitni tekhnologii. Zbirnyk naukovykh prats Pryvatnoho vyshchoho navchalnoho zakladu “Universytet novitnikh tekhnologii”*, No. 1(8), pp. 105-111. <https://doi.org/10.31180/2524-0102/2019.1.08>.

14. Horodnov, V.P., Drobakha, H.A., Yermoshin, M.O. and other (2004), "Modelyuvannya boyouvy Diy voysk (syl) protipovitryanoi oborony ta informatsiyne zabezpechennya protsesiv upravlinnya nymy: monografiya" [Modeling of combat operations of air defense forces (forces) and information provision of their management processes: monograph], KHVU, Kharkiv, 409 p.

Надійшла до редколегії 4.01.2019

Схвалена до друку 5.03.2019

#### Відомості про авторів:

##### Ганношина Ірина Миколаївна

старший викладач Київського  
Інституту водного транспорту  
ім. гетьмана Петра Конашевича – Сагайдачного,  
Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-5810-2462>

##### Ковальов Юрій Григорович

кандидат технічних наук  
доцент Льотної академії національного  
авіаційного університету,  
Кропивницький, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-1729-2033>

##### Долина Михайло Петрович

кандидат військових наук доцент  
старший науковий співробітник  
Харківського національного університету  
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-0872-4033>

#### Information about the authors:

##### Irina Gannoshina

Senior Instructor  
Hetman Petr Konashevich – Sagaidachny  
Kyiv Institute of Water Transport,  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-5810-2462>

##### Yurii Kovalov

Candidate of Technical Sciences  
Senior Lecturer of Flight Academy  
of the National Aviation University,  
Kropyvnytskyi, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-1729-2033>

##### Mihailo Dolyna

Candidate of Military Sciences Associate Professor  
Senior Research Associate  
of Ivan Kozhedub Kharkiv  
National Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-0872-4033>

### ОЦЕНКА ОБОСНОВАННОСТИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ОПРЕДЕЛЕНИИ МАРШРУТА ПЕРЕХОДА СУДНА

И.Н. Ганношина, Ю.Г. Ковалев, М.П. Долина

*Проведена оцінка обґрунтованості прийняття рішень при автоматизованому визначенні маршруту переходу судна, в якому багатокритеріальна задача вибору варіанта маршруту судна з визначеної кількості варіантів, сформовані автоматизовано, вирішується з використанням методу аналізу ієрархій. Для автоматизації процесу визначення маршруту судна при плануванні переходу пропонується використовувати метод, який враховує маневренні характеристики судна, потреби в паливі та вплив факторів навігаційно-гідрографічної обстановки.*

**Ключевые слова:** планирование перехода судна, маршрут, автоматизация процесса определения маршрута, дискретная модель ходу судна, теория графов, метод анализа иерархий.

### EVALUATION OF THE JUSTIFICATION OF DECISION-MAKING AT AUTOMATED DETERMINATION OF THE SHIP TRANSFER ROUTE

I. Gannoshina, Yu. Kovalov, M. Dolyna

*The assessment of the validity of decision-making with the automated determination of the route of the vessel's transition, in which the multicriteria task of choosing a vessel's route from a certain number of options, generated automatically, is solved using the hierarchy analysis method. In order to improve the reasonableness and efficiency of planning the transfer of the vessel, it is proposed for each of the options for the vessel's transfer plan to determine the route of the vessel, which are ranked according to the characteristics of the route variant and the vessel's transition plan for which it was designed. An analysis of the ship's transition planning process showed that the task of determining the route is closely related to other tasks of transition planning, including measures that indirectly affect the choice of the vessel's route. Therefore, there is a need to analyze and evaluate possible transition plans to increase the feasibility of determining the ship's route when planning a transition. Assessing the situation, the captain of the vessel chooses a sufficient number of transition plans. The selected transition plans are formalized in the form of a matrix of penalties for laying a route through the elements of space. For each of the transition plans, a route is calculated using the method of determining the vessel's route variant when planning the transition. The obtained route options are ranked based on the analysis of hierarchies, using a pre-formed, coordinated matrix of expert judgments on the characteristics of route options and transition plans for which they are calculated.*

**Keywords:** ship transition planning, route, automation of the route determination process, hierarchy analysis method.