

УДК 339:519.8

DOI: [https://doi.org/10.34169/2414-0651.2021.2\(30\).35-43](https://doi.org/10.34169/2414-0651.2021.2(30).35-43)

Я. П. РОМАНЧУК, кандидат фіз.-мат. наук,
доцент

<https://orcid.org/0000-0003-3993-0128>

Б. І. СОКІЛ, доктор технічних наук, начальник
кафедри

<https://orcid.org/0000-0001-8551-7348>

А. В. БАРАНОВ, заступник начальника
факультету

<https://orcid.org/0000-0003-0755-3145>

(Національна академія сухопутних військ імені
гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів)

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНІЧНОГО РІВНЯ ВІЙСЬКОВИХ АВТОКРАНІВ

Стаття присвячена використанню методу аналізу ієрархій Т. Сааті для оптимального вибору управлінського рішення. Наведені основні етапи розв'язування задачі. Використання методу аналізу ієрархій проілюстроване практично на задачі про оцінювання технічного рівня деяких моделей військових автокранів. Обґрунтовано підхід щодо оцінки окремих критеріїв у випадку їх суперечливості.

Ключові слова: метод аналізу ієрархій, нормовані вектори локальних пріоритетів критеріїв і альтернатив, оцінювання технічного рівня військових автокранів.

ВСТУП

З метою оптимізації транспортних перевезень або ефективного виконання військово-оперативних завдань доводиться вирішувати питання, пов'язані з оцінюванням техніко-економічних або тактико-технічних характеристик транспортних засобів (ТЗ). Серед спеціалізованих ТЗ особливе місце належить військовим автомобільним кранам, проектування, створення та оснащення яких прискорюється останнім часом у зв'язку з військовими конфліктами та зростаючими вимогами не тільки щодо їх технічного рівня та функціональних можливостей, а й щодо покращення захисту екіпажу, умов його роботи.

Стратегічні, тактичні та оперативні рішення доводиться приймати в умовах невизначеності, неточності й неповноти інформації. Використання науково обґрунтованих методів, зокрема методів математичного моделювання, дозволяє зробити цей процес більш прозорим і об'єктивним, поєднати математичний апарат із досвідом та інтуїцією особи, що приймає рішення, та вдосконалювати його [1 – 3]. Проблема полягає у виборі з ряду моделей військових автокранів тої, технічний рівень якої є найвищим. При цьому доводиться враховувати багато характеристик – критеріїв оптимізації, альтернатив. Для розв'язання проблеми в роботі використовується метод аналізу ієрархій (надалі МАІ), – як математичний інструмент системного підходу до розв'язання багатокритеріальної задачі прийняття рішення.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Проблемі прийняття рішень при наявності багатьох критеріїв присвячені праці таких вітчизняних і зарубіжних учених як В. Вітлінський, С. Наконечний, М. Перестюк, Т. Сааті, О. Тригуб та ін. МАІ, розроблений Томасом Сааті [4], є перевіреним, ефективним методом прийняття складних рішень і може допомогти на основі аналізу зібраних даних і кількісної оцінки відносної величини критеріїв у прискоренні процесу прийняття рішень. Різноманітні застосування МАІ у військовій справі висвітлені в статті [5].

С. Старчевич та ін. [6], використовуючи МАІ та аналіз обробки даних (DEA), розглядають проблему вибору локального ТЗ для оснащення військових частин, які повинні брати участь у багатонаціональних операціях. Автори відзначають, що оптимальний вибір локального ТЗ є важливим фактором, який впливає на мобільність користувача. Визначення відносної важливості критеріїв, які використовували для оцінки потенційних альтернатив, проводили методом МАІ. Результати, одержані за допомогою МАІ, далі використовували в моделі DEA для вибору оптимального локального ТЗ.

МАІ, як багатокритеріальний інструмент прийняття рішень, використовується для пошуку найбільш підходящих кранів у будівництві. Зокрема, Д. Далала та ін. на основі експертних оцінок і розвинутого ними МАІ встановили їх адекватність і прийнятну точність результатів вибору типу крану в будівництві залежно від безпеки та умов роботи. Вони показали, що зі збільшенням

ваги мобільних кранів зростає їх ранг серед інших кранів, а практичне застосування МАІ є кроком до усунення упередженості чи упереджень за рішенням експерта, оскільки при цьому висновки робляться прозоро [7].

М. Варіс та ін. головну мету процесу прийняття рішення бачать (на основі оцінювання технічного рівня) у відборі автокранів, які найбільш придатні до виконання запланованих завдань із високою ефективністю, продуктивністю та економічною життєздатністю, стосовно їх закупівель для будівництва. Вартість та технічні характеристики автокранів розглядаються як ключові параметри поряд із продуктивністю, життєздатністю системи, зручністю експлуатації, впливом на зовнішнє середовище та соціальними вигодами [8].

Сьогодні провідними інноваційними постачальниками рішень з обробки військових вантажів для постійно мінливого логістичного середовища є англійські державна компанія Hiab Limited [9] та лідер комерційного ринку компанія Atlas [10]. Компанія Hiab Limited, яка була створена в 1985 році, – це спеціальний підрозділ, який розробляє, постачає та підтримує швидке, ефективне та гнучке обладнання для механічної обробки вантажів виключно для світового сектору військових транспортних засобів.

Цікавими є напрацювання, зокрема, німецьких кранобудівників [11]. Військові крани, як і мобільні крани компанії Liebherr, змонтовані на всюдихідному шасі, що робить їх придатними до використання як поза дорогами, так і для їзди дорогами загального користування. Спеціально для евакуації та буксирування пошкодженої бойової техніки пропонується автокран-евакуатор G-BKF. Це багатоцільовий, універсальний транспортний засіб для евакуації, буксирування або підйому техніки (вантажів).

Безпека особового складу є пріоритетом у цій моделі. Кабіна водія (фірми Rheinmetall) захищає екіпаж від вогню стрілецької зброї, вибухів наземних мін і саморобних вибухових пристроїв. Встановлена в кабіні система фільтрації забезпечує безпеку екіпажу від наслідків радіоактивного, бактеріологічного та хімічного заражень. Броньована кабіна водія на 250 мм довші від кабіни водія в серійному виконанні, що дає можливість розміщення в ній засобів індивідуального захисту екіпажу та вбудовування військової техніки зв'язку. У конструкції броньованої кабіни водія використовуються двошарові сталеві елементи. Прозоре броньоване скло задовольняє вимогам балістичного захисту і Правил допуску транспортних засобів до руху. Броньована операторська кабіна керування краном передбачає захист від обстрілу зі стрілецької зброї під час роботи крану. Кабіну виготовляють із металокераміки, що дозволяє зменшити загальну вагу. При цьому до її сталевій несучої конструкції пригвинчуються спеціально виготовлені металокерамічні пластини.

У 2019 році армія США замовила 40 всюдихідних важких (вантажопідйомністю до 60 т) військових автокранів Grove GMK 4060 HC з бронекабінами для роботи в «гарячих точках» і бойових зонах, поставки яких мають відбутися протягом 2020 – 2024 років [12].

Сухопутні війська Туреччини одержать найближчим часом новітній багатоцільовий броньований автокран MPARC (multi-purpose armored recovery crane) вантажопідйомністю біля 40 т у кількості 29 одиниць. Автокран оснащений броньованою кабіною, призначеною для чотирьох членів екіпажу. Зовнішні камери забезпечують круговий огляд на 360 градусів. На даху кабіни водія встановлено бойовий модуль з дистанційним керуванням. Там же знаходяться система придушення вибухових пристроїв, система захисту від хімічної, бактеріологічної та ядерної атаки (CBRN), а також система виявлення та придушення спалаху [13].

У автокранах військового призначення (нового покоління) реалізовані додаткові вимоги, які полягають у наступному [14]:

- установлення на механізми підйому вантажу, зміни вильоту стріли подвійних гальм, які гарантуватимуть роботу з небезпечними вантажами;
- монтаж робочого устаткування на колісних шасі, передбачених типажем сучасної військової автомобільної техніки та засобами авто-технічного забезпечення;
- забезпечення можливості роботи без опор;
- можливість роботи перед кабіною базового шасі;
- установлення світломаскувального освітлення;
- установлення переговорного пристрою та засобів військового зв'язку;
- забезпечення можливості опускання вантажу та стріли, обертання поворотної частини, а також зняття з виносних опор при непрацюючому двигуні в аварійних випадках або відмові гідравлічної системи тощо.

Останнім часом російські Збройні Сили почали одержувати іванівські автокрани військового призначення нового покоління [14], в конструкції яких упроваджені сучасні досягнення в галузі кранобудування. Серед них – крани автомобільні військового призначення KC-3574M2, KC-3574M3 та KC-55729-7M вантажопідйомністю 16 і 32 т відповідно, а також кран виробничо-технічного призначення KC-6973БМ-У1 вантажопідйомністю 50 т. Останній також виконує відповідальні роботи з небезпечними вантажами.

Значні кроки в напрямку покращення вітчизняних військових автокранів зроблені також і в Україні. Різноманітність армійських вантажів разом із мінливим оборонним середовищем на сході країни у зв'язку з російською агресією та зростаючою потребою в готовності до швидкого реагування вимагають від систем постачання більшої гнучкості, мобільності та швидкості. Так, Дрогобицький завод автокранів, відповідно до потреб військових, запропонував нову модель автокрану КТА-25 на базі військового шасі КрАЗ 63221. Цей автокран споживає палива менше, ніж його попередні аналоги, але є більш потужним і простішим у керуванні. Його технічні можливості дозволяють ефективно працювати в зоні бойових дій. КТА-25 відрізняється кращими характеристиками, захистом екіпажу, вдосконаленнями для роботи на певних небезпечних територіях і об'єктах [15]. Машина уже пройшла відомчі заводські та польові випробування на полігонах «Широкий лан» та «Яворівський».

На нашу думку, є перспективним використання для крану КТА-25 нового повнопривідного самохідного шасі КрАЗ-7634НЕ колісної формули 8х8. Від своїх попередників воно відрізняється високою прохідністю, більш потужним (460 к. с.) двигуном і автоматичною коробкою передач, максимальний крутний момент якої розрахований на 2500 Н·м. Кабіна водія має високі ергономічні показники, низька посадка якої (2800 мм) дозволяє зручно розташовувати над дахом різне спецобладнання, а широке лобове скло забезпечує відмінний огляд дороги [16].

Однак, питання розроблення предметно орієнтованої системи підтримки прийняття рішень при оцінюванні технічного рівня автотехніки (особливо військової) залишається недостатньо дослідженим, що обумовлює актуальність обраного напрямку досліджень.

Мета статті полягає в використанні методу аналізу ієрархій Т. Сааті для дослідження вибору кращої з розглянутих моделей військових автокранів на основі оцін-

ки їх технічного рівня за умов суперечливості окремих критеріїв.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Використання підходів, заснованих на методі аналізу ієрархій, дозволило визначити ефективний транспортний засіб, суттєво зменшити фінансові витрати, а також забезпечити адекватне виконання поставлених задач [3, 17 – 19]. Під ефективним будемо розуміти далі такий ТЗ, техніко-економічні й тактико-експлуатаційні характеристики якого найкраще відповідають заданим умовам.

Для оцінювання та вибору кращої за її техніко-експлуатаційними характеристиками моделі були обрані 6 моделей автомобільних кранів (табл. 1), які мають широке застосування у військовій справі, або тільки поступають на озброєння військових інженерних підрозділів [11, 14, 20, 21].

За вхідні дані використовували наступні:

Таблиця 1

Порівняльні характеристики автомобільних кранів										
№ з/п	Технічні характеристики		Вантажопідйомність, т максимальна	Виліт стріли при максимальній вантажопідйомності, м	М _{max.} (вантажний момент), т·м	Вантажний момент при повному вильоті стріли, т·м	Висота підіймання, м	Глибина опускання, м	Маса крану, т	Максимальна швидкість руху, км/год.
	Марка техніки									
1	КТА-25 (Дрогобич, Україна)		25	3,2	80	18	21,7	13	26,0	80
2	КС-55729-7М (Клинці, РФ)		32	3,9	125	17,4	31,8	5	27,4	60
3	КТА-25Е (Дрогобич, Україна)		25	3,2	80	9,25	21,5	13	25,9	70
4	КС-3574 М2 (Іваново, РФ)		16	3,0	48	16,8	14,7	5	19,4	60
5	ХСМГ, QY25 J (Китай)		25	3,8	94	12,3	38,5	4,8	27,8	75
6	LIEBHERR, G-BKF (ФРН)		22,8	5,75	131	10,8	20,9	4	23,0	80

Примітка: окремі характеристики можуть змінюватися або містити неточності.

Зауважимо, що задача оцінювання технічного рівня військової техніки значною мірою залежить від системи переваг особи чи осіб, які здійснюють вибір, і має багатокритеріальний характер. Задача прийняття рішення полягає в виборі кращого, оптимального варіанту серед заданої множини альтернатив, за якого функція цілі (мети) приймає максимальне значення.

На відміну від традиційних методів, МАІ використовує попарні порівняння. Попарні порівняння дозволяють отримати точні співвідношення та масштаб пріоритетів. Метод, розроблений Томасом Сааті, є перевіреним, ефективним способом прийняття складних рішень. Протягом сорока років він постійно вдосконалювався та розвивався [22]. Незважаючи на те, що його можуть використовувати й особи, які працюють над прямими рішеннями багатокритеріальних задач, МАІ є найбільш корисним у тих випадках, коли над складними проблемами працюють групи людей. Це особливо

стосується випадків, коли є високі ставки, враховуються людські сприйняття та судження, де рішення мають довгостроковий характер і важливі наслідки. Він має унікальні переваги тоді, коли важливі елементи рішення важко кількісно визначити або порівняти, або коли спілкуванню між членами команди перешкоджають їхні різні спеціалізації, термінології чи амбіції.

МАІ має особливе застосування в груповому прийнятті рішень і використовується сьогодні в усьому світі в широкому спектрі ситуацій прийняття рішень у таких галузях як уряд, бізнес, промисловість, військова справа, охорона здоров'я, суднобудування та освіта [5].

Відповідно до методу Т. Сааті будувалася ієрархія критеріїв (рис. 1) і застосовувалися попарні порівняння альтернативних варіантів за різними критеріями, а також виконувалося подальше ранжування набору альтернатив за всіма критеріями.

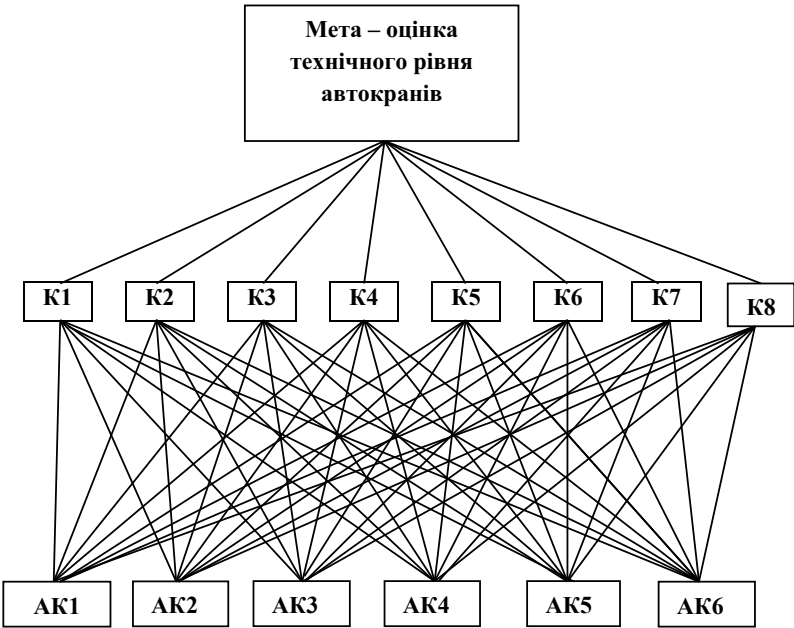


Рис. 1. Ієрархія оцінки технічного рівня автокранів

Метод аналізу ієрархій у випадку автокранів, що розглядаються, складається з наступних етапів:

1. Структурування задачі у вигляді ієрархічної структури (мета – визначення моделі автокрану з найкращими характеристиками, критерії – характеристики ($N=8$), а альтернативи – моделі ($M=6$)).

2. На другому етапі відбувалося оцінювання значущості кожного з критеріїв стосовно головної мети. Для оцінки значущості критеріїв при їх попарному порівнянні використовували відомості табл. 2.

Таблиця 2

Шкала відносної важливості	
Ступінь	Визначення важливості
1	Однакова значущість
3	Незначна перевага значущості одного елементу над іншим
5	Суттєва або сильна перевага одного елементу над іншим
7	Сильна перевага одного елементу над іншим
9	Абсолютна перевага одного елементу над іншим
2, 4, 6, 8	Проміжні значення між сусідніми важливостями

На основі аналізу важливості наведених у табл. 1 критеріїв стосовно досягнення сформульованої мети було проведене експертне оцінювання важливості цих критеріїв, результати якого (в балах) наведені в табл. 3. Для досягнення поставленої мети далі робився вибір

(оцінка) військових автомобільних кранів з найкращим технічним рівнем на основі опрацювання інформації про альтернативи (в нашому випадку – це марки військових автокранів – AK1, ..., AK6) та експертної оцінки важливості критеріїв (характеристики – K1, ..., K8).

Таблиця 3

Експертна оцінка важливості параметрів задачі (критеріїв)									
Критерії Позначення	Вантажопідйомність, т максимальна	Виліт стріли при максимальній вантажопідйомності, м	$M_{\max}$ (вантажний момент), т·м	Вантажний момент при повному вильоті стріли, т·м	Висота підіймання, м	Глибина опускання, м	Маса крану, т	Максимальна швидкість руху, км/год	
	К1	К2	К3	К4	К5	К6	К7	К8	
	Бал	9	5	7	8	4	6	3	5

3. Для визначення пріоритетів серед варіантів рішень та ваг критеріїв проводили їх попарні порівняння «кожний-із-кожним» на основі врахування даних експертної оцінки з табл. 3. Результатом попарних порівнянь є оцінка рівня переваги елементів матриці *A* [3, с. 146]. Таким чином виконувалося попарне оцінювання значущості критеріїв, результати якого наведені в табл. 4.

Таблиця 4

Оцінка значущості критеріїв

К	К1	К2	К3	К4	К5	К6	К7	К8	Середнє геометричне	Нормований вектор
К1	1	1,8	1,2857	1,125	2,25	1,5	3	1,8	1,6201	0,191489
К2	0,5556	1	0,7143	0,625	1,25	0,8333	1,6667	1	0,9000	0,106383
К3	0,7778	1,4	1	0,875	1,75	1,1667	2,3333	1,4	1,2600	0,148936
К4	0,8889	1,6	1,1429	1	2	1,3333	2,6667	1,6	1,4400	0,170213
К5	0,4444	0,8	0,5714	0,5	1	0,6667	1,3333	0,8	0,7200	0,085106
К6	0,6667	1,2	0,8571	0,75	1,5	1	2	1,2	1,0800	0,127660
К7	0,3333	0,6	0,4286	0,375	0,75	0,5	1	0,6	0,5400	0,063830
К8	0,5556	1	0,7143	0,625	1,25	0,8333	1,6667	1	0,9000	0,106383
Сума	5,2222	9,4	6,7143	5,875	11,75	7,8333	15,667	9,4	8,4603	1

Узгодженість експертної оцінки критеріїв визначалася так:

$$\lambda_{\max} = 5,22 \cdot 0,1915 + 9,4 \cdot 0,1064 + 6,71 \cdot 0,1489 + 5,875 \cdot 0,1702 + 11,75 \cdot 0,0851 + 7,83 \cdot 0,1277 + 15,67 \cdot 0,0638 + 9,4 \cdot 0,1064 = 8,01.$$

$$I_y = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) = (8,01 - 8) / 7 = 0,00143.$$

Тоді, згідно даних табл. 5 для $n=8$ маємо, що $B_y = \frac{I_y}{I_e} = \frac{0,00143}{1,41} = 0,001$ або 0,1 %, тобто узгодженість є в межах норми (менша 10 %).

Таблиця 5

Значення випадкового індексу узгодженості за Т. Сааті [4]

<i>n</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>Ie</i>	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

4. На цьому етапі проводили попарне порівнювання усіх альтернатив (АК) відносно критеріїв (К) даної ієрархії за кожним із восьми критеріїв, на основі чого були обчислені нормовані вектори пріоритетів альтернатив (табл. 6). Відзначимо, що тут кожному рядку відповідає одна альтернатива. Далі, виходячи з табл. 6, з восьми нормованих векторів формували матрицю, стовпцями якої є локальні нормовані вектори по кожному з критеріїв.

Таблиця 6

Покритеріальне оцінювання

Оцінка значущості за критерієм К1									
К1	АК1	АК2	АК3	АК4	АК5	АК6	Добуток	Сер. геом.	Норм. вектор
АК1	1	0,7812	1	1,5625	1	1,0965	1,3385	1,0498	0,171468
АК2	1,28	1	1,28	2	1,28	1,4035	5,8867	1,3437	0,219479
АК3	1	0,7812	1	1,5625	1	1,0965	1,3385	1,0498	0,171468
АК4	0,64	0,5	0,64	1	0,64	0,7018	0,0920	0,6719	0,109739
АК5	1	0,7812	1	1,5625	1	1,0965	1,3385	1,0498	0,171468
АК6	0,912	0,7125	0,912	1,425	0,912	1	0,7702	0,9574	0,156379
Сума	5,832	4,5562	5,832	9,1125	5,832	6,3947		6,1224	1
Оцінка значущості за критерієм К2									
К2	АК1	АК2	АК3	АК4	АК5	АК6	Добуток	Сер. геом.	Норм. вектор
АК1	1	0,8205	1	1,0667	0,8421	0,5565	0,4102	0,8620	0,140044
АК2	1,2188	1	1,2188	1,3	1,0263	0,6783	1,3442	1,0505	0,170678
АК3	1	0,8205	1	1,0667	0,8421	0,5565	0,4102	0,8620	0,140044
АК4	0,9375	0,7692	0,9375	1	0,7895	0,5217	0,2785	0,8081	0,131291
АК5	1,1875	0,9744	1,1875	1,2667	1	0,6609	1,1502	1,0236	0,166302
АК6	1,7969	1,4744	1,7969	1,9167	1,5132	1	13,8061	1,5489	0,251641
Сума	7,1407	5,8500	7,1406	7,6167	6,0132	3,9739		6,1550	1

...									
Оцінка значущості за критерієм K7									
K7	AK1	AK2	AK3	AK4	AK5	AK6	Добуток	Сер. геом.	Норм. вектор
AK1	1	0,0539	0,9948	0,7462	1,0731	0,8846	0,7427	0,9516	0,157318
AK2	0,9489	1	0,9440	0,7080	1,0182	0,8394	0,5421	0,9030	0,149277
AK3	1,0052	1,0593	1	0,7500	1,0787	0,8892	0,7660	0,9565	0,158132
AK4	1,3402	1,4124	1,3333	1	1,4382	1,1856	4,3029	1,2753	0,210835
AK5	0,9319	0,9821	0,9271	0,6953	1	0,8244	0,4864	0,8868	0,146602
AK6	1,1304	1,1913	1,1246	0,8435	1,2130	1	1,5496	1,0757	0,177835
Сума	6,3565	6,6989	6,3338	4,7431	6,2812	5,6232		6,0490	1
Оцінка значущості за критерієм K8									
K8	AK1	AK2	AK3	AK4	AK5	AK6	Добуток	Сер. геом.	Норм. вектор
AK1	1	1,3333	1,1429	1,3333	1,0667	1	2,1672	1,1376	0,183235
AK2	0,75	1	0,8571	1	0,8	0,75	0,3857	0,8532	0,141176
AK3	0,875	1,1667	1	1,1667	0,9333	0,875	0,9726	0,9954	0,164706
AK4	0,75	1	0,8571	1	0,8	0,75	0,3857	0,8532	0,141176
AK5	1,7742	1,2107	1,7907	2,6190	1	1,8421	18,5573	1,6271	0,258216
AK6	1	1,3333	1,1429	1,3333	1,0667	1	2,1672	1,1376	0,183235
Сума	5,3125	7,0833	6,0714	7,0833	5,6667	5,3125		6,0434	1

Зауваження: при заповненні таблиці «Оцінка значущості за критерієм K7» бралися обернені величини, тобто автокрану з меншою масою присвоювалося більше значення відношення порівняння.

Перевірено, що для всіх нормованих векторів із табл. 6 показники відношення узгодженості знаходяться в допустимих межах.

На основі показників табл. 6 були розраховані компоненти вектора глобальних пріоритетів як добуток матриці, сформованої із нормованих векторів локальних пріоритетів альтернатив, і вектора-стовпця локальних пріоритетів критеріїв (табл. 4):

0,1715 0,1400 0,1434 0,2129 0,1455 0,2902 0,1573 0,1832

0,2195 0,1707 0,2240 0,2058 0,2133 0,1116 0,1493 0,1412

0,1715 0,1400 0,1434 0,1094 0,1442 0,2902 0,1581 0,1647

0,1097 0,1313 0,086 0,1987 0,0986 0,1116 0,2108 0,1412

0,1715 0,1663 0,1685 0,1455 0,2582 0,1071 0,1466 0,2582

0,1564 0,2516 0,2348 0,1277 0,1402 0,0893 0,1778 0,1832

0,1915

0,1064

0,1489

0,1702

0,0851

0,1277

0,0638

0,1064

=

0,1843

0,1855

0,1646

0,1327

0,1729

0,1676

Найбільша компонента вектора глобальних пріоритетів вказує на модель автокрану з найкращими технічними характеристиками.

Обчислені з використанням методу Сааті рейтинги розглянутих військових автокранів за їх технічним рівнем проілюстровані на рис. 2.

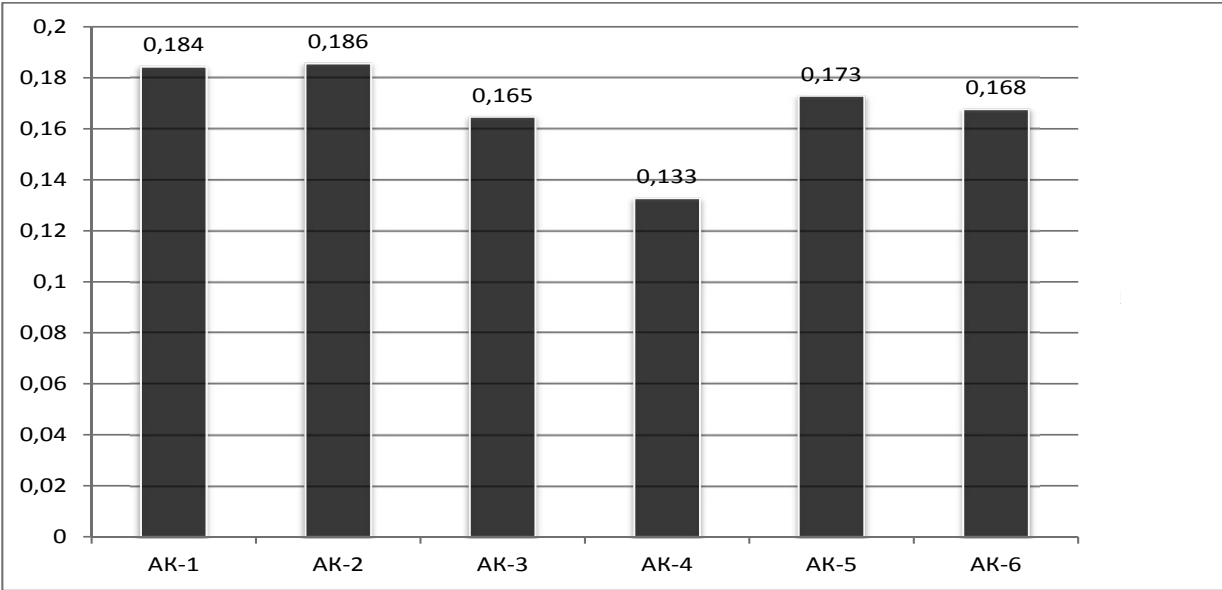


Рис. 2. Технічний рівень моделей автокранів

Як видно з діаграми, найвищий технічний рівень має модель КС-55729-7М (АК2) з показником 0,186. Друге місце належить моделі КТА-25 (0,184). Автокран ХСМГ QY25 J (АК5) – на третьому місці (0,173), і LIEBHERR G-BKF (АК6) і КТА-25 Е (АК3) – на четвертому і п'ятому місцях (0,168 і 0,165). Модель КС-3572 (АК4) має найнижчий рейтинг (0,133).

Якщо найвищий технічний рівень прийняти за 100 %, то рівні решти п'яти моделей складатимуть 99; 93; 90; 88,7; 71,5 % відповідно.

ВИСНОВКИ

Військові автокрани нового покоління мають вдосконалену конструкцію і є досить надійними. Аналіз одержаних результатів показує, що нові моделі військових автокранів, які створені останнім часом, мають різні окремі техніко-економічні характеристики, проте за своїм технічним рівнем вони досить близькі між собою.

Більш точну оцінку стосовно технічного рівня військових автокранів можна зробити, ввівши в розрахункову схему (як додаткові критерії) ступінь захищеності екіпажу, наявність спеціального обладнання, комфортність і зручність роботи тощо.

Метод Сааті є ефективним інструментом оцінювання технічних систем і дозволяє особі, що робить вибір, приймати обґрунтовані рішення. Перспективними напрямками подальших досліджень з оцінювання технічного рівня військових автокранів можуть стати дослідження залежності між критеріями на основі їх кореляційного та факторного аналізу, введення додаткових критеріїв, зокрема, забезпечення живучості автокрану та екіпажу.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Вартанян В.М., Штейнбрехер Д.О. Застосування методу аналізу ієрархії при побудові стратегій управління знаннями високотехнологічних проєктів. *Радіoeлектронні і комп'ютерні системи*. 2019. № 2 (90). С. 118—126. <https://doi.org/10.32620/reks.2019.2.11>.
- Потьомкін М.М., Ніколаєнко М.В., Гразіон Д.І. Удосконалення методу аналізу ієрархії на основі уточнення процедур формування матриць парних порівнянь. *Кибернетика и системный анализ*. 2020. Т. 56. № 4. С. 98—107. <https://doi.org/10.1007/s10559-020-00277-y>.
- Усов М.А. До питання застосування методу аналізу ієрархії. *Вісн. Нац. техн. ун-ту «ХПИ». Сер.: Економічні науки*. 2019. № 24. С. 144—147. <https://doi.org/10.20998/2519-4461.2019.24.144>.
- Saaty, R.W. (1987). The analytic hierarchy process - what it is and how it is used? *Mathematical Modeling*. Vol. 9. No. 3–5. Pp. 161—176.
- All-Hyde, R. & Davis, K.A. (2012). Military applications of the analytical process of the hierarchy. *Intern. J. of Multicriteria Decision Making (IJMCDM)*. № 2(3). Pp. 267—281. <https://doi.org/10.1504/IJMCDM.2012.047847>.
- Starčević, S., Bojović, N., Junevičius, R., & Skrickij, V. Analytical hierarchy process method and data envelopment analysis application in terrain vehicle selection. *Transport*. 2019. № 34(5). Pp. 600—616. <https://doi.org/10.3846/transport.2019.11710>.
- Dalalah, D., AL-Oqla, F., & Hayajneh, M. (2010). Application of the Analytic Hierarchy Process (AHP) in Multi-Criteria Analysis of the Selection of Cranes. *Jordan J. of Mechanical and Industrial Engineering*. Vol. 4. No. 5. Pp. 567—578.
- Waris, M., Panigrahi, S., Mengal, A., Soomro, M.I., Mirjat, N.H., Ullah, M., Azlan, Z.S. & Khan, A.A. (2019). Application of Analytic Hierarchy Process (AHP) for Sustainable Procurement of Construction Equipment: Multicriteria-Based Decision Framework for Malaysia. *Mathematical Problems in Engineering*. Article ID 6391431. 20 p. <https://doi.org/10.1155/2019/6391431>.
- HIAB Limited – Army Technology. Available at: <https://www.army-technology.com/contractors/vehicles/hiab-limited/>. Дата звернення: 2021.01.21.
- Atlas cranes UK. 2021. Available at: <https://www.atlasgmbh.com/uk/militarytml.aspx>. Дата звернення: 2021.01.21.
- Нові броньовані автокрани Liebherr підвищеної прохідності. 2017.07.17. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.liebherr.com/shared/media/mobile-and-crawler-cranes/brochures/military-cranes/liebherr-247-g-bkf-td-247-01-def05-2020.pdf>. Дата звернення: 2021.01.14.
- Pizzardi, G. The U.S. Army fleet is still Manitowoc. 2020.06.13.. Available at: www.heavyquippmag.com/2020/06/13/the-u-s-army-fleet-is-still-manitowoc. Дата звернення: 2021.01.14.
- Foss, C.F. IDEF 2019. Turkey to buy 29 new armored recovery vehicles. 2019.05.02. Available at: <https://www.janes.com/defence-news/news-detail/idef-2019-turkey-to-buy-29-new-armoured-recovery-vehicles>. Дата звернення: 2021.01.21.
- Агарков Н.П., Широков А.В. Автомобільні крани на службі вітчизни. 2016. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.techstory.ru/fin/new_army_cranes.htm. Дата звернення: 2021.01.14.
- Стечишин В. За 20 хвилин – траншея довжиною у 27 метрів. 2020.09.24. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://armyinform.com.ua/2020/09/za-20-hvylyn-transheya-dovzhynoyu-u-27-metriv/>. Дата звернення: 2020.12.30.
- Подарунок українським військовим – самохідне шасі КрАЗ 8х8 із АКЗП. 2019.01.08. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.autokraz.com.ua/index.php/uk/novini-ta-media/news/item/3839-podarunok-ukrainskym-viiskovym-samokhidne-shasi-kraz-8kh8-iz-akzp>. Дата звернення: 2021.01.15.
- Данчук В.Д., Олійник Р.В., Сватко В.В. Визначення ефективних засобів вантажних перевезень в транспортних задачах методом аналізу ієрархії. *Вісн. Нац. транспортного ун-ту*. 2011. № 22. С. 127—136.
- Олецький О.В., Тригуб О.С. Про застосування методу аналізу ієрархії для автоматизованого

- оцінювання студентських робіт. *Наукові записки НАУКМА. Комп'ютерні науки*. 2020. Т. 3. С. 127—131. <https://doi.org/10.18523/2617-3808.2020.3.127-131>.
19. Романчук Я.П., Сокіл Б.І., Баранов А.В. Оцінка технічного рівня екскаваторів на основі методу аналізу ієрархій. *Вісн. Хмельницького нац. ун-ту. Сер.: Технічні науки*. 2020. № 5(289). С. 178—183. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2020-289-5-178-183>.
 20. Общее описание автокранов, представленных на современном рынке. 2015. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sttexpo.com/kran/avtokrany/obshhee-opisanie-kranov-predstavleny.html>. Дата звернення: 2021.01.05.
 21. Sam. XCMG 25 ton truck crane QY25J for Chinese military. 2016.05.20. Available at: Дата звернення: 2021.01.21.
 22. Adalı, E.A. & Işık, A.T. Integration of DEMATEL, AHP and DEA methods for third party logistics providers' selection. *Management Science Letter*. 2016. № 6(5). Pp. 325—340. <https://doi.org/10.5267/j.msl.2016.3.004>.
- ### REFERENCES
1. Vartanyan, V.M. & Shteinbrekher, D.A. (2019), “Zastosuvannia metodu analizu iierarkhii dlia pobudovy stratehii upravlinnia znanniamy vysokotekhnologichnykh proektiv” [Application of the hierarchy analysis technique for the design of high-technological projects knowledge management strategy], *Electronic and computer systems*. No. 2(90). Pp. 118—126. doi.org/10.32620/reks.2019.2.11.
 2. Potemkin, M.M., Nikolaenko, M.V. & Grazion, D.I. (2020) “Udoskonalennia metodu analizu iierarkhii na osnovi utocnennia protsedur formuvannia matryts parnykh porivnian” [Improvement of analytic hierarchy process based on the refinement formation of matrices of pair comparisons], *Cybernetika i Systemnyi Analiz*. Vol. 56. Pp. 603—610. doi.org/10.1007/s10559-020-00277-y.
 3. Usov, M.A. (2019), “Do pytannia zastosuvannia metodu analizu iierarkhii” [On the question of applying the analytic hierarchy process], *Bull. of the Nat. Techn. Univ. “KhPI”. Series: Economic Sciences*. No. 24. Pp. 144—147. doi.org/10.20998/2519-4461.2019.24.144.
 4. Saaty, R.W. (1987). The analytic hierarchy process—what it is and how it is used? *Mathematical Modeling*. Vol. 9. No. 3–5. Pp. 161—176.
 5. All-Hyde, R. & Davis, K.A. Military applications of the analytical process of the hierarchy. *Intern. J. of Multicriteria Decision Making (IJMCDM)*. 2012. № 2(3). Pp. 267—281. <https://doi.org/10.1504/IJMCDM.2012.047847>.
 6. Starčević, S., Bojović, N., Junevičius, R., & Skrickij, V. Analytical hierarchy process method and data envelopment analysis application in terrain vehicle selection. *Transport*. 2019. № 34(5). Pp. 600—616. <https://doi.org/10.3846/transport.2019.11710>.
 7. Dalalah, D., AL-Oqla, F. & Hayajneh, M. Application of the Analytic Hierarchy Process (AHP) in Multi-Criteria Analysis of the Selection of Cranes. *Jordan J. of Mechanical and Industrial Engineering*. 2010. Vol. 4. No. 5. Pp. 567—578.
 8. Waris, M., Panigrahi, S., Mengal, A., Soomro, M.I., Mirjat, N.H., Ullah, M., Azlan, Z.S. & Khan, A.A. Application of Analytic Hierarchy Process (AHP) for Sustainable Procurement of Construction Equipment: Multicriteria-Based Decision Framework for Malaysia. *Mathematical Problems in Engineering*. (2019). Article ID 6391431. 20 p. <https://doi.org/10.1155/2019/6391431>.
 9. HIAB Limited – Army Technology. Available at: <https://www.army-technology.com/contractors/vehicles/hiab-limited/>. Accessed: 2021.01.21.
 10. Atlas cranes UK. 2021. Available at: <https://www.atlasgmbh.com/uk/militarytml.aspx>. Дата звернення: 2021.01.21.
 11. “Novi bronovani avtokrany Liebherr pidvyshchenoi prokhidnosti” [New Liebherr all-terrain armored mobile cranes]. 2017. Available at: www.liebherr.com/shared/media/mobile-and-crawler-cranes/brochures/military-cranes/liebherr-247-g-bkf-td-247-01-def05-2020.pdf. (Accessed: January 14 2021).
 12. Pizzardi, G. The U.S. Army fleet is still Manitowoc. 2020.06.13. Available at: www.heavyquippmag.com/2020/06/13/the-u-s-army-fleet-is-still-manitowoc. Accessed: 2021.01.14.
 13. Foss, C.F. IDEF 2019. Turkey to buy 29 new armored recovery vehicles. 2019.05.02. Available at: <https://www.janes.com/defence-news/news-detail/idef-2019-turkey-to-buy-29-new-armoured-recovery-vehicles>. Accessed: 2021.01.21.
 14. Agarkov, N.P. & Shirokov, A.V. (2016), “Avtomobilnye krany na sluzhbu otechestva” [Truck cranes in the service of the fatherland]. Available at: www.techstory.ru/fin/new_army_cranes.htm. (Accessed: January, 14, 2021).
 15. Stechyshyn, V. (2020), “Za 20 khvylyn – transheia dovzhynoiu u 27 metriv” [In 20 minutes - a trench 27 meters long]. Available at: <https://armyinform.com.ua/2020/09/za-20-hvylyn-transheia-dovzhynoyu-u-27-metriv/>. (Accessed: December 30 2020).
 16. “Podarunok ukrainskym viiskovym – samokhidne shasi KrAZ 8x8 iz AKZP” [A gift to the Ukrainian military - a self-propelled chassis KrAZ 8x8 with automatic transmission]. 2019. Available at: www.autokraz.com.ua/index.php/uk/novini-ta-media/news/item/3839-podarunok-ukrainskym-viiskovym-samokhidne-shasi-kraz-8kh8-iz-akzp. (Accessed: January 15 2021).
 17. Danchuk, V.D., Oliynyk, R.V. & Svatko, V.V. (2011), “Vyznachennia efektyvnykh zasobiv vantazhnykh perevezen v transportnykh zadachakh metodom analizu iierarkhii” [Determination of effective means of freight transportation in transport tasks by the method of hierarchy analysis], *Bull. of the Nat. Transport Univ*. No. 22. Pp. 127—136.
 18. Oletsky, O.V. & Trygub, O.S. (2020), “Pro zastosuvannia metodu analizu iierarkhii dlia avtomatyzovanoho otsiniuvannia studentskykh robot” [On the application of the method of hierarchy analysis for automated

- assessment of student work]. *Scientific notes of NaUK-MA. Computer Science*. 2020. Vol. 3. Pp. 127—131. doi.org/10.18523/2617-3808.2020.3.127-131.
19. Romanchuk, Y.P., Sokil, B.I. & Baranov, A.V. (2020), “Otsinka tekhnichnoho rivnia ekskavatoriv na osnovi metodu analizu hierarkhii” [Evaluation of technical level excavators based on the analytic hierarchy process], *Bull. of Khmelnytsky Nat. Univ. Series: Technical Sciences*. No. 5 (289). Pp. 178—183. doi.org/10.31891/2307-5732-2020-289-5-178-183.
20. “Obshchee opisanie avtokranov, predstavlenykh na sovremennom rynke” [General description of truck cranes on the market today]. 2015. Available at: <http://sttexpo.com/krany/avtokrany/obshhee-opisanie-kranov-predstavleny.html>. (Accessed: January 05 2021).
21. Sam. XCMG 25 ton truck crane QY25J for Chinese military. 2016.05.20. Available at: <http://www.cranesxcmg.com/XCMG-25-ton-truck-crane-QY25J-for-Chinese-military-id09821.html>. Accessed: 2021.01.21.
22. Adalı, E.A. & Işık, A.T. Integration of DEMATEL, AHP and DEA methods for third party logistics providers' selection. *Management Science Letter*. 2016. № 6(5). Pp. 325—340. <https://doi.org/10.5267/j.msl.2016.3.004>.

Romanchuk Ya., Sokil B., Baranov A.

USING THE METHOD OF HIERARCHIES ANALYSIS FOR EVALUATION OF MILITARY AUTOMOBILE CRANES TECHNICAL LEVEL

An approach to solving a multi-criteria evaluation problem is proposed, which is based on the application of the analytic hierarchy process in the presence of conflicting criteria. This approach allows you to convert qualitative estimates of criteria into their numerical values. The sequence of actions of the analytic hierarchy process for making managerial decisions concerning a choice from the number models of military truck cranes those models they are best of technical level is well-grounded and investigated.

A three-level hierarchical structure (goal, criteria and alternatives) was built. After that, the significance of the criteria as well as the significance of the alternatives according to different criteria was evaluated by pairwise comparisons. As a result, normalized vectors of local priorities of criteria and alternatives were obtained. The calculated values of the estimates consistency showed that they are within acceptable limits. The solution of the problem was found as the maximum component of the global priority vector, which was obtained as the product of the matrix formed by the normalized vectors of local alternatives priorities and the vector-column of local criteria priorities. This solution of the problem of estimating the technical level of the considered models of truck cranes is illustrated graphically.

The use of the analytic hierarchy process allowed to assess the technical level of the considered of military truck cranes models and to rank the latter according to

their technical level. The method described in the article can be applied to a wide range of problems of assessing the technical level of various objects in the presence of conflicting criteria. It is proposed, as an additional criterion, to include ensuring the survivability of the truck crane and crew.

Keywords: *decision making, T. Saaty analytic hierarchy process, expert evaluation of criteria, normalized vectors of local priorities of criteria and alternatives, assessment of technical level of military mobile cranes.*

Відомості про авторів

Романчук Ярослав Петрович

кандидат фіз.-мат. наук, с.н.с., доцент кафедри Національної академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-3993-0128>
e-mail romanchuky@ukr.net

Information about the authors:

Yaroslav Romanchuk

PhD in Physics and Mathematics Sciences, Senior Research Fellow, Associate Professor of the Department of Hetman Petro Sahaidachny National Army Academy, Lviv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-3993-0128>
e-mail romanchuky@ukr.net

Сокіл Богдан Іванович

доктор технічних наук, професор, начальник кафедри Національної академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-8551-7348>
e-mail sokil_bi@ukr.net

Bohdan Sokil

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Hetman Petro Sahaidachny National Army Academy, Lviv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-8551-7348>
e-mail sokil_bi@ukr.net

Баранов Андрій Вікторович

заступник начальника факультету Національної академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-0755-3145>
e-mail bavkp@i.ua

Andriy Baranov

Deputy Head of the Faculty of Hetman Petro Sahaidachny National Army Academy, Lviv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-0755-3145>
e-mail bavkp@i.ua

Стаття надійшла до редколегії 12.03.2021.