

УДК 656.073

DOI: 10.15587/2313-8416.2015.40226

## ПОШУК ОПТИМАЛЬНОЇ КІЛЬКОСТІ ВАРІАНТІВ ТРАНСПОРТНИХ ОДИНИЦЬ КОМБІНОВАНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАНТАЖІВ

© О. С. Крашенінін, О. О. Шапатіна

*У статті розглядаються підходи щодо вибору кількості варіантів транспортних одиниць комбінованих перевезень вантажів в залежності від відстані перевезень та необхідної вантажопідйомності транспортних одиниць.*

*Наведено методику вибору кількості варіантів транспортних одиниць комбінованих перевезень вантажів для конкретних умов та обмежень за допомогою методів випадкового пошуку та індукції для визначення мінімальних сумарних експлуатаційних витрат*

**Ключові слова:** комбіновані перевезення, транспортні одиниці, функція потреби, метод випадкового пошуку, метод індукції

*The article examines approaches to select the number of options of transport units of combined cargo transportation depending on transportation distance and the necessary capacity of transport units.*

*The choice method of number of options of transport units of combined cargo transportation to specific conditions and restrictions by the methods of random search and induction to determine the minimum total operational costs is described*

**Keywords:** combined transportation, transport units, function of necessity, method of random search, method of induction

### 1. Вступ

Досвід ряду країн показує, що перехід на логістичні принципи транспортного забезпечення передбачає оптимальний вибір кількості варіантів нетягового рухомого складу.

### 2. Постановка проблеми у загальному вигляді, її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями

Згідно із Законом України «Про комплексну програму затвердження України, як транзитної держави в 2002–2010 роках» одним із основних напрямків розвитку залізничних перевезень є розвиток логістики комбінованих перевезень [1].

Відповідно до цього одним з основних завдань транспортної логістики є вибір типу та виду транспортних засобів для оптимізації процесу комбінованих перевезень [2].

Першому періоду, що характеризувався забезпеченням конкурентоспроможності галузі, притаманний пошук різноманіття рухомих одиниць для перевезень вантажів. В цей період кожна перевізницька фірма разом з універсальним рухомим складом створювала багато спеціалізованого рухомого складу від вимог клієнтів. За перевагою технічного, технологічного і економічного чинників цей фактор деякий час дозволяв обирати власний шлях для розвитку політики перевезень і розвитку інфраструктури.

За останні роки домінування окремих транспортних фірм обмежуються як економічними, так і стратегічними обставинами. В цих умовах доцільно орієнтуватися на врахування реальних потреб і можливостей як перевізника, так і користувача транспорту. З точки зору перевізника це означає пошук балансу між різноманітністю транспортних

одиниць комбінованих перевезень і витратами на їх утримання.

Крім цього важливо визначити, які параметри рухомого складу дозволять скоротити сумарні експлуатаційні витрати на перевезення.

### 3. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питаннями удосконалення комбінованих, інтермодальних перевезень займалися такі вчені: Бутько Т. В., Дьомін Ю. В., Кірпа Г. М., Котенко А. М., Ломотьюк Д. В., Мироненко В. К., Миротін Л. Б., Резер С. М., Шибасєв О. Г. та інші вітчизняні та закордонні вчені.

У країнах Європи у зв'язку з законодавчим обмеженням щодо пропуску вантажних автомобілів широкого застосування набули комбіновані перевезення, які є більш екологічними і мають менший вплив на дорожнє полотно [3, 4].

Організація змішаних перевезень вантажів є одним із головних напрямів сучасної європейської транспортної політики. Міжнародна практика свідчить, що в останні роки дві третини перевезень вантажів у міжнародному сполученні здійснювалось у змішаних сполученнях за принципом «від дверей до дверей» [5, 6].

Аналіз різноманітних систем перевезень вантажів комбінованим транспортом наведено у роботі [7], де вказано, що при існуючій структурі витрат комбіновані перевезення є економічно більш виправданіми у порівнянні з автомобільними.

Таким чином, маючи велику різноманітність транспортних одиниць комбінованих перевезень вантажів, необхідно обирати найбільш відповідний варіант для перевезення вантажів при конкретних умовах та обмеженнях, враховуючи відстань та обсяг перевезення.

**4. Мета статті**

Метою статті є обґрунтування оптимальної кількості варіантів транспортних одиниць комбінованих перевезень вантажів в залежності від дальності перевезень та необхідної вантажопідйомності транспортної одиниці.

**5. Методика вибору транспортної одиниці комбінованих перевезень вантажів**

Транспорт виконує функцію поєднання виробника продукції і їх користувача, що звичайно передбачає забезпечення дальності перевезень і необхідної вантажопідйомності транспортної одиниці, що використовується.

Тобто тип транспортної одиниці в основному визначається двома аргументами: дальністю перевезень  $x_k$  і вантажопідйомністю  $y_k$ . А функція потреби представляє собою функцію двох аргументів  $F(x, y)$  [8].

Прийmemo наступні позначення:  $Z_p(x, y)$  – вартість розробки, випробування і поставки на виробництво транспортної одиниці;  $Z_o(x, y)$  – вартість виробництва транспортної одиниці;  $Z_x(x, y)$  – вартість експлуатації транспортної одиниці в одиницю часу.

Загальні витрати з урахування визначення витрат можна представити наступним чином

$$Z_N = \sum_{k=1}^N Z_p(x_k, y_k) + \sum_{k=0}^N [F(x_{k+1}, y_{k+1}) - F(x_k, y_k)] \cdot Z_o(x_{k+1}, y_{k+1}) + \int_0^T \sum_{k=0}^N [F(x_{k+1}, y_{k+1}) - F(x_k, y_k)] \cdot Z_x(x_{k+1}, y_{k+1}) dt \quad (1)$$

Потрібно визначити набір  $x_k, y_k$ , що мінімізує  $Z_N$ . В розглянутій задачі транспортну одиницю можна застосовувати тільки при значеннях аргументів, що не перевищують їх допустимих параметрів.

Якщо функцію потреби представити в диференційній формі  $\phi(x, y)$ , то при  $\phi(x, y) = 0$  отримуємо  $y = \phi_2(x)$  і необхідно, щоб для всіх  $k$  виконувалася умова

$$\max \phi_2(x) \leq \max \phi_j; \quad x_0 \leq x \leq x_k; k \leq j \leq N. \quad (2)$$

Одним з ефективних методів розв'язання цього завдання є метод випадкового пошуку. Задаємося  $N = 1, 2, 3$  і т. д. При кожному  $N$  одержуємо  $N - 1$  випадкових чисел, рівномірно розподілених в інтервалі від  $x_0$  до  $x_N$ , і, додавши до них  $x_N$ , після розташування в порядку зростання визначаємо варіант за аргументом  $x$ .

Далі, якщо функція  $y = \phi_2(x)$  є неубутною, то  $y_k$  визначається як випадкове число із сукупності

чисел, рівномірно розподілених в інтервалі  $0 \div y = \phi_2(x_k)$ , а  $y_N = \phi_2(x_N)$ .

Якщо функція  $y = \phi_2(x)$  є убутною, то в якості  $y_k$  ухвалюються  $\phi_2(x_{k-1})$ .

У загальному випадку (функція  $\phi_2(x)$  має максимуми або мінімуми) найбільш простим алгоритмом визначення  $y_k$  буде вибір його із сукупності рівномірно розподілених чисел на інтервалі  $0 \div \max_{[x_0; x_k]} \phi_2(x)$  з наступною перевіркою умови (2) і збільшення, якщо буде потреба,  $y_k$  до виконання цієї умови.

**6. Апробація результатів дослідження**

Розрахунки ведуться при фіксованих значеннях  $N$  із запам'ятовуванням кращого результату з найменшим значенням  $S_N$ .

Провівши серію розрахунків при різних  $N$ , вибираємо оптимальну величину  $N$  і відповідний їй оптимальний ряд.

Розглянемо рішення задачі за наступних умов. Нехай

$$F(x, y) = bxy, \text{ коли } 0 \leq x \leq x_n; 0 \leq y \leq y_n; \\ F(x, y) = bx_N y_N, \text{ коли } x \geq x_n; y \geq y_n; \\ F(x, y) = 0, \text{ коли } x \leq 0; y \leq 0. \quad (3)$$

Прийmemo, що витрати можна оцінити з залежностей

$$Z_p(x, p) = Z_p; \quad (4) \\ Z_o(x, y) = axy; \quad (5) \\ Z_x(x) = ex. \quad (6)$$

Коли  $N = 1$

$$Z_N = [F(x_N, y_N) - F(x_0, y_0)] \cdot [Z_o(x_N, y_N) + Z_x(x_N)] + Z_p(x_0, y_0) = \\ = bx_N y_N \cdot \left[ ax_N y_N + \int_0^T ex dt \right] + Z_p = abx_N^2 y_N^2 + bx_N y_N \cdot eT + Z_p \quad (7)$$

Коли  $N = 2$

$$Z_N = [F(x_1, y_1) - F(x_0, y_0)] \cdot [Z_o(x_1, y_1) + Z_x(x_N)] - \\ - [F(x_N, y_N) - F(x_1, y_1)] \cdot [Z_o(x_N, y_N) + Z_x(x_N)] + Z_p(x_1, y_1) + Z_p(x_0, y_0) = \\ = [bx_1 y_1 - 0] \cdot [ax_1 y_1 + eT] + [bx_N y_N - bx_1 y_1] \cdot [ax_N y_N + eT] + Z_p + Z_p = \\ = abx_1^2 y_1^2 + bx_1 y_1 eT + abx_N^2 y_N^2 - abx_1 y_1 x_N y_N + bx_N y_N \cdot eT - bx_1 y_1 eT + 2Z_p = \\ = ab(x_1^2 y_1^2 - x_1 y_1 x_N y_N + x_N^2 y_N^2) + b(x_N y_N - x_1 y_1) eT + 2Z_p. \\ Z_N = ab(x_1^2 y_1^2 - x_1 y_1 x_N y_N + x_N^2 y_N^2) + b(x_N y_N - x_1 y_1) eT + 2Z_p. \quad (8)$$

Продиференціюємо цю залежність по  $x$

$$ab(2x_1 y_1^2 - y_1 x_N y_N) - by_1 eT = 0.$$

Звідси

$$x_1 = \frac{x_N y_1 y_N + y_1 eT}{2y_1^2} = \frac{x_N y_N}{2y_1} + \frac{eT}{2y_1^2}. \quad (9)$$

Значення другого доданку в рівнянні прирівнюється нулю у зв'язку з тим, що  $y \gg eT$ .

Звідки  $\frac{x_N}{2} \leq x \leq x_N$ , а  $x_1 = \frac{x_N y_N}{2y_1}$ .

Остаточно

$$\begin{aligned} 3_N &= ab \left[ \left( \frac{x_N y_N}{2y_1} \cdot y_1 \right)^2 - \frac{x_N y_N}{2y_1} \cdot y_1 x_N y_N + x_N^2 y_N^2 \right] + \\ &b \left( x_N y_N - \frac{x_N y_N}{2y_1} \cdot y_1 \right) eT + 23_p = \\ &= ab \left[ \frac{1}{4} x_N^2 y_N^2 - \frac{1}{2} x_N^2 y_N^2 + x_N^2 y_N^2 \right] + \\ &b \cdot \frac{x_N y_N}{2} \cdot eT + 23_p = \frac{3}{4} abx_N^2 y_N^2 + \frac{bx_N y_N eT}{2} + 23_p. \\ 3_N &= \frac{3}{4} abx_N^2 y_N^2 + \frac{bx_N y_N eT}{2} + 23_p. \end{aligned} \quad (10)$$

Ще раз перепишемо рівняння (7) і (10) і, використовуючи метод індукції, запишемо, коли  $N = 1$

$$\begin{aligned} 3_N &= abx_N^2 y_N^2 + bx_N y_N \cdot eT + 3_p = \\ &= 1 + \frac{eT}{ax_N y_N} + \frac{3_p}{abx_N^2 y_N^2} = 1 + K; \end{aligned}$$

$N = 2$

$$3_N = \frac{3}{4} abx_N^2 y_N^2 + \frac{beTx_N y_N}{2} + 23_p = \frac{3}{4} + \frac{L}{2} + 2K.$$

Тобто, коли  $N = N$

$$3_N = \frac{1+N}{2N} + \frac{L}{N} + KN, \quad (11)$$

де  $L = \frac{eT}{ax_N y_N}$ ,  $K = \frac{3_p}{abx_N^2 y_N^2}$ .

Відзначимо, що значення аргументів при додатковій умові  $\frac{x_k}{x_N} = \frac{y_k}{y_N}$  будуть оптимальними, коли

$$x_k = \frac{x_N \sqrt{K}}{\sqrt{N}}; \quad x_k = \frac{y_N \sqrt{K}}{\sqrt{N}}.$$

Як видно з залежності (11) перші дві складові сумарних експлуатаційних витрат зворотно пропорційні  $N$ , а третя складова прямо пропорційна  $N$ . Тобто при даному  $N$  значення  $3_N$  досягне свого мінімального значення, що буде оптимальним значенням кількості варіантів транспортних одиниць.

Графічно цю залежність можна представити у наступному вигляді (рис. 1).

Для визначення і конкретизації чинників, що впливають на оптимізацію ряду транспортних одиниць комбінованих перевезень вантажів розглянемо формальний приклад, який отриманий в результаті розрахунків на ЕОМ і наведений в табл. 1.

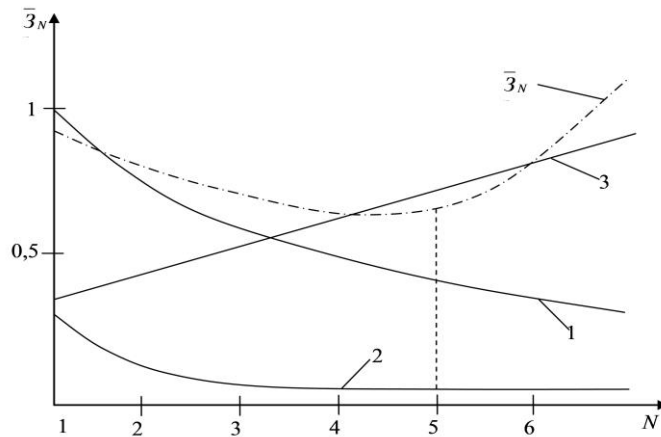


Рис. 1. Залежність  $3_N$  від кількості варіантів транспортних одиниць ( $1 - \frac{1+N}{2N}$ ;  $2 - \frac{L}{N}$ ;  $3 - KN$ )

Таблиця 1

		Результати розрахунків											
N	$\sum 3_N$	a=1	a=3	a=5	a=10	a=1	a=3	a=5	a=10	a=1	a=3	a=5	a=10
		$3_p = 10^6$				$3_p = 0,5 \cdot 10^6$				$3_p = 1,5 \cdot 10^6$			
eT=30	1	1,4	1,134	1,08	1,040	1,2	1,07	1,04	1,02	1,6	1,2	1,12	1,06
	2	1,55	1,017	0,91	0,830	1,15	0,88	0,83	0,79	1,95	1,15	0,99	0,87
	3	1,867	1,067	0,907	0,787	1,27	0,867	0,797	0,73	2,47	1,267	1,03	0,847
	4	2,25	1,158	0,945	0,785	1,43	0,892	0,785	0,705	3,03	1,425	1,1	0,865
	5	2,6	1,267	1	0,800	1,6	0,933	0,8	0,7	3,6	1,6	1,2	0,9
	6	2,98	1,383	1,063	0,823	1,78	0,98	0,823	0,703	4,2	1,78	1,3	0,943

Залежність  $Z_N = f(N, a)$ , яка побудована за розрахунками, що наведені в таблиці 1, зображена на рис. 2.

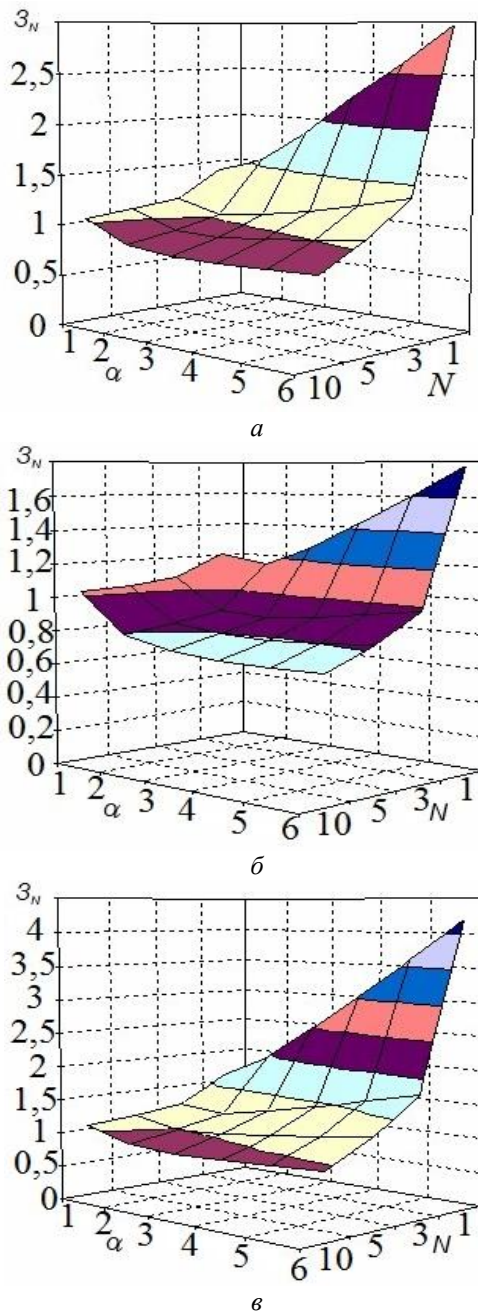


Рис. 2. Залежність сумарних експлуатаційних витрат від параметру  $a$  при

$$a - Z_p = 10^6; \quad \delta - Z_p = 0,5 \cdot 10^6; \quad \epsilon - Z_p = 1,5 \cdot 10^6$$

### 7. Висновки

1. Оскільки визначення кількості варіантів ряду залізничних транспортних одиниць комбінованих

перевезень вантажів залежить від великої кількості складових, пошук оптимального варіанту слід проводити для конкретних умов і обмежень, що накладає реальна ситуація.

2. Обмеження варіантів вибору транспортних одиниць в значній мірі залежить від параметрів  $a$  і  $b$ , тобто витрат на будову транспортної одиниці  $Z_0 = f(a, x, y)$  і витрат на його ремонт  $Z_p = f(b, x, y)$ .

3. Вплив складової  $L/N$  значно залежить від досягнутого значення  $eT$  і безумовно при підвищенні ефективності використання транспортних одиниць комбінованих перевезень до умовних скорочується кількість їх варіантів.

### Література

1. Закон України «Про Комплексну програму утвердження України, як транзитної держави у 2002-2010 роках» [Текст] / ВВРУ. – 2002. – № 24.
2. Кальченко, А. Г. Логістика: Підручник [Текст] / А. Г. Кальченко. – К.: КНЕУ, 2003. – 284 с.
3. Railway Gazette International [Text] / 2013. – Vol. 6. – P. 56–59.
4. Carriere, B. Rail-route. Une part encore tres reduite du trafic [Text] / B. Carriere // La Vie du Rail. – 2001. – Vol. 205. – P. 22–23.
5. Seidelmann, Ch. Basic results of BIC study on European Intermodal loading units [Text] / Ch. Seidelmann // Containers. – 2004. – Vol. 1-2. – P. 12–15.
6. Авдеев, С. Комбинированный транспорт – реальность завтрашнего дня? [Текст] / С. Авдеев // Українські залізниці. – 2014. – № 1(7). – С. 30–32.
7. Ruger, B. Kombiniertes Verkehr als Rettung des Schienenguterverkehrs [Text] / B. Ruger // Technische Universität Wien (Institut für Eisenbahnwesen, Verkehrswirtschaft und Seilbahnen). – 2003. – Vol. 5. – P. 1–27.
8. Шор, Д. Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надежности [Текст] / Д. Б. Шор. – М.: Изд-во «Советское радио», 1962. – 552 с.

### References

1. Law of Ukraine «On approval of the Comprehensive Program of Ukraine as a transit country in 2002–2010» (2002). PU, 24.
2. Kalchenko, A. (2003). Logistics: Textbook. Kiev: KNEU, 284.
3. Railway Gazette International (2013). 6, 56–59.
4. Carriere, B. (2001). Rail-route. Une part encore tres reduite du trafic. La Vie du Rail, 205, 22–23.
5. Seidelmann, Ch. (2004). Basic results of BIC study on European Intermodal loading units. Containers, 1-2, 12–15.
6. Avdeev, S. (2014). Combined transport reality of tomorrow? Ukrainian railways, 1 (7), 30–32.
7. Ruger, B. (2003). Kombiniertes Verkehr als Rettung des Schienenguterverkehrs. Technische Universität Wien (Institut für Eisenbahnwesen, Verkehrswirtschaft und Seilbahnen), 5, 1–27.
8. Shor, D. (1962). Statistical methods for analysis and control of quality and reliability. Moscow: Radio Sovetskoe, 552.

Дата надходження рукопису 16.03.2015

**Крашенінін Олександр Семенович**, доктор технічних наук, професор, кафедра «Експлуатація та ремонт рухомого складу», Українська державна академія залізничного транспорту, площа Фейєрбаха, 7, м. Харків, Україна, 61050  
E-mail: glelan@mail.ru

**Шапатіна Ольга Олександрівна**, аспірант, асистент, кафедра «Управління вантажною і комерційною роботою», Українська державна академія залізничного транспорту, площа Фейербаха, 7, м. Харків, Україна, 61050  
E-mail: olga-paradigma@yandex.ru

УДК 339:623(470.26)

DOI: 10.15587/2313-8416.2015.40920

## ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ КОНВЕКЦИИ В ЧЕРНОМ МОРЕ В РАЙОНЕ НОВОРОССИЙСКА

© М. Б. Капочкина, В. Ю. Зорин

*Принудительная конвекция используется для снижения мутности придонных слоев при проведении поисковых работ в районе Багамской банки. В Черноморском регионе провоцирование конвекции связано с необходимостью снижения концентраций сероводорода и повышения Eh глубинных вод. Выполнено математическое моделирование принудительной конвекции в районе Новороссийска. Указано на негативные побочные эффекты в виде формирования Новороссийской боры*

**Ключевые слова:** глубоководные поисково-спасательные работы; принудительная конвекция; сероводород; апвеллинг; Новороссийская бора

*Forced convection is used to reduce turbidity of bottom layers during search operations in the area of Bahama Bank. Provoking convection in the Black Sea region associated with the need to reduce the concentration of hydrogen sulfide and improve Eh of deep waters. Mathematical simulation of forced convection near Novorossiysk is developed. It is indicated on the negative side effects such as the formation of Novorossiysk bora*

**Keywords:** deep-emergency rescue work; forced convection; hydrogen sulfide; upwelling; Novorossiysk bora

### 1. Введение

Проведение морских поисково-спасательных работ в различных районах Мирового океана имеют свою специфику. Наиболее часто, препятствием для проведения глубоководных работ являются оптические характеристики морской воды. В качестве примера можно привести неблагоприятные оптические условия в придонном слое морей Карибского бассейна, особенно в районе Багамской банки, вызванные явлением «whiteing» – повышенной мутностью придонных слоев в связи с процессом растворения-осаждения карбонатов над коралловой отмелью. Для улучшения оптических характеристик придонного слоя в подводных водолазных работах используют специальные насосы, закачивающие в придонный слой прозрачные поверхностные воды.

В Черном море специфика проведения поисково-спасательных работ глубже 150 м обусловлена гидрохимическими особенностями – высокими концентрациями сероводорода и низкими значениями Eh глубинных вод. Восстановительные условия морской среды вызывают активизацию коррозионных и других негативных процессов, что ограничивает ресурс используемой глубоководной техники. Неблагоприятные геохимические условия на внешней бровке шельфа начинаются с глубины 150 м и с глубины 120–130 м в центральной части моря. На рис. 1 показана карта верхней границы слоя анаэробных вод в Черном море.

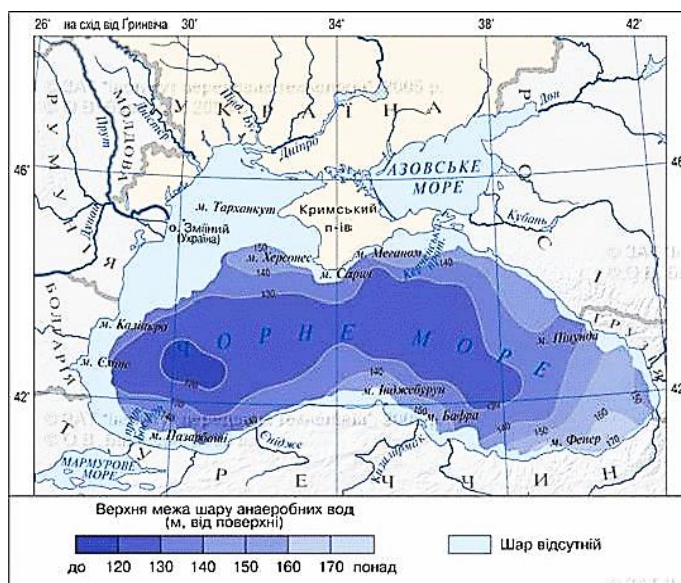


Рис. 1. Карта верхней границы слоя аэробных вод [1]

Актуальность выполнения глубоководных работ в сероводородной зоне Черного моря имеет обоснование. Приведем конкретный пример. Во время проведения учений вооруженных сил противовоздушной обороны России и Украины 4 октября 2001 года самолет рейса Тель-Авив – Новосибирск был сбит и упал в море. Корабли ВМС Украины были вытеснены из района катастрофы кораблями ВМФ РФ. В предполагаемом месте падения самолета с использованием глубоководной техники РФ был обследован квадрат 5 на 5 км [2], но корпус самолета так и не был найден [3]. Выполненный нами аналитиче-