

Piotr KAMIŃSKI, Wiesław TAREŁKO
Akademia Morska, Gdynia

ZASTOSOWANIE METODY AHP W HIERARCHIZACJI ZADAŃ EKSPLOATACYJNYCH REALIZOWANYCH W SIŁOWNI OKRĘTOWEJ

Streszczenie. W pracy przedstawiono metodę hierarchizacji zadań eksploatacyjnych dla celów optymalizacji harmonogramów prac realizowanych w siłowni okrętowej. Na podstawie czynników wpływających na ważność zadań w procesie eksploatacyjnym określono ich strukturę hierarchiczną. Ponadto przeprowadzono wstępne badania ankietowe umożliwiające określenie wartości liczbowych odpowiednich współczynników wpływających na ważność zadań eksploatacyjnych.

APPLICATION OF THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP) METHOD FOR HIERARCHIZATION OF OPERATIONAL TASKS CARRYING OUT IN SHIP ENGINE ROOM

Summary. This paper deals with the application of the AHP method for hierarchization of operational tasks carrying out in ship engine room. Based on factors influencing importance of the mentioned tasks, we determined their hierarchy structure. Moreover, we acquired opinions of Ship Chief Engineer's concerning their preferences. These opinions allowed to determine values of factors influencing task importance.

1. Wprowadzenie

W procesie eksploatacji siłowni okrętowej, podobnie jak w przypadku innych obiektów technicznych, dąży się do jak najlepszego wykorzystania jej możliwości, a także do minimalizacji kosztów związanych z jej obsługą. Wszelkie nieplanowane przestoje maszyn, powodujące, choćby na chwilę, wyłączenie statku z eksploatacji, skutkują tym, że armator przez ten czas ponosi straty. Wynikają one z faktu, że fracht, czyli przewóz ładunku między portami, jest zakontraktowany z góry na określoną kwotę. Wydłużenie czasu trwania frachtu nie zwiększa zysków armatora, a czasami może być związane z ewentualnymi karami za spóźnione dostarczenie ładunku. Tego rodzaju straty, jak również zwiększenie kosztów związanych z obsługą siłowni okrętowej, zdaniem wielu ekspertów, są bardzo często powodowane niewłaściwym zarządzaniem siłownią okrętową.

Jednym z aspektów tego zarządzania, który może wpływać na zmniejszenie ewentualnych strat, jest właściwe harmonogramowanie (planowanie) zadań eksploatacyjnych w siłowni okrętowej, zwłaszcza w sytuacjach niecodziennych i stresowych.

W celu wyeliminowania takich sytuacji mechanik okrętowy może dysponować systemem informatycznym, który byłby narzędziem wspomagającym go w organizacji procesu zarządzania siłownią. System taki gromadziłby informacje dotyczące wykonania wszystkich czynności w siłowni lub korzystał z baz danych funkcjonujących już systemów informatycznych, analizowałby ograniczenia związane z ich wykonaniem, podpowiadając ostatecznie mechanikowi, które zadania i w jakiej kolejności wykonać.

Problem planowania zadań eksploatacyjnych w siłowni okrętowej został przedstawiony przez autorów we wcześniejszych pracach [2,3], jako zagadnienie pakowania będące specjalnym przypadkiem zerojedynkowych zagadnień programowania liniowego. W pracach tych przedstawiono zarówno sposób eliminacji części zadań (w celu zmniejszenia rozmiaru problemu) z procesu przydziału zadań operatorom, jak i poszczególne elementy procesu optymalizacji harmonogramu, takich jak: funkcja celu czy ograniczenia występujące w problemie. Proces generowania optymalnego harmonogramu oparty jest na zadaniach, które są zhierarchizowane pod względem ważności (istotności) każdego z nich w procesie eksploatacyjnym w siłowni okrętowej danej chwili. Niniejsza praca uzupełnia wcześniejsze opracowania o model hierarchizacji zadań eksploatacyjnych w siłowni okrętowej.

Proces planowania prac w siłowni okrętowej przebiega najczęściej w warunkach, w których liczba zadań znacznie przewyższa możliwości realizacyjne załogi. Postoje jednostek w portach są coraz krótsze, czasami kilkugodzinne, a liczba prac, jakie muszą być wykonane w siłowni, coraz większa. Dodatkowym ograniczeniem jest na ogół stosunkowo mała liczebność załogi maszynowej. Zachodzi więc konieczność wybierania z dużego zbioru zadań eksploatacyjnych tych, których realizacja jest możliwa w danych warunkach, a także tych, które są najistotniejsze w danej sytuacji z eksploatacyjnego punktu widzenia, a z których będzie budowany właściwy harmonogram prac (zadań). Wyboru takiego można dokonać przez opracowanie systemu pozwalającego ocenić ważność poszczególnych zadań przeznaczonych do realizacji (zhierarchizowanie ich pod względem ich ważności), na czym skupiono się w niniejszej pracy.

Ocena zadań eksploatacyjnych realizowanych w siłowni według wybranych kryteriów, istotnych w danym procesie eksploatacyjnym, pozwoli na ich zhierarchizowanie pod względem ważności. Ważność poszczególnych zadań eksploatacyjnych będzie więc funkcją determinujących ją czynników o postaci:

$$WZE = f(Cz_i) \quad \{Cz_i: i=1,2,\dots,n\} \quad (1)$$

gdzie:

WZE – ważność zadania eksploatacyjnego,

Cz_i – czynniki wpływające na ważność zadania eksploatacyjnego.

2. Czynniki wpływające na ważność zadań eksploatacyjnych

Na podstawie przeprowadzonego przez autorów przeglądu zadań eksploatacyjnych, opisywanych we wcześniejszych pracach [3], określone zostały czynniki, jakie bierze pod uwagę mechanik okrętowy podczas harmonogramowania zadań w siłowni okrętowej. Zostały one podzielone na 6 czynników głównych oraz od 2 do 4 czynników szczegółowych dla każdego czynnika głównego. Czynniki te zostały określone w następujący sposób:

- czynnik związany ze sposobem wygenerowania zadania (czynniki szczegółowe - narzucone zewnętrznie, awaria, planowe),
- czynnik związany z czasem (czynniki szczegółowe - termin realizacji zadania, częstotliwość powtarzania, czas realizacji zadania),
- czynnik związany z ważnością urzędnika (czynniki szczegółowe - I mechanik, II mechanik, III mechanik, IV mechanik),
- czynnik związany z możliwością pominięcia urzędnika (czynniki szczegółowe - liczba urzędów, ominięcie),
- czynnik związany z możliwością przesunięcia terminu realizacji zadania (czynniki szczegółowe - stan eksploatacyjny statku, stan eksploatacyjny siłowni okrętowej),
- czynnik związany z zakresem funkcjonalnym zadania w siłowni okrętowej (czynniki szczegółowe - ruch, utrzymanie ruchu, bezpieczeństwo, zaopatrzenie).

Tak określone czynniki wpływające na ważność zadań eksploatacyjnych nie posiadają własności matematycznych. Konieczne więc jest wprowadzenie pewnych wskaźników odpowiadających poszczególnym czynnikom głównym oraz szczegółowym (C_i, c_{ij}) określających, czy dany czynnik wpływa lub nie w danej chwili na podjęcie decyzji. Określa się to przez przypisanie danemu wskaźnikowi wartości 1 jeśli ma wpływ lub wartości 0 – jeśli nie ma wpływu w danej sytuacji.

Tak ustalonym czynnikom i ich wskaźnikom brakuje określenia, jaki jest ich rzeczywisty wpływ na ważność danego zadania w procesie eksploatacji. Konieczne więc było przeprowadzenie analizy pozwalającej przypisać poszczególnym czynnikom odpowiednich współczynników ważności (wagi).

3. Metoda określania ważności czynników

W celu określenia współczynników ważności poszczególnych czynników konieczne jest zastosowanie ocen ekspertów, co w literaturze jest znane pod nazwą metody ekspercko-matematycznej [5].

Metoda ta w sposób racjonalny łączy proces intuicyjno-logicznej analizy danego problemu przez eksperta z liczbowymi metodami obróbki danych. Uzyskane w rezultacie takiej obróbki opinie ekspertów przyjmuje się jako rozwiązanie danego problemu.

Pozyskanie wiedzy ekspertów z zakresu planowania zadań eksploatacyjnych w siłowni okrętowej pozwala na określenie wpływu poszczególnych czynników na ważność danego zadania. Ogólny wskaźnik ważności zadania eksploatacyjnego można wyznaczyć, przyjmując pewne założenia:

- istnieje określony zbiór wskaźników cząstkowych C_i, c_{ij} $\{i=1,2,..,6; j=1,2,3,4\}$, w którym wskaźniki te charakteryzują poszczególne czynniki (główne i szczegółowe), od których zależy ważność zadania,
- wartości współczynników wagi czynników głównych i szczegółowych WgC_i, wgc_{ij} $\{i=1,2,..,6; j=1,2,3,4\}$ określane są na podstawie wiedzy eksperta,
- istnieje możliwość stosunkowo prostej agregacji wskaźników ważności zadania.

Aby możliwe było porównywanie poszczególnych zadań eksploatacyjnych między sobą w celu ich hierarchizacji, konieczne jest integrowanie wszystkich czynników wraz z odpowiadającymi im współczynnikami ważności. Możliwe jest to przez przyjęcie pewnego „globalnego” wskaźnika ważności zadania WG .

Aby efekt działania wskaźnika ważności zadania WG był jednoznaczny i porównywalny pomiędzy poszczególnymi zadaniami, wskaźnik ten ustalony został jako funkcja iloczynów wskaźników C_i, c_{ij} odpowiadających czynnikom wpływającym na ważność zadania oraz powiązanych z nimi właściwych współczynników wagi WgC_i, wgc_{ij} , co przedstawia równanie (2).

$$WG = f(C_i \cdot WgC_i, c_{ij} \cdot wgc_{ij}) \quad \{i=1,2,\dots,6; j=1,2,3,4\} \quad (2)$$

gdzie:

WG – „globalny” wskaźnik ważności zadania eksploatacyjnego,
 C_i – wskaźniki czynników głównych wpływających na ważność zadania,
 c_{ij} – wskaźniki czynników szczegółowych wpływających na ważność zadania,
 WgC_i, wgc_{ij} – współczynniki wagi czynników głównych i szczegółowych.

Przeprowadzenie skutecznej i zobiektywizowanej analizy pozwalającej wartościować wyróżnione czynniki ważności zadania wymaga zastosowania zaawansowanych, wielokryterialnych metod wspomagających proces podejmowania decyzji. Metody takie należą do szerokiej klasy metod statystycznych analizy wielowymiarowej, a jedną z nich jest metoda *AHP* (ang. *Analytic Hierarchy Process*) [4].

4. Zastosowanie metody *AHP* w określaniu ważności czynników branż pod uwagę podczas planowania zadań eksploatacyjnych

Metoda hierarchicznej analizy problemu – *AHP* uwzględnia specyfikę psychologiczną procesów wartościowania, mających charakter relacyjny i hierarchiczny [1]. Liczne zastosowania tej metody we wspomaganiu decyzji ekonomicznych, technicznych czy społecznych potwierdzają jej przydatność, zwłaszcza w tych zastosowaniach, gdzie doświadczenie oceniającego stanowi główne źródło ocen, mających charakter subiektywny.

Dekomponowanie problemu w postaci struktury hierarchicznej pozwala ocenić poszczególne czynniki (kryteria) oddzielnie, co jest zdecydowanie prostszym zadaniem niż ocena wszystkich czynników jednocześnie.

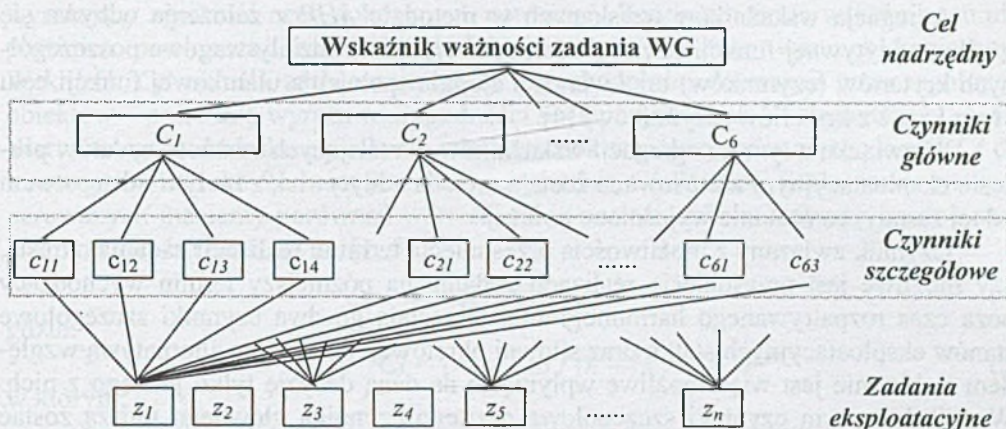
Wykorzystanie metody *AHP* do określenia ważności czynników wpływających na ważność zadań eksploatacyjnych w siłowni okrętowej wymaga przeprowadzenia hierarchizacji samych czynników decyzyjnych.

Odpowiednia hierarchizacja została przeprowadzona przez określenie podziału na czynniki główne i szczegółowe. Zgodnie z tym przyjmą one postać poszczególnych elementów struktury hierarchicznej wg Saaty’ego (rys.1) [4]:

- celem nadrzędnym będzie wartość wskaźnika ważności zadania WG ,
- celami pośrednimi będzie sześć czynników głównych C_i ,
- celami cząstkowymi będą czynniki szczegółowe poszczególnych czynników głównych c_{ij} ,
- ocenianymi wariantami będą poszczególne zadania eksploatacyjne, z jakich tworzony będzie harmonogram.

W metodzie tej wartości ocen pozyskuje się od użytkowników i ekspertów znających charakter ocenianych obiektów przez porównanie ich parami. Umożliwia to ocenę porównawczą poszczególnych elementów na podstawie analizy preferencji decy-

denta, wykorzystując punktowe oceny względne, w skali 1-9 zgodnie ze specyfiką podaną w tabeli 1.



Rys. 1. Struktura hierarchiczna czynników wpływających na wagę zadań eksploatacyjnych realizowanych w siłowni okrętowej

Tabela 1

Ocena poziomu dominacji między poszczególnymi czynnikami

Ocena istotności	Określenie	Objaśnienie
1	Jednakowa istotność pary czynników	Oba czynniki są jednakowo istotne
3	Niewielka przewaga jednego czynnika nad drugim	Osąd i doświadczenie nieznacznie przedkładają jeden czynnik nad drugim
5	Silna przewaga	Osąd i doświadczenie silnie przedkładają jeden czynnik nad drugim
7	Bardzo silna przewaga	Jeden czynnik jest bardzo silnie przedkładany i praktyka potwierdza tę przewagę
9	Absolutna przewaga	Przewaga jednego czynnika nad drugim jest absolutna i potwierdzona w najbliższym stopniu
2, 4, 6, 8	Wartości pośrednie	Stosuje się tylko w razie konieczności

Ostatni etap to agregacja uzyskanych współczynników, odpowiadających czynnikom głównym i szczegółowym, oraz ich współczynników wagi w jeden wskaźnik globalny (wskaźnik ważności zadania *WG*), pozwalający na porównanie poszczególnych wariantów zadań pod względem istotności w procesie eksploatacyjnym siłowni okrętowej.

4.1. Agregacja współczynników określających ważność zadań eksploatacyjnych w siłowni okrętowej

Agregacja wskaźników uzyskanych w metodzie *AHP* z założenia odbywa się według addytywnej funkcji użyteczności, syntetyzującej udziały wagowe poszczególnych kryteriów (czynników) oraz wartości stopnia spełnienia ułamkowej funkcji celu przez każde z kryteriów (czynników) [4].

W związku z tym do agregacji wskaźników określających ważność zadań w procesie eksploatacyjnym zastosowana została metoda addytywna, z małym odstępstwem od tej zasady, co zostanie wyjaśnione poniżej.

Czynnik związany z możliwością przesunięcia terminu realizacji zadania określa, czy możliwe jest przesunięcie realizacji zadania na późniejszy termin wychodzący poza czas rozpatrywanego harmonogramu. Określają go dwa czynniki szczegółowe stanów eksploatacyjnych statku oraz siłowni okrętowej. Nie są one alternatywą względem siebie, nie jest więc możliwe wpłynięcie na daną decyzję tylko jednego z nich. W związku z tym czynniki szczegółowe dla tego czynnika głównego muszą zostać zagregowane metodą multiplikatywną.

Ponieważ czynniki związane z czasem (częstotliwość powtarzania, czas realizacji zadania) wyraźnie od siebie ściśle zależą, ich agregacja musi być również przeprowadzona metodą multiplikatywną. Ponadto, w przypadku czynnika związanego z czasem, konieczne okazało się wprowadzenie dodatkowo pewnego współczynnika korygującego termin realizacji zadania, oznaczonego symbolem c_{6x} .

Na tej podstawie ostateczna postać funkcji użyteczności (wskaźnika ważności zadania WG) przyjmie postać:

$$WG = Wgc_1 \cdot \sum(c_{1j} \cdot wgc_{1j}) + Wgc_2 \cdot \sum(c_{2j} \cdot wgc_{2j}) + Wgc_3 \cdot \sum(c_{3j} \cdot wgc_{3j}) + Wgc_4 \cdot \prod(c_{4j} \cdot wgc_{4j}) + Wgc_5 \cdot \sum(c_{5j} \cdot wgc_{5j}) + Wgc_6 \cdot (c_{61} \cdot wgc_{61} + c_{62} \cdot wgc_{62} \cdot c_{63} \cdot wgc_{63} \cdot c_{6x}) \quad (3)$$

Dzięki agregacji wszystkich wskaźników wyróżnionych w niniejszej pracy uzyskuje się jedną wartość oceniającą poszczególne zadania eksploatacyjne, która unifikuje współczynnik ważności, umożliwiając porównanie zadań eksploatacyjnych między sobą w celu ich hierarchizacji niezbędnej w procesie harmonogramowania.

4.2. Wyniki przeprowadzonych badań ankietowych

Na podstawie przedstawionego wcześniej modelu hierarchizacji zadań eksploatacyjnych realizowanych w siłowni okrętowej z wykorzystaniem metody *AHP* opracowano ankietę porównawczą. Ankieta ta skierowana została do osób posiadających najwyższy stopień w hierarchii zawodowej w tej dziedzinie, czyli do starszych mechaników okrętowych.

Badanie polega na określeniu przez każdego ankietowanego preferencji między każdymi dwoma czynnikami (głównymi i następnie szczegółowymi) w procesie decyzyjnym harmonogramowania zadań eksploatacyjnych w siłowni okrętowej.

Wstępna analiza została przeprowadzona na podstawie ankiet dwunastu ekspertów. W wyniku zebranych danych dotyczących ocen poszczególnych czynników branżowych pod uwagę podczas wyboru zadań w procesie eksploatacyjnym uzyskano szereg

wartości współczynników ważności czynników decyzyjnych. Na ich podstawie wyznaczono ich wartości średnie. Tak otrzymane wartości zamieszczono w tabeli 2.

W metodzie AHP funkcjonuje wskaźnik spójności CR (ang. *Consistency Ratio*), wyrażający zgodność ocen dokonanych porównań. Zgodnie z teorią wskaźnik ten nie powinien przekraczać wartości 0,1 [4], jednak nie jest to warunek konieczny. Wskaźnik CR określa zachowanie relacji przechodniości dominacji poszczególnych obiektów – pośrednio wyraża wiarygodności ocen pozyskanych od ekspertów [1, 4, 5]. Wartość tego wskaźnika określa się jako stosunek współczynnika niezgodności CI do losowego wskaźnika RI , który jest wartością średnią CI dla dużej liczby losowo wygenerowanych macierzy porównań wartości RI w postaci stabelaryzowanej można znaleźć w wielu źródłach, m. in. [1, 5].

$$CR = CI / RI \quad (4)$$

gdzie:

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1) \quad (5)$$

w którym:

λ_{max} – maksymalna wartość własna macierzy porównań rzędu n ,
 n – liczba porównywanych elementów.

Tabela 2

Wartości liczbowe współczynników ważności czynników zadań eksploatacyjnych uzyskanych na podstawie modelu opartego na metodzie AHP

Czynniki główne			Czynnik szczegółowe		
Ozn.	WgC_i	WgC_iX	Ozn.	wgc_i	wgc_iX
C_1	0,3195	0,3190	c_{11}	0,2278	0,3118
			c_{12}	0,7131	0,6236
			c_{13}	0,0590	0,0646
C_2	0,1100	0,1325	c_{21}	0,3320	0,3799
			c_{22}	0,1793	0,1513
			c_{23}	0,4887	0,4688
C_3	0,2339	0,2729	c_{31}	0,4660	0,4844
			c_{32}	0,2802	0,2682
			c_{33}	0,1643	0,1692
			c_{34}	0,0895	0,0782
C_4	0,0835	0,0463	c_{41}	0,6759	0,6667
			c_{42}	0,3241	0,3333
C_5	0,0730	0,0436	c_{51}	0,5370	0,5000
			c_{52}	0,4630	0,5000
C_6	0,1801	0,1858	c_{61}	0,2539	0,3617
			c_{62}	0,2132	0,2037
			c_{63}	0,4811	0,3798
			c_{64}	0,0518	0,0548

Ostateczne (średnie) wartości współczynników ważności czynników (WgC_i , wgc_i) uwzględniają wszystkie uzyskane w procesie akwizycji dane, pomimo że w przypadku części z nich wskaźnik CR przekraczał wartość 0,1. Dla porównania,

w tabeli podane zostały również wartości współczynników ważności czynników (WgC_iX , wgc_iX) uwzględniające tylko te wyniki ankietowe, dla których wskaźnik spójności CR był mniejszy niż 0,1. Różnica między uzyskanymi w ten sposób wartościami współczynników wagi czynników wahała się od 0,05% - 10%.

5. Podsumowanie

Przedstawiony artykuł obrazuje praktyczne zastosowanie wielokryterialnej metody wspomaganiania decyzji AHP do rozwiązania problemu wartościowania (hierarchizacji) zadań eksploatacyjnych w siłowni okrętowej. Zastosowana metoda pozwala na uszeregowanie wielu zadań jako alternatywnych propozycji wariantów wyboru.

Przeprowadzone na podstawie tej metody analiza i ocena czynników wpływających na ważność zadań pozwalają na uzyskanie współczynników ważności zadań. Współczynniki te zaś pozwalają ocenić (hierarchizować) zadania w zbiorze zadań niezbędnych do wykonania. Ocena ta jest oceną względną, odniesioną do warunków, w których proces ten jest przeprowadzany, przez porównanie wartości współczynnika ważności każdego zadania z uwagi na określony w danej chwili cel, jakim jest właściwe funkcjonowanie siłowni okrętowej.

Przekroczenie wartości 0,1 współczynnika CR w przypadku niektórych ankietowanych mogło być spowodowane praktyką zdobywaną na różnych rodzajach jednostek pływających (np.: masowce, tankowce, jednostki offshore'owe, tzw. sejsmiki, itd.), gdzie priorytety procesu eksploatacyjnego mogą się trochę różnić. W przyszłości może więc wystąpić konieczność określenia różnych współczynników ważności czynników dla różnych rodzajów jednostek pływających.

Przedstawione wartości poszczególnych współczynników ważności zadania uzyskane zostały na podstawie wstępnej analizy danych pozyskanych ze stosunkowo małej liczby ankiet ekspertów, którzy mieli doświadczenie na różnych rodzajach statków, co mogło wpłynąć na uzyskane rozbieżności w ocenie preferencji decyzyjnych.

BIBLIOGRAFIA

1. Downarowicz J., Krause J., Sikorski M., Stachowski W.: Wybrane metody ergonomii i nauki o eksploatacji. Wydawnictwo PG, Gdańsk 2000.
2. Kamiński P., Tarełko W.: Prototyp komputerowo wspomaganego systemu przydziału zadań eksploatacyjnych realizowanych w siłowni okrętowej. Przegląd Mechaniczny, 3/2007.
3. Kamiński P.: Identyfikacja elementów problemu decyzyjnego zarządzania siłownią okrętową. Materiały Konferencyjne - 'Poliptymalizacja i CAD', Mieleno 2006, s. 94-101.
4. Saaty T.L.: The Analytical Hierarchy Process. McGraw-Hill, New York 1980.
5. Witkowska D.: Sztuczne sieci neuronowe i metody statystyczne. Wydawnictwo C.H.Beck, Warszawa 2002. ISBN: 83-7110-639-4.

Abstract

Management of operational and maintenance tasks carried out in the ship power plant is a very difficult process for decision-makers. One of the management components is section of such tasks, which are the most important from operational process point of view. This could be accomplished by attribute validity (weights) of the tasks that have to be carried out for under given conditions.

This paper deals with the application of the AHP method for weights hierarchization of operational tasks carrying out in a ship engine plant. Based on factors influencing importance of the mentioned tasks we determined their hierarchy structure. Moreover, opinions of experts - Ship Chief Engineer's, concerning their preferences about these factors were acquired. For the AHP method experts define the level preferences of these factors by pair-wise judgments.

The AHP method computes a weight for each task based on the pair-wise comparisons by using mathematical techniques such as an eigenvalue vector.

In this approach was received the numerical value of the importance task index for the tasks to be carried out in the ship power plant.