



УДК 347.799.2

## ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРНЫХ СВОЙСТВ МОРСКОЙ ПОИСКОВО-СПАСАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ В ЗОНЕ ОТВЕТСТВЕННОСТИ УКРАИНЫ

*Годованюк С.П., Селиванов С.Е.*

*Херсонская государственная морская академия*

*В статье рассмотрена созданная на Украине система морского поиска и спасения (SAR). Система SAR, как любая другая система, состоит из отдельных компонентов (структур), которые должны функционировать во взаимодействии в целях обеспечения системы в целом. Такими структурами являются координационный центр (подцентры) поиска и спасения (RCC) с соответствующим районом поиска и спасения (SRR). Для данной системы в работе вводится понятие графа мобильных связей, позволяющего дать наглядную информацию о составе и структуре системы, показать вероятностные структурно-топологические характеристики графов мобильных связей между элементами структуры в различных условиях его функционирования, что дает возможность решать широкий круг задач системы поиска и спасения с заданными показателями эффективности и качества.*

*Ключевые слова: система морского поиска и спасения, структура, мобильные связи, граф, характеристики графа.*

**Введение.** Украина как и каждое прибрежное государство, признает большое значение спасению жизни людей и необходимость непосредственно участвовать в оказании услуг авиационного и морского поиска и спасения (SAR) лицам, терпящим бедствие на море [1, 2].

Система SAR, как любая другая система, состоит из отдельных структур, которые должны функционировать во взаимодействии в целях обеспечения службы в целом. Разработка системы SAR, как правило, предполагает создание одного или нескольких районов поиска и спасения SRR наряду с обеспечением возможностей приема аварийных оповещений, координации и работы служб SAR в каждом SRR. Каждый SRR связан с координационным центром поиска и спасения RCC. Все RCC должны удовлетворять определенным минимальным требованиям.

Необходимым условием является хорошая связь. Средства связи должны обеспечивать незамедлительную передачу в RCC аварийной информации, что позволяет RCC без задержек направлять свои ресурсы в районы поиска и поддерживать двустороннюю связь с лицами, терпящими бедствие.

Возможности определения местоположения позволяют средствам SAR, предпринимающим меры реагирования, свести время поиска к минимуму и прибыть к фактическому месту бедствия для проведения спасательных работ.

Координационные центры поиска и спасения RCC является оперативным средством, которое несет ответственность за содействие эффективной организации служб SAR и за координацию проведения операций SAR в пределах SRR. RCC координирует действия, но необязательно обеспечивает наличие средств SAR в рамках всего международно-признанного SRR.

На Украине создано государственное предприятие «Администрация морских портов Украины» (ГП «АМПУ»). Кабинета Министров Украины закрепил постановлением № 584 от 14 августа 2013 г. казенное предприятие «Морская поисково-спасательная служба» в состав госпредприятия «Администрация морских портов Украины».

За организацию эффективного поиска и спасения судна, терпящего бедствие, и координацию проведения поисково-спасательных операций в пределах определенного поисково-спасательного района несет ответственность спасательно-координационный центр (СКЦ), закрепленный за данным районом.

К каждому району и СКЦ прикреплена береговая станция (радиостанции), в функции которой(ых) входит прием и передача оповещения о бедствии и связь для



координації проведення пошуково-рятувальних операцій. Кожна станція має надійну телефонну і телексну зв'язь з СКЦ.

СКЦ координує обмін в разі беды сам або може поручити це другій радіостанції, знаходячійся в найкращому положенні для проведення пошуково-рятувальної операції.

Таким чином, в зоні відповідальності України створена морська пошуково-рятувальна система на Чорному і Азовському морях.

Створена система на Україні складається з наступних об'єктів:

- державний морський рятувально-координаційний центр в місті Одеса;
- морський рятувально-координаційний підцентр в місті Севастополь;
- морський рятувально-координаційний підцентр в місті Керч;
- морський рятувально-координаційний підцентр в місті Маріуполь.

На рис. 1 показано морська зона відповідальності, райони пошуку і рятування України, розташування, як об'єкта рятувально-координаційного центру і підцентрів.

Морський пошуково-рятувальний район України складає приблизно 137 тис. км<sup>2</sup>, що є, приблизно, чверть суходовної території держави.

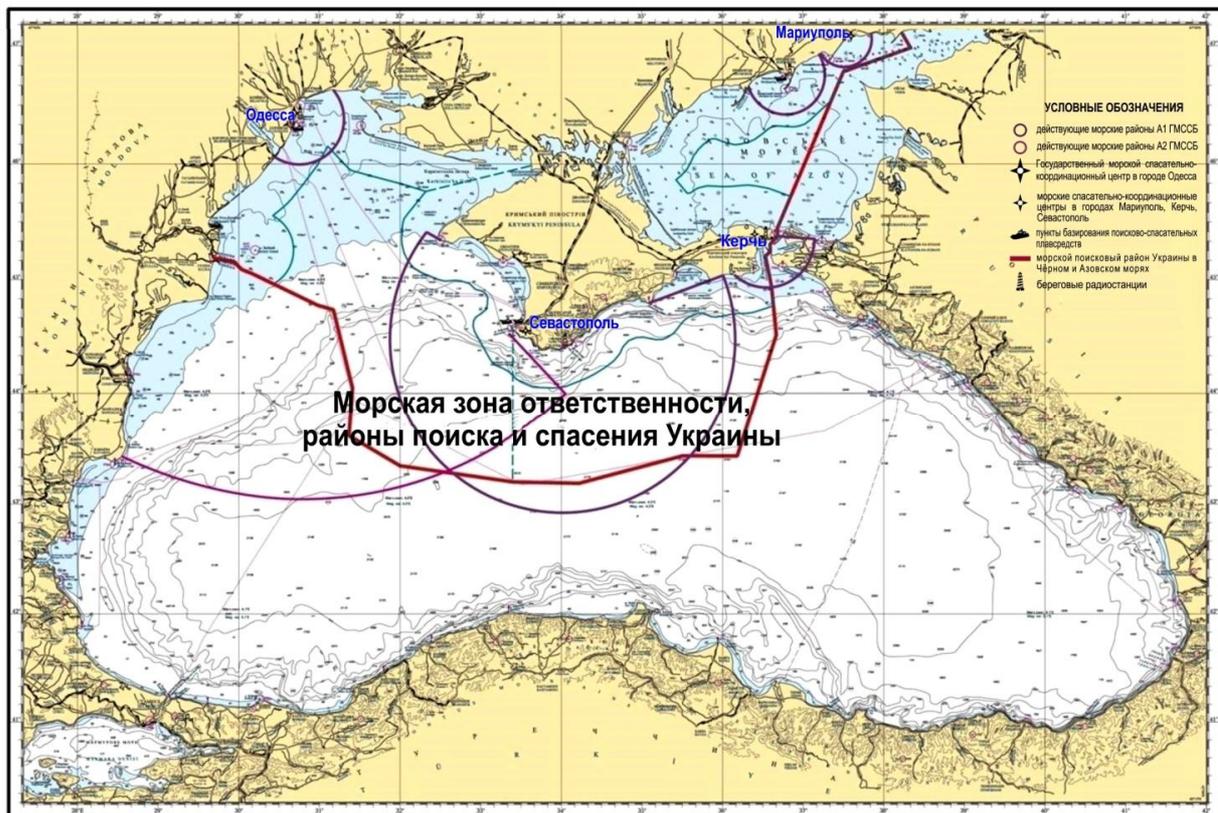


Рисунок 1 – Морська зона відповідальності, райони пошуку і рятування України

Для наступних досліджень зауважимо, що структура це сукупність елементів системи і зв'язей між ними. Модель структури повинна відображати відносини елементів, як між собою, так і з зовнішнім середовищем. Загальна задача структурного аналізу – виходячи з заданого описання елементів, отримати певне уявлення про властивості системи в цілому і про властивості підсистем.

**Цілью даної статті** є введення графа мобільних зв'язей, що дозволяє дати наочну інформацію про структуру морської пошуково-рятувальної системи в зоні відповідальності України.

Аналіз можливих варіантів структури морської пошуково-рятувальної системи показує, що в його вигляді повинні розглядатися структурні побудови,



позволяющие решать широкий круг задач с заданными показателями эффективности и качества.

Для достижения цели в статье была поставлена **задача** – использовать методы теории графов для исследования устойчивости мобильных связей между элементами структуры морской поисково-спасательной системы в различных условиях ее функционирования.

Функциональные свойства различных вариантов ее построения описываются с помощью введения числовых функций на графе. На сегодняшний день теория графов получила статус весьма актуальной отрасли науки.

**Изложение основного материала.** Морские спасательно-координационные сети относятся к классу топологических связанных объектов (топология оперирует своими объектами, которые несут информацию о их взаимной связи друг с другом, и устанавливает между ними соотношения), поэтому их работоспособность во многом определяется структурными особенностями.

Структурный анализ позволяет выявить определенные особенности, их слабые и сильные стороны.

Известно, что любую структуру в данном случае СКЦ можно представить графами (граф, от греческого *γραφο* – пишу) и тем самым исследовать их структурные свойства.

Граф – это наглядная информация о составе и структуре системы, представленная в графической форме [3, 4].

Граф состоит из обозначений элементов системы, называемых вершинами –  $n$ , и обозначений связей между ними, называемых ребрами –  $m$ , которые изображены линиями. Если узлы графа не нумерованы, то ребра являются неориентированными. У графа с нумерованными узлами ребра ориентированы. Множество ориентированных ребер составляет ориентированный граф.

Наибольшей популярностью теоретико-графовые модели используются при исследовании систем сетевой структуры.

Для использования методов теории графов для данной структуры вводится понятие графа мобильных связей, характеризующего вероятностные характеристики устойчивости мобильных связей между элементами структуры поисково-спасательной системы в различных условиях его функционирования.

Существующие СКЦ рассматриваются как вершины, а связи между ними при выполнении поисково-спасательных работ – как ребра. Применение различных вычислений, производимых на таком графе, позволяет спланировать оптимальный маршрут.

Существует ряд способов задания графов. Для решения конкретной задачи можно выбрать тот или иной способ, в зависимости от удобства его применения.

Одной из важнейших характеристик графа мобильных связей является его связность.

Связность структуры это количественная характеристика, которая позволяет выявить наличие обрывов в структуре.

Если для любых двух вершин графа существует хотя бы один соединяющий их путь – граф называется связным. Связность может быть не только качественной характеристикой графа (связный/несвязный), но и количественной.

Количественная связность характеризует количество связей между вершинами графа (связный граф – это граф, в котором между любыми двумя вершинами есть путь). Если полный граф (простой граф, в котором каждая пара различных вершин смежна) имеет всего вершин  $n$  штук, каждая соединена с  $n-1$  вершиной – получаем произведение  $n(n-1)$ , но мы считаем каждое ребро два раза, значит, надо произведение разделить на два, и тогда получим искомую формулу для нахождения количества ребер:  $\frac{n(n-1)}{2}$ .



Следовательно, полный граф с  $n$  вершинами имеет  $\frac{n(n-1)}{2}$  ребер и обозначается  $K_n$  (граф называется  $K$  – связным, если каждая его вершина связана с  $K$  других вершин. Это утверждение известно из курса школьной физики как правило Кирхгофа применяемого для решения систем линейных уравнений, описывающих работу электрических цепей).

Для неориентированного графа с  $n$  вершинами минимальное число связей в структуре не может превышать числа  $\frac{n(n-1)}{2}$ . Для ориентированного графа число связей не может быть меньше  $n-1$ , иначе какие-то вершины окажутся изолированными от остальных вершин графа.

Для определения числа связей в графе используется матрица связности [5]. Эта характеристика графа важна для оценки устойчивости функционирования системы.

Для неориентированных графов связность всех элементов в структуре соответствует выполнению условия:

$$\frac{1}{2} \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} \right] \geq n-1, \text{ при } i \neq j. \quad (1)$$

В соотношении (1)  $a_{ij}$  – элементы матрицы смежности вершин графа. Правая часть (1) определяет необходимое минимальное число связей в структуре неориентированного графа, содержащего  $n$  вершин. Коэффициент  $\frac{1}{2}$  берется в силу того, что одна и та же связь  $a_i$  и  $a_j$  учитывается дважды.

Соотношение (1) можно переписать в виде

$$\frac{1}{2} \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} \right] = m,$$

т.е. это не что иное, как число ребер в неориентированном графе.

Другой важной характеристикой графа мобильных связей является его структурная избыточность [6]. Структурный параметр, отражающий превышение общего числа связей над минимально необходимым, будем называть структурной избыточностью  $R$ . Данная характеристика используется для косвенной оценки экономичности и надежности системы. Введение избыточности увеличивает надежность системы за счет повышения безотказности. Принято, что система с большей структурной избыточностью  $R$  потенциально более надежна, однако в ряде случаев она должна быть приближена к минимальной  $R=0$  (в целях повышения оперативности и экономичности).

Структурная избыточность определяется наличием работы при морском поиске и спасения дополнительной службы (при отказе одной из них ее функции выполняет другая служба), которая не востребована при нормальной работе.

Разделим в соотношении (1) все члены на  $n-1$  и разность обозначим через  $R$ .

Тогда получим

$$R = \frac{1}{2} \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} \right] \frac{1}{n-1} - 1, \quad (2)$$

$$R = \frac{m}{n-1} - 1, \quad (3)$$

где  $R$  – структурная избыточность,  $m$  – число ребер в неориентированном графе,  $n$  – число вершин.



Недоиспользованные возможности заданной структуры, имеющей  $m$  ребер и  $n$  вершин, в достижении максимальной связности характеризует показатель  $\varepsilon^2$ , учитывающий неравномерность связей.

Равномерное распределение связей в структуре неориентированного графа имеющего,  $m$  ребер и  $n$  вершин, характеризуется средней степенью всех вершин графа  $\rho_{cp} = 2\frac{m}{n}$  (в этой формуле множитель 2 появляется потому, что каждое ребро соединяет 2 вершины, и поэтому считается дважды). Обозначим действительную степень  $i$ -й вершины графа (число ребер, связанных с этой вершиной) через  $\rho_i$ . Тогда введя понятие отклонения  $(\rho_i - \rho_{cp})$  можно определить квадратичное отклонение заданного распределения степеней вершины от равномерного. В результате чего, неравномерность связей  $\varepsilon^2$  в графе мобильных связей может быть охарактеризована выражением

$$\varepsilon^2 = \sum_{i=1}^{i=n} (\rho_i - \rho_{cp})^2. \quad (4)$$

Для количественной оценки структурной компактности вводится параметр, отражающий близость элементов между собой, т.е. структурная компактность  $Q$ , отражает близость вершин  $\alpha_i$  и  $\alpha_j$  графа между собой. Близость 2-х элементов  $i$  и  $j$  определяется через минимальную длину пути для ориентированного графа (цепи – для неориентированного) –  $d_{ij}$ . Тогда сумма всех минимальных путей (цепей) между всеми элементами отражает общую структурную близость элементов в анализируемой структуре. В соответствии с определением, будем иметь:

$$Q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij}, \text{ при } i \neq j \quad (5)$$

Более наглядной характеристикой структурной компактности графа мобильных связей может служить его относительная компактность  $Q_{отн}$ , определяемая как

$$Q_{отн} = \frac{Q}{Q_{пг}} - 1, \quad (6)$$

где  $Q_{пг} = n(n-1)$  представляет собой число связей в структуре полного графа (пг).

Еще проще структурную компактность можно характеризовать и другим параметром – диаметром структуры:

$$d = \max_{i,j} d_{ij}. \quad (7)$$

Учитывая преобладающий информационный характер связей в технологических сетях, можно сказать, что величина  $Q_{отн}$  и  $d$  интегрально оценивают инерционность информационных процессов в системе, а при равных значениях  $\varepsilon^2$  и  $R$  их возрастание отражает увеличение числа разделяющих связей в структуре, характеризуя тем самым снижение общей надежности.

Еще одной важной характеристикой для оценки степени централизации в структуре используется понятие индекса центральности  $\delta$ :

$$\delta = (n-1)(2z_{\max} - n) \frac{1}{z_{\max}(n-2)}, \quad (8)$$

где



$$z_{\max} = \max \frac{Q}{2d_i}, \quad (9)$$

где  $d_i$  – сума елементів строки с номером  $i$ .

Степень централизации характеризует концентрацию всех вершин графа относительно одной из них (центра).

Задача системного анализа – нахождение простого в сложном.

Для практического применения системного анализа следует применять все свойства систем, т.к. любая система, какой бы сложной она не казалась на первый взгляд, оказывается составленной из элементарных структур, образующих подсистемы. Пользуясь свойствами систем, можно систему любой структуры свести к этим элементарным структурам.

Наиболее характерными системами со структурами графов мобильных связей можно считать:

- систему с последовательно расположенными элементами (так называемые линейные (последовательные) структуры);
- систему с кольцевой структурой;
- систему с радиальной структурой;
- систему со структурой «полный граф»;

Вместе с тем представляется, что знание структуры является важным, но недостаточным аспектом проблемы построения систем. Как уже отмечалось, необходимо получить ответ о том, какая структура лучше или хуже, причем это нужно сделать при помощи количественных параметров и критериев.

Рассмотрим некоторые свойства данных структур на примере графа связей для четырех территориально рассредоточенных объектов – морских спасательно-координационных центров (подцентров) (СКЦ) на Черном и Азовском морях в зоне ответственности Украины с использованием рекомендаций, приведенных в [7].

Для четырех объектов рассмотрим разные структуры графов мобильных связей.

Линейную (последовательную) структуру представим на рис. 2.

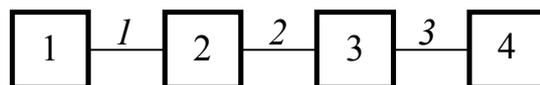


Рисунок 2 – Линейная структура

На рис. 2 представлена элементарная структура, т.е. графическое представление графа. Данный способ представления отношений между элементами наиболее нагляден, однако он не может быть использован при решении задач структурного анализа. Поэтому графическое представление чаще всего дополняется матричным способом, и матрицы, полученные на основе анализа ребер, называют матрицами смежности вершин, т.е. вершины, соединенные ребром, называются смежными, ребра, имеющие общую вершину, также называются смежными.

Всякий граф можно задать матрицей смежности.

Матрица смежности графа – это матрица, значения элементов которой характеризуются смежностью вершин графа. При этом значению элемента матрицы присваивается количество ребер, которые соединяют соответствующие вершины (т.е. которые инцидентны обоим вершинам). Две вершины смежные, если они соединены ребром и не смежные, если не соединены ребром.

Матрица смежности однозначно определяет структуру графа.

Пусть имеем граф  $G$ . Его матрицей смежности есть квадратная матрица  $A[i, j]$ .

$$A = A[i, j] = \begin{cases} 1, & \text{вершина с номером } i \text{ смежна с вершиной с номером } j \\ 0, & \text{вершина с номером } i \text{ не смежна с вершиной с номером } j \end{cases}$$



Для неориентированного графа матрица смежности является симметрической. Для ориентированного графа матрица смежности симметрической, вообще говоря, не является.

Исходя из вышесказанного линейной структуре графа соответствует следующая матрица смежности.

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Структурную избыточность определим согласно (3), получим:

$$R = \frac{m}{n-1} - 1 = \frac{3}{4-1} - 1 = 0.$$

В данной линейной структуре  $m$  – число ребер в неориентированном графе – 3, а  $n$  – число вершин – 4.

Средняя степень всех вершин графа:

$$\rho_{\text{cp}} = 2 \frac{m}{n} = 2 \frac{3}{4} = 1,5.$$

По (4) определим показатель  $\varepsilon^2$  с учетом рис. 2, т.е. из рис. 2 видно, что  $\rho_1 = 1$ ,  $\rho_2 = \rho_3 = 2$ ,  $\rho_4 = 1$ :

$$\begin{aligned} \varepsilon^2 &= \sum_{i=1}^n (\rho_i - \rho_{\text{cp}})^2 = (\rho_1 - 1,5)^2 + (\rho_2 - 1,5)^2 + (\rho_3 - 1,5)^2 + (\rho_4 - 1,5)^2 = (1 - 1,5)^2 + (2 - 1,5)^2 + \\ &+ (2 - 1,5)^2 + (1 - 1,5)^2 = 2(1 - 1,5)^2 + 2(2 - 1,5)^2 = 2(-0,5)^2 + 2(0,5)^2 = 2 \cdot 0,25 + 2 \cdot 0,25 = \\ &= 0,5 + 0,5 = 1. \end{aligned}$$

Матрица расстояний  $\|d_{ij}\|$ .  $d_{ij}$  – это число ребер (минимальное), через которые нужно пройти, чтобы попасть из вершины с номером  $i$  в вершину с номером  $j$ . Например:  $d_{12} = 1$ ,  $d_{13} = 2$ ,  $d_{14} = 3$ . Расстояние  $d_{ii} = 0$ .

Запишем матрицу расстояний для последовательной структуры (линейного графа):

$$\|d_{ij}\| = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 \\ 1 & 0 & 1 & 2 \\ 2 & 1 & 0 & 1 \\ 3 & 2 & 1 & 0 \end{pmatrix},$$

где  $d_i = \sum_{j=1}^{j=n} d_{ij}$ .

Тогда структурная компактность (5) неориентированного графа линейной структуры:

$$Q = 2 \sum_{i=1}^{i=n} \sum_{j=1}^{j=m} d_{ij} = 20 \text{ – сумма всех элементов матрицы расстояний равна } 20.$$

Число связей в структуре полного графа  $Q_{\text{пр}} = n(n-1) = 4(4-1) = 12$ .

Относительная компактность (6) графа линейной структуры:

$$Q_{\text{отн}} = \frac{Q}{Q_{\text{пр}}} - 1 = \frac{20}{12} - 1 = 1,666 - 1 = 0,67.$$



Диаметр графа (7) линейной структуры, максимальное расстояние между вершинами

$$d = \max d_{ij} = 3.$$

По (9)  $z_{\max} = \max \frac{Q}{2d_i} \cdot \max \frac{Q}{2d_i}$  получается, когда  $d_i$  минимальное.

Минимальным является сумма элементов 3-ей строки матрицы расстояний, поэтому  $d_3 = 6$ .

$$\text{Тогда } z_{\max} = \frac{Q}{2d_i} = \frac{20}{2 \cdot 4} = \frac{10}{3} = 2,5.$$

Степень централизации (8) графа линейной структуры

$$\delta = (n-1)(2z_{\max} - n) \frac{1}{z_{\max}(n-2)} = 3(5-4) \frac{1}{2,5 \cdot 2} = 0,6.$$

Структурная избыточность (3):  $R = m \cdot \frac{1}{n-1} - 1 = 3 \cdot \frac{1}{3} - 1 = 0$ .

Рассмотрим кольцевую структуру, которая представлена на рис. 3.

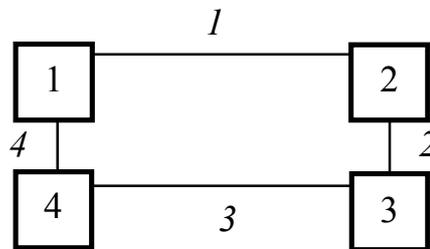


Рисунок 3 – Кольцевая структура

Для этой структуры матрица смежности имеет вид:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{matrix} 2 \\ 2 \\ 2 \\ 2 \end{matrix}$$

Тогда структурная избыточность

$$R = \frac{1}{2} \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m q_{ij} \right] \frac{1}{n-1} - 1 = \frac{8}{2 \cdot (4-1)} - 1 = 0,33.$$

Средняя степень всех вершин графа

$$\rho_{\text{cp}} = 2 \frac{m}{n} = 2 \frac{4}{3} = 2,66.$$

По (4) определим показатель  $\varepsilon^2$ .  $\rho_i = 2$  – для любой вершины.  $\rho_{\text{cp}} = 2$ .

$$\varepsilon^2 = \sum_{i=1}^n (\rho_i - \rho_{\text{cp}})^2 = \sum_{i=1}^n (2-2)^2 = \sum_{i=1}^n 0 = 0.$$

Матрица расстояний для графа кольцевой структуры имеет следующий вид:



$$\|d_{ij}\| = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 2 \\ 2 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 0 \end{vmatrix} \cdot 4$$

Относительная компактность (6) графа кольцевой структуры:

$$Q_{\text{отн}} = \frac{Q}{Q_{\text{пт}}} - 1 = \frac{16}{12} - 1 = 1,33 - 1 = 0,33.$$

Диаметр графа (7) кольцевой структуры, максимальное расстояние между вершинами  $d = \max d_{ij} = 2$ .

По (9)  $z_{\text{max}} = \max \frac{Q}{2d_i} \cdot \max \frac{Q}{2d_i}$  получается, когда  $d_i$  минимальное.

Минимальным является  $d_i = 6$ .

$$\text{Тогда } z_{\text{max}} = \frac{Q}{2d_i} = \frac{16}{2 \cdot 4} = \frac{16}{8} = 2.$$

Степень централизации (8) графа кольцевой структуры

$$\delta = (n-1)(2z_{\text{max}} - n) \frac{1}{z_{\text{max}}(n-2)} = 3(2 \cdot 2 - 4) \frac{1}{2 \cdot 2} = 0.$$

Рассмотрим радиальную структуру, которая представлена на рис. 4.

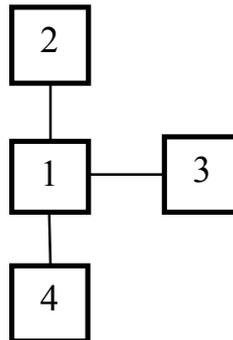


Рисунок 4 – Радиальная структура

Для этой структуры матрица смежности имеет вид:

$$A = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \begin{matrix} 3 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{matrix}$$

Тогда структурная избыточность

$$R = \frac{1}{2} \left[ \sum_{i=1}^{i=n} \sum_{j=1}^{j=m} q_{ij} \right] \frac{1}{n-1} - 1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{6}{3} - 1 = 0.$$

По (4) определим показатель  $\varepsilon^2$ ,  $\rho_1 = 3$ ,  $\rho_2 = \rho_3 = \rho_4 = 1$ .

$$\rho_{cp} = \frac{3+1+1+1}{4} = 1,5.$$



$$\varepsilon^2 = \sum_{i=1}^n (\rho_i - \rho_{cp})^2 = (3 - 1,5)^2 + (1 - 1,5)^2 - 3 = (1,5)^2 + (-0,5)^2 \cdot 3 = 2,25 + 3 \cdot 0,25 = 3.$$

Матрица расстояний для графа радиальной структуры имеет следующий вид:

$$\|d_{ij}\| = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 2 & 2 \\ 1 & 2 & 0 & 2 \\ 1 & 2 & 2 & 0 \end{vmatrix} \begin{matrix} 3 \\ 5 \\ 5 \\ 5 \end{matrix}$$

Диаметр графа (7) радиальной структуры, максимальное расстояние между вершинами  $d = \max d_{ij} = 2$ ,  $d_i$  минимальное = 3.

По (9)  $z_{\max} = \max \frac{Q}{2d_i} = \frac{18}{6} = 3.$

Относительная компактность (6) графа радиальной структуры:

$$Q_{\text{отн}} = \frac{Q}{Q_{\text{пр}}} - 1 = \frac{18}{12} - 1 = 1,5 - 1 = 0,5.$$

Степень централизации (8) графа радиальной структуры

$$\delta = (n - 1)(2z_{\max} - n) \frac{1}{z_{\max}(n - 2)} = 3(2 \cdot 3 - 4) \frac{1}{3 \cdot 2} = 3 \cdot 2 \cdot \frac{1}{6} = 1.$$

Рассмотрим структуру «полный граф», которая представлена на рис. 5.

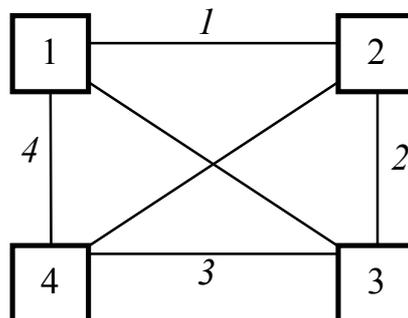


Рисунок 5 – Структура «полный граф»

Для данной структуры матрица смежности имеет вид:

$$A = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{vmatrix} \begin{matrix} 3 \\ 3 \\ 3 \\ 3 \end{matrix}$$

Тогда структурная избыточность

$$R = \frac{1}{2} \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m q_{ij} \right] \frac{1}{n-1} - 1 = \frac{1}{2} \cdot 12 \cdot \frac{1}{3} - 1 = 2 - 1 = 1.$$

По (4) определим показатель  $\varepsilon^2$ ,  $\rho_i = 3$ ,  $\rho_{cp} = 3$ .

$$\varepsilon^2 = \sum_{i=1}^n (\rho_i - \rho_{cp})^2 = \sum_{i=1}^n (3 - 3)^2 = \sum_{i=1}^n 0 = 0.$$

Матрица расстояний для графа структуры «полный граф» имеет следующий вид:



$$\|d_{ij}\| = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{vmatrix} \begin{matrix} 3 \\ 3 \\ 3 \\ 3 \end{matrix}$$

Диаметр графа (7) радиальной структуры  $d = 1$ .

По (9)  $z_{\max} = \max \frac{Q}{2d_i} = \frac{12}{6} = 2$ .

Относительная компактность (6) графа радиальной структуры:

$$Q_{\text{отн}} = \frac{Q}{Q_{\text{гр}}} - 1 = \frac{12}{12} - 1 = 0.$$

Степень централизации (8) графа радиальной структуры

$$\delta = (n-1)(2z_{\max} - n) \frac{1}{z_{\max}(n-2)} = (4-1)(2 \cdot 2 - 4) \frac{1}{2 \cdot 2} = 0.$$

Представим в табл. 1 структурно-топологические характеристики графа мобильных связей. Параметры этой таблицы для разных структур вычислялись по приведенным выше формулам.

Таблица 1 – Структурно-топологические характеристики графов мобильных связей

Структура	Характеристики				
	$R$	$\varepsilon^2$	$Q_{\text{отн}}$	$d$	$\delta$
Линейная	0	1	0,67	3	0,6
Кольцевая	0,33	0	0,33	2	0
Радиальная	0	3	0,5	2	1,0
«Полный граф»	1	0	0	1	0

Анализ табл. 1 показывает [8], что:

- структурная избыточность  $R$  наименьшая (равна 0) для линейной, радиальной и  $R > 0$  для кольцевой структуры, структуры типа «полный граф», а это, как принято, означает, что система с малой  $R$  менее надежна, однако в ряде случаев она должна быть приближена к минимальной  $R = 0$  (в целях повышения оперативности и экономичности);

- наименьшую неравномерность  $\varepsilon^2 = 0$  имеют структуры кольцевая, структуры типа «полный граф», для остальных структур наблюдается значительная неравномерность связей,  $\varepsilon^2 > 0$ ;

- наибольшую «близость» (наибольшую компактность)  $Q_{\text{отн}}$  имеет структура типа «полный граф», напротив линейная структура наименее компактна, поскольку величина относительной компактности  $Q_{\text{отн}}$  значительна;

- кольцевая и радиальная структуры, имеющие одинаковое значение  $d = 2$  незначительно различаются компактностью  $Q_{\text{отн}}$ ;

Дополнительно можно увидеть, что магистральная структура по своим характеристикам эквивалентна структуре типа «полный граф».

В качестве числовых функций на графах используются показатели интенсивности связей, характеризующие интенсивность выполнения поисково-спасательных работ между основными элементами структуры системы в различных режимах его функционирования.

**Вывод.** Рассмотренное в работе понятие графа мобильных связей координационного центра поиска и спасения на море в зоне действия Украины, позволило дать наглядную информацию о составе и структуре системы, показать вероятностные структурно-топологические характеристики графов мобильных связей между элементами



структури в різних умовах його функціонування. Це дає можливість вирішувати широкий круг задач системи пошуку і порятунку з заданими показателями ефективності і якості. Використовуючи різні структури графів, отримали структурно-топологічні характеристики графа мобільних зв'язків, що дало можливість провести повний аналіз стійкості мобільних зв'язків між елементами структури системи в різних умовах його функціонування.

Отримані результати досліджень будуть сприяти удосконаленню національної морської системи пошуку і порятунку.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Руководство по международному авиационному и морскому поиску и спасению (IAMSAR). – Т. 1. – Лондон/Монреаль : ИМО/ИКАО, 2007.
2. Международные конвенции и документы ИМО : UNCLOS'82 (Конвенция ООН по морскому праву), статья 98.
3. Сигорский В. П. Специальный математический аппарат инженера / В. П. Сигорский. – К. : Техника, 1977. – 768 с.
4. Берж К. Теория графов и ее применение / К. Берж. – М. : Изд-во иностр. лит., 1962. – 320 с.
5. Теория сетей связи / [В. Н. Ропинский, А. Д. Харкевич, М. А. Шнепс, Г. Б. Давыдов, А. Я. Толчан] ; под ред. В. Н. Ропинского. – М. : Радио и Связь, 1981. – 192 с.
6. Малышев Н. Г. Структурно-автоматные модели технических систем / Н. Г. Малышев. – М. : Радио и связь, 1986. – 166 с.
7. Ларин А. А. Теоретические основы управления. Ч. 1. Процессы, системы и средства управления / А. А. Ларин. – М. : РВСН, 2003. – 230 с.
8. Вирт Н. Алгоритмы+структуры данных = программы / Н. Вирт. – М. : Мир, 1985. – М. : Мир, 1989. – 360 с.

#### **Годованюк С.П., Селіванов С.Є. ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОРСЬКОЇ ПОШУКОВО-РЯТУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ В ЗОНІ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ УКРАЇНИ**

*В Україні створена система морського пошуку й рятування (SAR). Система SAR, як будь-яка інша система, складається з окремих компонентів (структур), які повинні функціонувати у взаємодії з метою забезпечення системи в цілому. Такими структурами є координаційний центр (підцентри) пошуку й рятування (RCC) з відповідним районом пошуку й рятування (SRR). Для даної системи в роботі вводиться поняття графа мобільних зв'язків, що дозволяє дати наочну інформацію про склад і структуру системи, показати ймовірнісні структурно-топологічні характеристики графів мобільних зв'язків між елементами структури в різних умовах його функціонування, що дає можливість вирішувати широке коло завдань системи пошуку й порятунку із заданими показниками ефективності та якості.*

*Ключові слова: система морського пошуку й рятування, структура, мобільні зв'язки, граф, характеристики графа.*

#### **Godovanyk S.P., Selivanov S.E. RESEARCHES of STRUCTURAL PROPERTIES the SEA SEARCH AND RESCUE SYSTEM IN THE ZONE OF RESPONSIBILITY OF UKRAINE**

*In Ukraine the system of sea search and rescuing (SAR) is created. System SAR as any other system, consists of separate components (structures) which should function in interaction with a view of system maintenance as a whole. Such structures are the coordination centre search and rescuing (RCC) with corresponding area of search and rescuing (SRR). For the given system in work the concept of the count of the mobile communication*

*is entered, allowing to give the evident information on structure and system structure, to show likelihood structurally-topological characteristics of counts of a mobile communication between structure elements in various conditions of its functioning that gives the chance to solve a wide range of problems of system of search and rescue with the set indicators of efficiency and quality.*

*Keywords: system of sea search and rescuing, structure, a mobile communication, the count, characteristics of the count.*