

УДК 629.563.2:519.81

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi65.126>

## СИСТЕМА КРИТЕРИЕВ ДЛЯ СОПОСТАВЛЕНИЯ И ОЦЕНКИ ПРИМЕНИМОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ БУРОВЫХ УСТАНОВОК В СУРОВЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

**О.А. Иванова<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>АО «ЦКБ «Коралл», г. Севастополь, Россия

<sup>2</sup>Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Россия

ORCID: 0000-0002-3034-0968

**И.Л. Благовидова<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>АО «ЦКБ «Коралл», г. Севастополь, Россия

<sup>2</sup>Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Россия

ORCID: 0000-0003-2340-9821

**А.В. Родькина**

Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Россия

ORCID: 0000-0002-4593-4259

*Аннотация. В статье приведен анализ существующих методов многокритериальных оценок. Для структуризации комплексной задачи сопоставления и оценки применимости различных типов буровых установок для расширения сезона бурения в суровых климатических условиях, при воздействии ледовых нагрузок, предлагается использование метода анализа иерархий, разработанного Т. Саати, и метода экспертных оценок. На основе экспертного опроса определяется приоритет критериев для метода анализа иерархий. Применение метода экспертных оценок позволяет учесть существующий опыт проектирования и эксплуатации морских буровых сооружений. При использовании простого математического аппарата были определены значения весовых коэффициентов на основании результатов экспертного опроса. Разработана программа в MS Excel для получения численной оценки предпочтений критериев. Результаты исследования могут использоваться проектными организациями на ранней стадии проектирования, т. е. для концептуальной стадии разработки проекта, при значительной нехватке природно-климатической и геологической информации о месте строительства. Полученные результаты работы позволяют определить наиболее объективную и эффективную форму выбора приемлемого варианта конструкции сооружения с учетом возможной минимизации ее стоимости, обеспечения безопасности и надежности на весь эксплуатационный период.*

*Ключевые слова: анализ, критерии, численные оценки, буровая платформа, диапазон глубин, сооружения, уровни иерархии, матрица.*

### Введение

Большинство энергоресурсов России находится в суровых климатических условиях арктических морей. Существуют различные типы буровых установок и буровых судов (далее – сооружений): морские стационарные платформы (МСП), полупогружные плавучие буровые установки (ППБУ), самоподъемные плавучие буровые установки (СПБУ), буровые суда и др. Актуальной задачей является определение типов сооружений, которые возможно применять в суровых климатических условиях арктических морей для расширения сезона бурения [1, 2].

При проведении технико-экономического анализа различных сооружений используются методы многокритериальных оценок, такие как: регрессионный или корреляционный анализ, индивидуальные и коллективные экспертные оценки, метод сценариев, метод компенсации, метод иерархий и другие методы и их комбинации.

Для концептуальной стадии разработки проекта наиболее оптимальным является применение метода экспертных оценок, так как на этой стадии, как правило, нет в достаточном объеме информации о месте строительства, о природно-климатических и геологических условиях. Применение метода экспертных оценок на начальной стадии проектирования позволит определить наиболее объективную и эффективную форму выбора приемлемого варианта конструкции сооружения с учетом возможной минимизации ее стоимости, обеспечения безопасности и надежности на весь эксплуатационный период.

Метод экспертных оценок – это метод организации работы со специалистами-экспертами и обработки их мнений.

Работа с экспертами проводится в следующей последовательности: осуществляется подбор специалистов, участвующих в экспертизе на основании их профессиональной компетентности; прорабатываются специальные анкеты и опросные листы; разрабатывается процедура опроса экспертов. Затем выполняется опрос экспертов согласно разработанной процедуре. Полученные от экспертов данные анализируются с целью подготовки оценок для принятия решения выполняется синтез объективной и субъективной информации.

Принципы проведения экспертных оценок:

1. Независимость – отсутствие предпочтительности тому или иному варианту.
2. Открытость – вовлечение разработчиков в процесс выполнения работы путем согласования с ними основных решений и промежуточных результатов.
3. Многокритериальность – оценка большого количества основных качеств, влияющих на показатели альтернатив.
4. Комплексность – оценка сооружения не только как изделия, но и его приспособленности к различным внешним условиям.
5. Иерархичность – разделение критериев по степеням важности с учетом назначения альтернативы, степени влияния на основные показатели и другие факторы.

Помимо вышеуказанных принципов, существует ряд требований к экспертам, например: компетентность в исследуемой проблеме, эрудированность, креативность, независимость, всесторонность и другие.

Одним из наиболее важных условий эффективности метода экспертных оценок является подбор качественного состава экспертной комиссии.

Качественный состав экспертной комиссии – важное условие эффективности экспертного метода. Во всех случаях экспертиза должна проводиться высококвалифицированными, компетентными и опытными специалистами.

Основные преимущества метода экспертных оценок [3] заключаются в следующем:

1. Метод не требует большого количества исходной информации.
2. Экспертные оценки позволяют оценить варианты не только по количественным, но и по качественным характеристикам.
3. Метод позволяет учесть степень влияния каждого критерия на поставленную в работе цель.

К недостаткам можно отнести сложность подбора экспертов широкой специализации, а также зависимость полученных результатов от уровня и квалификации эксперта [4–6].

### **Разработка способа и процедуры опроса экспертов**

Для процедуры опроса экспертов выбран метод шкальных оценок, который подразумевает применение различных специально разработанных шкал для количественной оценки информации, полученной при анкетном опросе экспертов. Построение шкалы оценок может дать цельную аналитическую информацию об экспертных оценках. Предлагается 10-балльная шкала оценивания (таблица 1).

Таблица 1

**Оценочная шкала метода шкальных оценок**

Интенсивность относительной важности	Определение	Объяснение
0	Несравнимы	Эксперт затрудняется в сравнении
1	Равная важность	Равный вклад двух критериев
3	Умеренное превосходство одного над другим	Опыт и суждения дают легкое превосходство одному критерию над другим
5	Существенное или сильное превосходство	Опыт и суждения дают осязаемое превосходство одному критерию над другим
7	Значительное превосходство	Одному из критериев дается настолько сильное превосходство, что оно становится практически значительным
9	Очень сильное превосходство	Очевидность превосходства одного критерия над другим подтверждается наиболее сильно
2, 4, 6	Промежуточные решения между двумя соседними суждениями	Применяются в компромиссном случае
Обратные величины приведенных чисел	Если при сравнении одного критерия с другим получено одно из вышеуказанных чисел (например – 3), то при сравнении второго критерия с первым получим обратную величину (т.е. 1/3)	

Сбор экспертной информации осуществляется с помощью разработанного опросного листа, который представляет собой совокупность таблиц. В процессе заполнения эксперт отвечает на поставленные вопросы для каждого типа сооружения. Для каждого критерия в опросном листе заполняется поле только выше главной диагонали, так как часть матрицы ниже нее является обратной матрицей и расчетной областью. Эксперт может также высказать свое мнение в свободной неформализованной манере, поясняя или комментируя проводимый экспертный анализ. Для этого эксперт использует поле для заметок «Примечание». Пример формы опросного листа, состоящий из матриц попарных сравнений 1-го ( $A_i$ ) и 2-го уровней ( $C_i$ ) представлен в таблице 2 для погружных платформ для глубин 60–120 м и таблице 3 для плавучих сооружений для глубины моря от 120 м.

В качестве экспертов могут быть привлечены главные конструктора или главные инженеры проектов, чья квалификация и компетентность подтверждена включением в Национальный реестр специалистов [3, 7].

Таблица 2

**Опросный лист (погружные платформы)**

Эксперт _____ (ФИО)						
Тип сооружения (глубина моря )						
<b>Критерии 1-го уровня:</b>		$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$
Опыт эксплуатации	$A_1$	1				
Транспортировка	$A_2$		1			
Продолжительность сезона бурения	$A_3$			1		
Ледостойкость	$A_4$				1	
Автономность	$A_5$					1

(ПБУ и СПБУ, устанавливаемых как опирающиеся на грунт)									
Критерии 2-го уровня:		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>
Обеспечение осадки при транспортировке	C <sub>1</sub>	1							
Обеспечение остойчивости	C <sub>2</sub>		1						
Масса	C <sub>3</sub>			1					
Габариты	C <sub>4</sub>				1				
Отрыв от грунта	C <sub>5</sub>					1			
Устойчивость	C <sub>6</sub>						1		
Постановка/снятие с точки	C <sub>7</sub>							1	
Мобильность	C <sub>8</sub>								1
ПРИМЕЧАНИЕ									

Таблица 3

Опросный лист (плавучие сооружения)

Эксперт _____		(ФИО)				
Тип сооружения		(глубина моря)				
Критерии 1-го уровня:	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	
Опыт эксплуатации	A <sub>1</sub>	1				
Транспортировка	A <sub>2</sub>		1			
Продолжительность сезона бурения	A <sub>3</sub>			1		
Ледостойкость	A <sub>4</sub>				1	
Автономность	A <sub>5</sub>				1	
(ППБУ и СПБУ, с судовыми обводами, рассматриваемые как плавучие сооружения)						
Критерии 2-го уровня:	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>
Осадка	C <sub>1</sub>	1				
Остойчивость	C <sub>2</sub>		1			
Качка	C <sub>3</sub>			1		
Непотопляемость	C <sub>4</sub>				1	
Перемещение	C <sub>5</sub>					1
Позиционирование на точке	C <sub>6</sub>					1

### **Структуризация и решение комплексной задачи о возможности реализации проектируемого сооружения для заданных внешних условий**

Для структуризации комплексной задачи сопоставления и оценки применимости различных типов БУ для расширения сезона бурения предлагается использование метода анализа иерархий, разработанного Т. Саати. Этот метод заключается в разложении проблемы на более простые составляющие части и поэтапном установлении приоритетов оцениваемых критериев с использованием парных (попарных) сравнений [8]. Приоритет критериев определяется на основе экспертного опроса и позволяет учесть различные мнения, а сами значения весовых коэффициентов рассчитываются при использовании простого математического аппарата. Решение проблемы представляет собой поэтапное установление приоритетов.

Цель задачи – установить приоритеты критериев и оценить каждую из альтернатив (тип бурового сооружения) по критериям, выявив самую оптимальную из них, для рассматриваемых условий бурения.

Разработана программа в MS Excel, алгоритм работы которой ниже.

В начале работы программы попарно сравниваются элементы одного уровня иерархии, определяется какой из них важнее и более вероятен. Затем дается количественная оценка на основе шкалы относительной важности. Таким образом строится матрица попарных сравнений в соответствии со вторым этапом метода анализа иерархий [9].

В таблицах 2, 3 представлены в общем виде матрицы попарных сравнений (матрица А, С), которые составляются для каждого типа бурового сооружения и затем сопоставляются между соответствующими типами буровых технических средств в зависимости от глубины постановки.

Для выбора критериев, позволяющих оценить и сравнить типы рассматриваемых сооружений для суровых климатических условий, а именно для Арктического шельфа, был применен следующий алгоритм:

#### **Условное разделение по глубинам моря на месте бурения**

Глубина постановки на месте бурения – один из основных факторов, влияющих на выбор типа буровых плавсредств, поэтому этот фактор является первоочередным при выборе критериев сравнения.

Условное разделение по глубине моря, для Арктического шельфа принято следующее:

- до 60 м;
- от 60 до 120 м;
- от 120 м.

#### **Выбор типа сооружения в зависимости от глубины моря**

Исходя из мировой практики, наличия опыта отечественного проектирования и строительства буровых платформ для добычи нефти и газа, буровые средства были классифицированы по способу их установки над скважиной в процессе бурения с выделением их в две основные группы [10, 11]:

- опирающиеся при бурении на морское дно;
- производящие бурение в плавучем состоянии.

Учитывая (1) и (2) были приняты следующие типы буровых сооружений:

- до 60 м рассматривались ПБУ и СПБУ;
- от 60 до 120 м СПБУ и ППБУ (как опирающиеся на опорное основание);
- от 120 м ППБУ (как плавучее сооружение) и суда с судовыми обводами.

В данном случае рассматривались сооружения для ведения поисково-разведочного бурения, поэтому применение стационарных сооружений не анализировалось.

### **Разделение критериев на уровни**

К критериям первого уровня были отнесены критерии, которые учитываются для любого типа бурового сооружения в условиях арктического шельфа [12–16]:

- Опыт эксплуатации.
- Транспортировка:
  - за счет привлечения дополнительно судов (постановка на судно);
  - перемещение между точками.
- Продолжительность бурения [17]:
  - круглогодичное (без устройства свайной защиты или установки дополнительных защитных сооружений, например, плавучих барж);
  - круглогодичное (с применением свайной защиты или установки дополнительных защитных сооружений, например, плавучих барж или какого-либо защитного сооружения);
    - ограничениями по толщине льда (безледовый период / в мелкобитом льду).
- Ледостойкость [18]:
  - конструктивное обеспечение;
  - применение дополнительных конструкций (кожухов; защитных оболочек из сборных элементов типа катушек; конического манжета в зоне действия льда).
- Автономность по технологическим запасам.

Критерии второго уровня проверяются на соответствие нормативным требованиям и включают расчетные оценки таких величин, как горизонтальное и вертикальное перемещение, обеспеченность расчетных показателей нормативным требованиям: устойчивости, остойчивости, непотопляемости, качки. А также в эту группу относятся критерии, которые оказывают косвенную/прямую зависимость на изменение критериев, соответствующих нормативным требованиям [19, 20].

### **Оценка и выбор оптимального варианта сооружения**

На этом этапе выполняют составление матриц попарных сравнений критериев 1-го уровня (таблица 2, 3) и 2-го уровня (матрица А, С), которые составляются для каждого типа бурового сооружения и затем сопоставляются между соответствующими типами буровых технических средств в зависимости способа их установки над скважиной в процессе бурения, как опирающиеся при бурении на морское дно или как производящие бурение в плавучем состоянии, а, следовательно, с учетом глубины постановки на точку [8, 21].

В диапазоне глубин до 60 м применяются погружные буровые установки и СПБУ, для которых рассматривались следующие критерии второго уровня (таблица 2); такие же критерии рассматриваются и для диапазона глубин 60–120 м, так как применяемые там ППБУ рассматриваются не как плавучие установки при бурении, а как погружные:

- Обеспечение осадки при транспортировке [9]:
  - за счет собственных систем (балластированием);
  - за счет использования дополнительных средств.
- Обеспечение остойчивости:
  - при транспортировке;
  - при погружении;
  - при всплытии.
- Масса.

- Габариты (транспортируется к месту установки):
  - цельная конструкция;
  - отдельными модулями.
  - Отрыв от грунта:
  - самоотрыв (балластировка, без использования специальных устройств);
  - с применением дополнительных устройств (устройство обратного клапана).
  - Устойчивость:
  - платформа гравитационная (за счет собственного веса);
  - забивка свай;
  - выемка нестабильного грунта;
  - применение дополнительных конструкций (матов, металлических оболочек, подкрепленных набором ребер-юбок).
  - Постановка и снятие с точки:
  - без привлечения специальных плавучих средств (плавучих кранов);
  - с применением специальных плавучих средств (плавучих кранов).
  - Мобильность (возможность повторного применения) [16]:
  - платформы в целом (т.е. с опорным основанием после демонтажа);
  - опорного основания (для постановки не него очередной платформы);
  - буровой платформы (для установки ее на другое опорное основание);
  - необходимость срезания опорных колонн (выполнение работ по реконструкции).
- Иерархия критериев для сравнения различных типов буровых установок для глубины моря до 60 м и для глубин 60–120 м представлена на рис. 1.

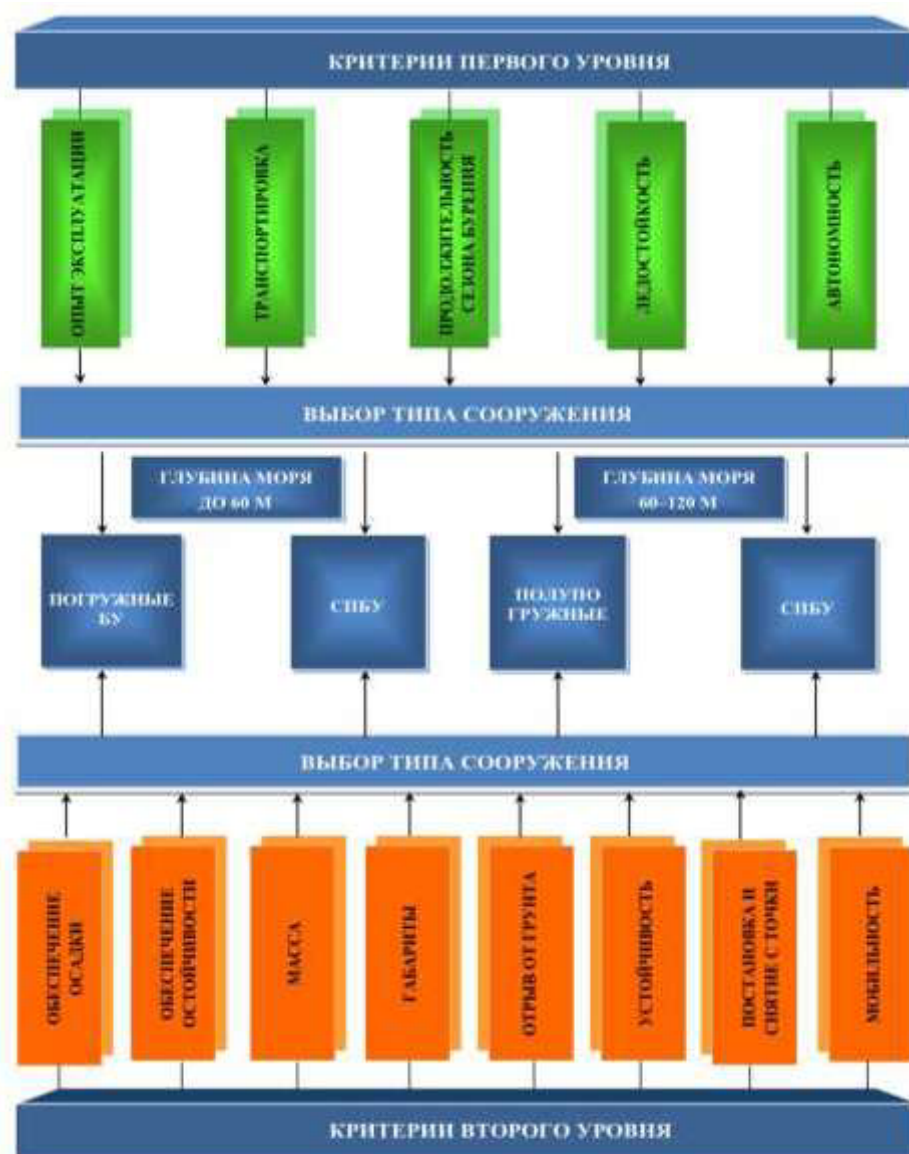


Рис. 1. Иерархия критериев для сравнения различных типов буровых установок для глубины моря до 60 м и для глубин 60–120 м

Для диапазона глубин от 120 м применяются полупогружные буровые установки (как плавучие) и БУ с корпусом судового типа, для которых рассматривались следующие критерии второго уровня (таблица 3) [22]:

- Осадка
- при транспортировке;
- в рабочем состоянии.
- Остойчивость:
- при выполнении морских операций;
- во время буксировки;
- во время установки на месторождении.
- Качка.



- Непотопляемость.
  - Перемещения (вертикальные, горизонтальные в точке постановки).
  - Позиционирование на точке:
    - система динамического позиционирования (DYNPOS);
    - система динамического позиционирования и якорной системы удержания туннельного типа;
    - система динамического позиционирования и якорной системы удержания распределительного типа с применением тросов/цепей/комбинированных связей);
    - якорная система удержания (на натяжных связях; гибкие якорные линии с применением тросов/цепей/комбинированных связей).
- Иерархия критериев для сравнения различных типов буровых установок для глубины моря от 120 м представлена на рис. 2.

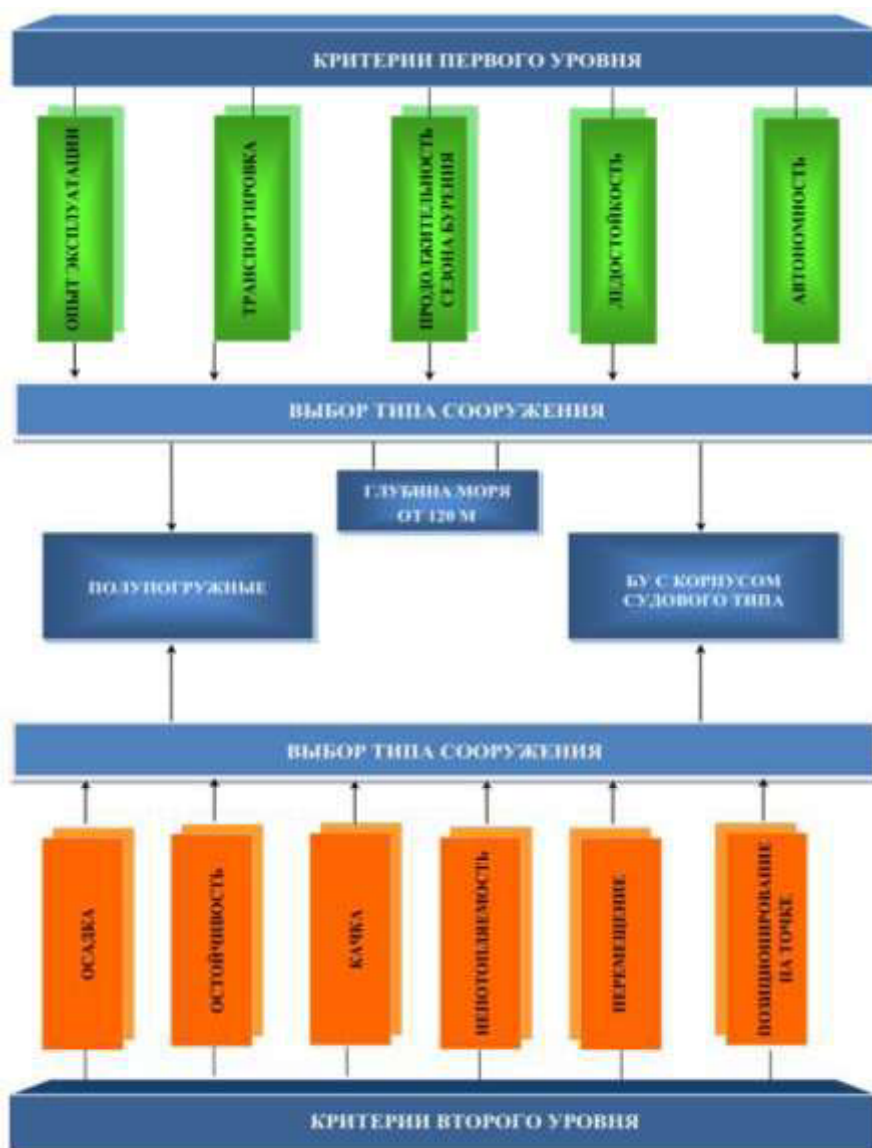


Рис. 2. Иерархия критериев для сравнения различных типов буровых установок для глубины моря от 120 м

### Вычисление вектора приоритетов для матрицы попарных сравнений

Выполняется формирование набора локальных приоритетов из группы матриц попарных сравнений. Для этого выполняется вычисление множества собственных векторов для каждой матрицы. После нормализации результата к единице получаем вектор приоритетов согласно методике, описанной [10, 23].

В таблицах 4–5 представлены численные оценки предпочтений критериев для погружных платформ на глубине и 60–120 м (ППБУ– полупогружные буровые установки и СПБУ – самоподъемные), для плавучих буровых установок (БУ) на глубине 120 м.

Таблица 4

#### Численные оценки предпочтений критериев

		Критерии											
Тип сооружения	1-го уровня					2-го уровня							
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>
<b>МЕСТО (Глубина моря 60–120 м ППБУ и СПБУ (погружные))</b>													
ППБУ													
СПБУ													

Таблица 5

#### Численные оценки предпочтений критериев

		Критерии									
Тип сооружения	1-го уровня					2-го уровня					
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>
<b>МЕСТО (Глубина моря от 120 м ППБУ (плавучие) и БУ)</b>											
ППБУ											
БУ с судами											

Результаты расчетов для ППБУ, устанавливаемых как опирающиеся на грунт на глубинах 60–120 м, приведены в таблицах 6–7. Построение матриц попарных сравнений проводилось для того, чтобы установить приоритеты критериев исследования и выявить самый важных из них. Затем вычисляется вектор локальных приоритетов для матриц попарных сравнений; при этом выполняется нормирование полученных результатов, результаты расчета которых представлены в таблицах 8–9. По результатам расчетов определена погрешность вычисления компонент вектора локальных приоритетов для матриц попарных сравнений. В соответствии с предпочтениями по убыванию весов полученные значения позволяют ранжировать критерии. Аналогично был выполнен расчет для СПБУ для таких же условий.

Таблица 6

Матрица попарных сравнений критериев 1-го уровня

Тип сооружения		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>
<b>Критерии 1-го уровня</b>						
Опыт эксплуатации	A <sub>1</sub>	1,0	5,0	1,0	4,0	3,0
Транспортировка	A <sub>2</sub>	0,2	1,0	2,0	3,0	5,0
Продолжительность сезона бурения	A <sub>3</sub>	1,0	0,5	1,0	3,0	1,0
Ледостойкость	A <sub>4</sub>	0,3	0,3	0,3	1,0	1,0
Автономность	A <sub>5</sub>	0,3	0,2	1,0	1,0	1,0

Таблица 7

Матрица попарных сравнений критериев 2-го уровня  
 (ПБУ и СПБУ, устанавливаемых как опирающиеся на грунт)

Тип сооружения		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>
<b>Критерии 2-го уровня</b>									
Обеспечение осадки при транспортировке	C <sub>1</sub>	1,0	1,0	3,0	2,0	3,0	6,0	7,0	1,0
Обеспечение устойчивости	C <sub>2</sub>	1,0	1,0	2,0	1,0	7,0	5,0	9,0	1,0
Масса	C <sub>3</sub>	0,3	0,5	1,0	3,0	7,0	1,0	5,0	1,0
Габариты	C <sub>4</sub>	0,5	1,0	0,3	1,0	5,0	1,0	7,0	1,0
Отрыв от грунта	C <sub>5</sub>	0,3	0,1	0,1	0,2	1,0	1,0	1,0	1,0
Устойчивость	C <sub>6</sub>	0,2	0,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Постановка и снятие с точки	C <sub>7</sub>	0,1	0,1	0,2	0,1	1,0	1,0	1,0	1,0
Мобильность	C <sub>8</sub>	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Таблица 8

Геометрическое среднее в каждой строке матрицы А

Критерии 1-го уровня	b <sub>i</sub>	B	x <sub>i</sub>
Опыт эксплуатации	b <sub>1</sub>	2,27	0,39
Транспортировка	b <sub>2</sub>	1,43	0,24
Продолжительность сезона бурения	b <sub>3</sub>	1,08	0,19
Ледостойкость	b <sub>4</sub>	0,49	0,08
Автономность	b <sub>5</sub>	0,58	0,10

Таблица 9

Геометрическое среднее в каждой строке матрицы С

Критерии 2-го уровня		b <sub>i</sub>	В	x <sub>i</sub>
Обеспечение осадки при транспортировке	b <sub>1</sub>	2,29	9,68	0,24
Обеспечение остойчивости	b <sub>2</sub>	2,24		0,23
Масса	b <sub>3</sub>	1,43		0,15
Габариты	b <sub>4</sub>	1,25		0,12
Отрыв от грунта	b <sub>5</sub>	0,44		0,05
Устойчивость	b <sub>6</sub>	0,65		0,07
Постановка и снятие с точки	b <sub>7</sub>	0,38		0,04
Мобильность	b <sub>8</sub>	1,00		0,10

В таблице 10 представлены численные оценки предпочтений критериев для погружных платформ на глубине и 60–120 м (ППБУ– полупогружные буровые установки и СПБУ – самоподъемные) как анализ результатов вычисления вектора приоритетов для матрицы попарных сравнений первого и второго уровня.

Таблица 10

Численные оценки предпочтений критериев

Критерии													
Тип сооружения	1-го уровня					2-го уровня							
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>
<b>МЕСТО</b> (Глубина моря 60–120 м ППБУ и СПБУ (погружные))													
ППБУ	1	2	3	5	4	1	2	3	4	7	6	8	5
СПБУ	1	3	2	5	4	2	5	6	7	3	1	4	8

Значение критерия, получившего самую низкую оценку, в случае если вес является пренебрежимо малым, следует исключить из рассмотрения и выполнить следующее приближение.

В результате проведенных исследований необходимо проверить согласованность локальных приоритетов. Для проверки согласованности локальных приоритетов определялся индекс согласованности матрицы А и матрицы С (1), а затем определялось отношение согласованности (таблицы 11, 12). Если значение отношения согласованности будет превышать 10 %, то экспертам нужно исследовать задачу и пересмотреть суждения [9, 24].

$$ИС = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}, \quad (1)$$

где  $\lambda_{\max}$  – наибольшее собственное значение обратносимметричной матрицы (2);  
ИС – индекс согласованности матрицы;

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i, \quad (2)$$

где  $x_i$  – значение компонент вектора локальных приоритетов;

$y_i = \sum_{i=1}^n a_{ik}$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$  – сумма элементов в каждом столбце матрицы;

Отношение согласованности определяется по формуле (3):

$$OC = \frac{ИС}{СС} \cdot 100 \%, \quad (3)$$

где  $СС$  – случайная согласованность.

Таблица 11

**Вычисление собственных характеристик обратносимметричной матрицы А**

Критерии 1-го уровня	$x_i$	$y_i$	$\lambda_{\max}$	ИС	ОС, %
Опыт эксплуатации	0,39	2,8	5,84	0,21	18,75
Транспортировка	0,24	7,0			
Продолжительность сезона бурения	0,19	5,3			
Ледостойкость	0,08	12,0			
Автономность	0,10	11,0			

Таблица 12

**Вычисление собственных характеристик обратносимметричной матрицы С**

Критерии 2-го уровня	$x_i$	$y_i$	$\lambda_{\max}$	ИС	ОС, %
Обеспечение осадки при транспортировке	0,24	4,1	8,79	0,11	7,80
Обеспечение остойчивости	0,23	4,9			
Масса	0,15	6,6			
Габариты	0,12	9,3			
Отрыв от грунта	0,05	26,0			
Устойчивость	0,07	17,0			
Постановка и снятие с точки	0,04	32,0			
Мобильность	0,10	8,0			

Результаты проведенного анализа необходимо представить эксперту для возможного пересмотра качественных оценок предпочтений матрицы А, так как ОС превышает 10 %, т.е. решение является неудовлетворительным. Только после пересмотра приоритетов матрицы А и выполнения последующих приближений определяется согласованность всей иерархии и выполняется оценка вкладов критериев в значении функции полезности.

**Заключение**

Результаты проведенного анализа показали значимость каждого из критериев в зависимости от типа сооружения, глубины моря и внешних нагрузок окружающей среды в месте установки сооружения.

Применение метода экспертных оценок и метода анализа иерархий позволяют выполнить первичную оценку возможности реализации проектируемого сооружения в рассматриваемых условиях. Однако для получения более точного результата необходимо выполнение множества приближений, что усложняет процесс вычислений. Множество приближений обосновывается необходимостью уточнения каждого критерия с учетом конструктивного типа сооружения и условий эксплуатации. Для выбора критериев, позволяющих оценить и сравнить типы рассматриваемых сооружений для суровых климатических условий исходя из мировой практики, наличия опыта отечественного проектирования и строительства буровых платформ для добычи нефти и газа, буровые сооружения были выделены в две основные группы по способу их установки над скважиной во время бурения. Кроме того, их классификация производилась по конструктивному типу.

В случае отсутствия мирового аналога или полного объема исходных данных на стадии концептуального проектирования применяемая система оценки позволяет только повысить вероятность принятия правильного решения. Далее обязательно необходима детальная проработка принятых конструктивных решений.

#### **Список литературы:**

1. НД № 2-020101-124 Правила классификации и постройки морских судов. Часть II. Корпус; введ. 01.01.2020 – // Российский морской регистр судоходства. – СПб.: Российский морской регистр судоходства. 2020. – 296с.
2. Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ. – СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2018. – 460 с.
3. Халикова, Дина Флюоровна Методика выбора архитектурно-конструктивного типа и общепроектных характеристик плавучей буровой установки для бурения поисково-разведочных скважин в условиях мелководья: диссертация кандидата технических наук: 05.08.03 / Халикова Дина Флюоровна; [Место защиты: Федеральное государственное унитарное предприятие «Крыловский государственный научный центр»]. – Санкт-Петербург, 2014. – 238 с. : 85 ил.
4. Recommended practice – DNVGL-RP-B401. – DNV GL AS, June 2017. – 64 p.
5. NACE Standard SP0387-2006 (formerly RP0387-99) Item No. 21036. – NACE International, 2006. – 9 p.
6. Экономическая эффективность технических решений: учебное пособие / С.Г. Баранчикова [и др.]; под общ. ред. проф. И. В. Ершовой. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. – 140 с.
7. Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 6 апреля 2017 г. N 688/пр "О порядке ведения национального реестра специалистов в области инженерных изысканий и архитектурно-строительного проектирования, национального реестра специалистов в области строительства, включения в такие реестры сведений о физических лицах и исключения таких сведений, внесения изменений в сведения о физических лицах, включенные в такие реестры, а также о перечне направлений подготовки, специальностей в области строительства, получение высшего образования по которым необходимо для специалистов по организации инженерных изысканий, специалистов по организации архитектурно-строительного проектирования, специалистов по организации строительства"
8. Саати Т. Аналитическое планирование. Организация систем: Пер.с англ./ Т. Саати, К. Кермс – М.: Радио и связь, 1991.
9. Орлов А.И. Теория принятия решений: Учебное пособие. – М: Изд. «Март», 2004. – 2004. – 656 с.
10. Технический отчет по теме «Систематизация и градация данных по природным условиям, разработка нормативных требований по параметрам природных воздействий на перспективные технические средства разведки, бурения и добычи углеводородов, применяемых в особо сложных условиях глубоководного арктического шельфа» / ФГБУ «ААНИИ». – СПб., 2012 г.
11. Кузнецов М.А., Севастьянова К.К., Нехаев С.А., Беляев П.В., Тарасов П.А. / ООО «РН-СахалинНИПИморнефть» Проблемы обустройства морских месторождений российской Арктики, <https://rogtcmagazine.com>.
12. Ахмедсафин С.К., Мирзоев Д.А., Шилов Г.Я., Ибрагимов И.Э. Системный подход при создании единого производственно-технического комплекса освоения ресурсов углеводородного сырья акваториальной группы месторождений Обской и Тазовской губ и сопредельной суши:

- Сб. докладов 4-й международной конференции ROOGD-2012 (10-11 октября 2012 г.) – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2013. – С. 177–178
13. Modelling and analysis of marine operations / Det Norske Veritas 2011/ – 17 p.
14. Arctic offshore technology assessment of exploration and production options for cold regions of the US outer continental shelf. Krylov shipbuilding research institute, St. Petersburg, 2008.
15. Joachim Berger – IMPac Offshore Engineering, Hamburg. Ise protection structures. «Schiff und Hafen», June 2008, №6.
16. Parshall J. Evolving Subsea Technology Tackles Huge New Risks of Today's Projects. Journal of Petroleum Technology. May 2008. – P.40–47
17. Ross D. Murphy (Parker Drilling Co International). Parker builds world's first arctic-class drill barge. «Drilling contractor», January/February 2000.
18. Paul Verlaan, Ken Croasdale. ICE ISSUES RELATING TO THE KASHAGAN PHASE II DEVELOPMENT, NORTH CASPIAN SEA. POAC 01, August 2001, Ottawa, Canada.
19. Справочные данные по режиму ветра и волнения шельфа Баренцева и Карского морей / РС. – СПб., 2013 г.
20. Караев И.П., Мирзоев Ф.Д., Архипова О.Л. Методика разработки концептуальных схем обустройства нефтегазовых месторождений арктического шельфа/ SOCAR PROCEEDINGS № 3. Баку 2015 – 58-65.
21. InnoRig 21C-The super safe jack-up of the future // Offshore Technology International [http://www.offshore-publication.com], 2012.
22. 6 October 2016 – Deutsche Oel & Gas – Drilling of natural gas well KLU A-2 off to a successful start. Опубликовано на web – ресурсе <http://www.deutsche-oel-gas.com>.
23. Шишкин Е.В. Математические методы и модели в управлении: Учеб. Пособие/ Е.В. Шишкин, А.Г. Чхартишвили – М.: Дело, 2000. – 440 с.
24. 30 September 2015 – Deutsche Oel & Gas – Completion of infrastructure – Summary of work in the Kitchen Lights Unit in 2015. Опубликовано на web – ресурсе <http://www.deutsche-oel-gas.com>.

## CRITERIA SYSTEM FOR COMPARISON AND EVALUATION OF VARIOUS DRILLING RIGS TYPES APPLICABILITY UNDER SEVERE CLIMATIC CONDITIONS

**Olga A. Ivanova**<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>“Corall” JSC, Sevastopol, Russia

<sup>2</sup>Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

**Irina L. Blagovidova**<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>“Corall” JSC, Sevastopol, Russia

<sup>2</sup>Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

**Anna V. Rodkina**

Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

*Abstract. The article provides an analysis of existing multicriteria assessment methods. The hierarchy analysis method developed by T. Saati and the expert assessment method is proposed to structure the complex task of comparing and assessing the applicability of various drilling rigs types to extend the drilling season in severe climatic conditions under the influence of ice loads. The priority of the criteria for the hierarchy analysis method is based on an expert survey. The application of the expert assessment method allows taking into account the existing experience in the design and operation of offshore drilling facilities. Weights were determined based on the results of an expert survey using a simple mathematical apparatus. The program was developed in MS Excel to obtain a numerical assessment of criteria preferences. The results of the study can be used by design organizations at an early stage of design, i.e. for the conceptual stage of project development, with a significant lack of climatic and geological information about the construction site. The obtained results allow us to determine the most objective and effective form of choosing an acceptable option for the offshore structures construction, taking into account the possible minimization of its cost, ensuring safety and reliability for the entire operational period.*

*Keywords: analysis, criteria, numerical estimation, drilling platform, water depth range, off-shore structures, levels of a hierarchy, array*

**References:**

1. ND № 2-020101-124 Pravila klassifikatsii i postroyki morskikh sudov. Chast' II. Korpus; vved. 01.01.2020 – // Rossiyskiy morskoy registr sudokhodstva. – SPb.: Rossiyskiy morskoy registr sudokhodstva. 2020. – 296s.
2. Pravila klassifikatsii, postroyki i oborudovaniya plavuchikh burovyykh ustanovok i morskikh statsionarnyykh platform. – SPb.: Rossiyskiy morskoy registr sudokhodstva, 2018. – 460 s.
3. Khalikova, Dina Flyurovna Metodika vybora arkhitekturno-konstruktivnogo tipa i obshcheproyektnyykh kharakteristik plavuchey burovoy ustanovki dlya bureniya poiskovo-razvedochnyykh skvazhin v usloviyakh melkovod'ya: dissertatsiya kandidata tekhnicheskikh nauk: 05.08.03 / Khalikova Dina Flyurovna; [Mesto zashchity: FEDERAL'NOYE GOSUDARSTVENNOYE UNITAR'NOYE PREDPRIYATIYE «KRYLOVSKIY GOSUDARSTVENNYY NAUCHNYY TSENTR»]. – Sankt-Peterburg, 2014. – 238 s. : 85 il.
4. Recommended practice – DNVGL-RP-B401. – DNV GL AS, June 2017. – 64 p.
5. NACE Standard SP0387-2006 (formerly RP0387-99) Item No. 21036. – NACE International, 2006. – 9 p.
6. Ekonomicheskaya effektivnost' tekhnicheskikh resheniy: uchebnoye posobiye / S.G. Baranchikova [i dr.]; pod obshch. red. prof. I. V. Yershovoy. – Yekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta, 2016. – 140 s.
7. Prikaz Ministerstva stroitel'stva i zhilishchno-kommunal'nogo khozyaystva RF ot 6 aprelya 2017 g. N 688/pr "O poryadke vedeniya natsional'nogo reyestra spetsialistov v oblasti inzhenernykh izyskaniy i arkhitekturno-stroitel'nogo proyektirovaniya, natsional'nogo reyestra spetsialistov v oblasti stroitel'stva, vlyucheniya v takiye reyestry svedeniy o fizicheskikh litsakh i iskluyeniya takikh svedeniy, vneseniya izmeneniy v svedeniya o fizicheskikh litsakh, vlyuchennyye v takiye reyestry, a takzhe o perechne napravleniy podgotovki, spetsial'nostey v oblasti stroitel'stva, polucheniye vysshego obrazovaniya po kotorym neobkhodimo dlya spetsialistov po organizatsii inzhenernykh izyskaniy, spetsialistov po organizatsii arkhitekturno-stroitel'nogo proyektirovaniya, spetsialistov po organizatsii stroitel'stva"
8. Saati T. Analiticheskoye planirovaniye. Organizatsiya sistem: Per.s avngl./ T. Saati, K. Kerms – M.: Radio i svyaz', 1991.
9. Orlov A.I. Teoriya prinyatiya resheniy: Uchebnoye posobiye. – M: Izd. «Mart», 2004. – 2004. – 656 s.
10. Tekhnicheskyy otchet po teme «Sistematizatsiya i gradatsiya dannykh po prirodnykh usloviyam, razrabotka normativnykh trebovaniy po parametram prirodnykh vozdeystviy na perspektivnyye tekhnicheskkiye sredstva razvedki, bureniya i dobychi uglevodorodov, primenyayemykh v osobo slozhnykh usloviyakh glubokovodnogo arkticheskogo shel'fa» / FGBU «AANI». – SPb., 2012 g.
11. Kuznetsov M.A., Sevast'yanova K.K., Nekhayev S.A., Belyayev P.V., Tarasov P.A. / OOO «RN-SakhalinNIPImorneft'» Problemy obustroystva morskikh mestorozhdeniy rossiyskoy Arktiki, <https://rogtcmagazine.com>.
12. Akhmedsafin S.K., Mirzoyev D.A., Shilov G.YA., Ibragimov I.E. Sistemnyy podkhod pri sozdaniy yedinogo proizvodstvenno-tekhnicheskogo kompleksa osvoyeniya resursov uglevodorodnogo syr'ya akvatorial'noy gruppy mestorozhdeniy Obskoy i Tazovskoy gub i sopredel'noy sushy: Sb. dokladov 4-y mezhdunarodnoy konferentsii ROOGD-2012 (10-11 oktyabrya 2012 g.) – M.: Gazprom VNIIGAZ, 2013. – S. 177–178
13. Modelling and analysis of marine operations / Det Norske Veritas 2011/ – 17 p.
14. Arctic offshore technology assessment of exploration and production options for cold regions of the US outer continental shelf. Krylov shipbuilding research institute, St. Petersburg, 2008.
15. Joachim Berger – IMPac Offshore Engineering, Hamburg. Ise protection structures. «Schiff und Hafen», June 2008, №6.
16. Parshall J. Evolving Subsea Technology Tackles Huge New Risks of Today's Projects. Journal of Petroleum Technology. May 2008. – P.40–47
17. Ross D. Murphy (Parker Drilling Co International). Parker builds world's first arctic-class drill barge. «Drilling contractor», January/February 2000.
18. Paul Verlaan , Ken Croasdale. ICE ISSUES RELATING TO THE KASHAGAN PHASE II DEVELOPMENT, NORTH CASPIAN SEA. POAC 01, August 2001, Ottawa, Canada.



19. Spravochnyye dannyye po rezhimu vetra i volneniya shel'fa Barentseva i Karskogo morey / RS. – SPb., 2013 g.
20. Karayev I.P., Mirzoyev F.D., Arkhipova O.L. Metodika razrabotki kontseptual'nykh skhem obustroystva neflegazovykh mestorozhdeniy arkticheskogo shel'fa/ SOCAR PROCEEDINGS № 3. Baku 2015 – 58-65.
21. InnoRig 21C-The super safe jack-up of the future // Offshore Technology International [http://www.offshore-publication.com], 2012.
22. 6 October 2016 – Deutsche Oel & Gas – Drilling of natural gas well KLU A-2 off to a successful start. Опубликовано на web – ресурсе http://www.deutsche-oel-gas.com.
23. Shishkin Ye.V. Matematicheskiye metody i modeli v upravlenii: Ucheb. Posobiye/ Ye.V. Shikin, A.G. Chkhartishvili – М.: Delo, 2000. – 440 s.
24. 30 September 2015 – Deutsche Oel & Gas – Completion of infrastructure – Summary of work in the Kitchen Lights Unit in 2015. Опубликовано на web – ресурсе http://www.deutsche-oel-gas.com.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Иванова Ольга Александровна**, канд. техн. наук, инженер-конструктор 1-й категории АО «ЦКБ «Коралл», 299028, г. Севастополь, ул. Репина, 1, доцент кафедры «Океанотехника и кораблестроение» ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33, e-mail: o.a.ivanova.kmt@mail.ru

**Olga A. Ivanova**, Ph.D. in Engineering Science, Design Engineer of the 1st Category of General Engineering and Naval Architecture Department 11, General Engineering Office 111 “Corall” JSC Central Design Bureau, 1, Repina st., Sevastopol; 299028, Associate Professor of the Department of Ocean Technology and Shipbuilding Sevastopol State University, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053

**Благовидова Ирина Львовна**, заместитель начальника отдела АО «ЦКБ «Коралл», 299028, г. Севастополь, ул. Репина, 1; доцент кафедры «Океанотехника и кораблестроение» ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33, e-mail: blagovidova@yandex.ru

**Irina L. Blagovidova**, Deputy Head of General Engineering and Naval Architecture Department 11, General Engineering Office 112 “Corall” JSC Central Design Bureau, 1, Repina st., Sevastopol; 299028, Associate Professor of the Department of Ocean Technology and Shipbuilding Sevastopol State University, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053

**Родкина Анна Владимировна**, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры «Океанотехника и кораблестроение» ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33, e-mail: a.v.rodkina@gmail.com

**Anna V., Rodkina**, Ph.D. in Engineering Science, Senior Lecturer of the Department of Ocean Technology and Shipbuilding Sevastopol State University, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053

Статья поступила в редакцию 08.06.2020 г.