

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ ДЛЯ ВЫБОРА ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОДВОДНОГО ОБОРУДОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИРОДНОГО ГАЗА АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА

УДК 004.023

А.Н. Чернов, к.т.н., ООО «Газпром проектирование»
(Санкт-Петербург, РФ), gazpromproject@gazpromproject.ru

А.М. Пароменко, к.т.н., ООО «Газпром проектирование»

Ю.И. Козлов, к.т.н., ООО «Газпром проектирование»

И.Н. Авдиенко, к.т.н., ООО «Газпром проектирование»

Технологические объекты для морской добычи нефти и газа представляют собой сложные технические системы, функционирующие на значительном удалении от берега в суровых природно-климатических условиях. Часто данные объекты находятся под водой на значительной глубине (от десятков до нескольких тысяч метров). В связи с этим такие объекты нуждаются в надежном энергоснабжении. Энергоснабжение оборудования морского добычного комплекса может осуществляться с берега или от автономного источника электроснабжения, расположенного непосредственно на месторождении. Для перспективных месторождений нефти и природного газа, расположенных в акваториях морей Арктического и Дальневосточного шельфов РФ, использование автономных источников энергоснабжения является единственно возможным, так как береговая энергетическая инфраструктура в данных районах отсутствует. Анализ возможных конфигураций морского добычного комплекса позволяет выделить три основных диапазона мощности перспективных автономных источников электроснабжения: источники малой мощности – от 10 кВт до 2 МВт; источники средней мощности – от 2 до 30 МВт; источники большой мощности – свыше 30 МВт.

Выбор источника автономного энергоснабжения является сложной задачей, которая характеризуется множеством разнообразных критериев выбора. К критериям, в частности, относятся: надежность, живучесть, стоимость, техническая реализуемость и промышленная безопасность.

Для решения подобных задач выбора существует значительное количество разнообразных качественных и количественных методов. Одним из наиболее известных является метод анализа иерархий, позволяющий понятным и рациональным образом структурировать сложную проблему принятия решений в виде иерархии, сравнить и выполнить количественную оценку альтернативных вариантов выбора.

В статье представлена иерархическая структура для осуществления процедуры выбора приоритетного автономного источника энергоснабжения при обустройстве морских газовых месторождений. Приведены результаты применения метода анализа иерархий для выбора приоритетного источника автономного энергоснабжения и анализ полученных результатов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ОБУСТРОЙСТВО МОРСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, ПОЛНОЕ ПОДВОДНОЕ ОБУСТРОЙСТВО, СМЕШАННОЕ ПОДВОДНОЕ И НАДВОДНОЕ ОБУСТРОЙСТВО, НАДЕЖНОЕ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ, АВТОНОМНЫЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ, МЕТОД АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ.

Технологические объекты морских газовых месторождений являются сложными комплексами, эффективная работа которых зависит, в том числе, от надежного энергоснабжения. Существуют две основные схемы обустройства

морских месторождений, различающиеся конфигурацией, расположением промыслового оборудования и требуемой мощностью источников энергоснабжения:

- полное подводное обустройство – в этом случае все оборудо-

дование располагается под водой. В настоящее время имеется весь технологический промысловый комплекс подводного оборудования, включающий подводную фонтанную арматуру, подводные сепараторы, насосы и системы

Chernov A.N., Candidate of Sciences (Engineering), Gazprom proektirovanie LLC (Saint Petersburg, Russian Federation), gazpromproject@gazpromproject.ru

Paromenko A.M., Candidate of Sciences (Engineering), Gazprom proektirovanie LLC

Kozlov Yu.I., Candidate of Sciences (Engineering), Gazprom proektirovanie LLC

Avdienko I.N., Candidate of Sciences (Engineering), Gazprom proektirovanie LLC

Application of the hierarchy analysis method for selection of the electrical supply source for the underwater equipment of natural gas deposits at the Arctic shelf

The processing facilities for offshore oil and gas production are the complex technical systems operating at the considerable distance from the coast in the severe climatic and natural conditions. These objects are often under water at a considerable depth (from tens to several thousand meters). Therefore, these facilities need the reliable power supply. The power supply of equipment of the offshore production complex can be realized from the shore or from the autonomous power supply source located directly at the field. The autonomous sources use for energy supply the prospective oil and natural gas fields located in the seas of the Arctic and Far Eastern shelves of the Russian Federation is the only possibility, since there is no coastal energy infrastructure in these regions.

Analysis of possible configurations of the offshore production complex allows distinguishing three main power ranges for the prospective autonomous power supply sources: low power sources (from 10 kW to 2 MW), medium power sources (from 2 to 30 MW), and high power sources (over 30 MW). The choice of the source of autonomous power supply is a complex task with plenty of different selection criteria. These criteria include: reliability, survivability, cost, feasibility, and industrial safety. There is significant number of different qualitative and quantitative methods for solving these selection problems. The hierarchy analysis method is one of the most famous, it allows to structure the complex decision-making problem by understandable and rational manner in the form of hierarchy, and also to compare and quantify the alternative choices.

The article presents a hierarchical structure for the implementation of the selection procedure for the priority autonomous power supply source during arrangement of the offshore gas fields. The results of application of the hierarchy analysis method for selection of the priority autonomous power supply source and the analysis of the obtained results are presented.

KEYWORDS: MARINE DEPOSITS DEVELOPMENT, FULL UNDERWATER ARRANGEMENT, MIXED UNDERWATER AND ABOVE-WATER ARRANGEMENT, RELIABLE ENERGY SUPPLY, AUTONOMOUS POWER SUPPLY SOURCE, HIERARCHY ANALYSIS METHOD.

подводного компримирования газа. В зависимости от функционального наполнения подобные системы требуют использования источников электроснабжения мощностью от 10 кВт (без сепарации и компримирования газа) до 30 МВт (с подводной сепарацией и компримированием газа);

- смешанное подводное и надводное обустройство – в данном случае обычно фонтанная арматура располагается под водой, а системы подготовки и компримирования газа – на технологической платформе или судне. При такой схеме обустройства, как правило, требуется автономный источник энергоснабжения (АИЭ) мощностью 2–30 МВт.

Анализ возможных конфигураций морского добычного комплекса позволяет выделить три основных диапазона мощности АИЭ:

- источники малой мощности – от 10 кВт до 2 МВт;
- источники средней мощности – от 2 до 30 МВт;

- источники большой мощности – свыше 30 МВт.

Типы АИЭ для трех перечисленных диапазонов мощности представлены в табл. 1.

Задача выбора АИЭ объектов морских нефтегазовых месторождений относится к классу задач оценки и выбора многокритериальных альтернатив. Самым распространенным и эффективным методом решения подобных задач является метод анализа иерархий (МАИ), разработанный американским математиком Томасом Саати. Метод анализа иерархий – математический инструмент системного подхода к сложным проблемам выбора (принятия решений). МАИ не предписывает лицу, принимающему решение (ЛПР), какое-либо «правильное» решение, а позволяет ему в интерактивном режиме найти вариант (альтернативу), который наилучшим образом согласуется с его пониманием сути проблемы и требованиями,

предъявляемыми к ее решению [1, 2]. Процедура применения МАИ включает следующие последовательные этапы:

- построение качественной модели проблемы в виде иерархии, включающей цель, альтернативные варианты достижения цели и критерии для оценки качества альтернатив;
- определение приоритетов всех элементов иерархии с использованием метода парных сравнений;
- синтез глобальных приоритетов альтернатив путем линейной свертки приоритетов элементов на иерархии;
- принятие решения на основе полученных результатов.

Первый этап МАИ – построение иерархической структуры, объединяющей цель выбора, критерии, альтернативы и другие факторы, влияющие на выбор решения. Построение такой структуры помогает проанализировать все аспекты проблемы и глубже вникнуть в суть задачи.

Таблица 1. Типы автономных источников энергоснабжения для различных групп потребителей

Table 1. Types of autonomous power supplies for different groups of consumers

Группа потребителей малой мощности – от 10 кВт до 2 МВт Group of the low power consumers (from 10 kW to 2 MW)	
Основные и резервные источники Main and reserve sources	
• дизель-генераторные электростанции (diesel-generator power stations);	
• газопоршневые электростанции (gas-piston power stations);	
• микротурбинные электрогенераторы (microturbine power generators);	
• электрохимические генераторы (electrochemical generators);	
• детандер-генераторные установки (expander generator sets);	
• электростанции на солнечных батареях (solar-powered power plants);	
• ветровые электростанции (wind power stations);	
• комбинированные электростанции (combined power stations);	
• волновые электростанции (wave power stations)	
Аварийные источники Emergency sources	Бесперебойные источники Uninterrupted sources
• дизель-генераторные электростанции (diesel-generator power stations);	• аккумуляторные батареи (rechargeable batteries);
• газопоршневые электростанции (gas-piston power stations);	• динамические источники бесперебойного питания (dynamic uninterruptible power supplies)
• микротурбинные электрогенераторы (microturbine power generators);	
• электрохимические генераторы (electrochemical generators)	
Группа потребителей средней мощности – от 2 до 30 МВт Group of the medium power consumers (from 2 to 30 MW)	
Основные и резервные источники Main and reserve sources	
• плавучая атомная теплоэлектростанция (floating nuclear thermal power plant);	
• подводная атомная теплоэлектростанция (underwater nuclear thermal power plant);	
• дизель-генераторные электростанции (diesel-generator power stations);	
• газотурбинные электрогенераторы (gas turbine power generators)	
Аварийные источники Emergency sources	Бесперебойные источники Uninterrupted sources
• дизель-генераторные электростанции (diesel-generator power stations);	• аккумуляторные батареи (rechargeable batteries);
• автономные электростанции на основе энергоустановок с двигателем Стирлинга (autonomous power plants based in the power plants with the Stirling engine)	• динамические источники бесперебойного питания (dynamic uninterruptible power supplies)
Группа потребителей большой мощности – свыше 30 МВт Group of the high power consumers (over 30 MW)	
Основные резервные источники Key reserve sources	
• плавучая атомная теплоэлектростанция (floating nuclear thermal power station);	
• подводная атомная теплоэлектростанция (underwater nuclear thermal power station);	
• газотурбинные электрогенераторы (gas turbine power generators)	
Аварийные источники Emergency sources	Бесперебойные источники Uninterrupted sources
• дизель-генераторные электростанции (diesel-generator power stations);	• аккумуляторные батареи (rechargeable batteries);
• автономные электростанции на основе энергоустановок с двигателем Стирлинга (autonomous power plants based on the power plants with the Stirling engine)	• динамические источники бесперебойного питания (dynamic uninterruptible power supplies)

На рисунке представлена иерархическая структура для осуществления процедуры выбора приоритетного АИЭ при обустройстве морских нефтегазовых месторождений. Цель проведения анализа иерархии заключается в определении приоритетных АИЭ для обустройства морских нефтегазовых месторождений.

Под АИЭ понимается источник, располагающийся непосредственно на месторождении и не имеющий связей с береговыми энергетическими объектами.

Задача выбора приоритетного источника энергоснабжения является многокритериальной, в качестве критериев рассматриваются надежность, живучесть, стоимость, техническая реализуемость и промышленная безопасность.

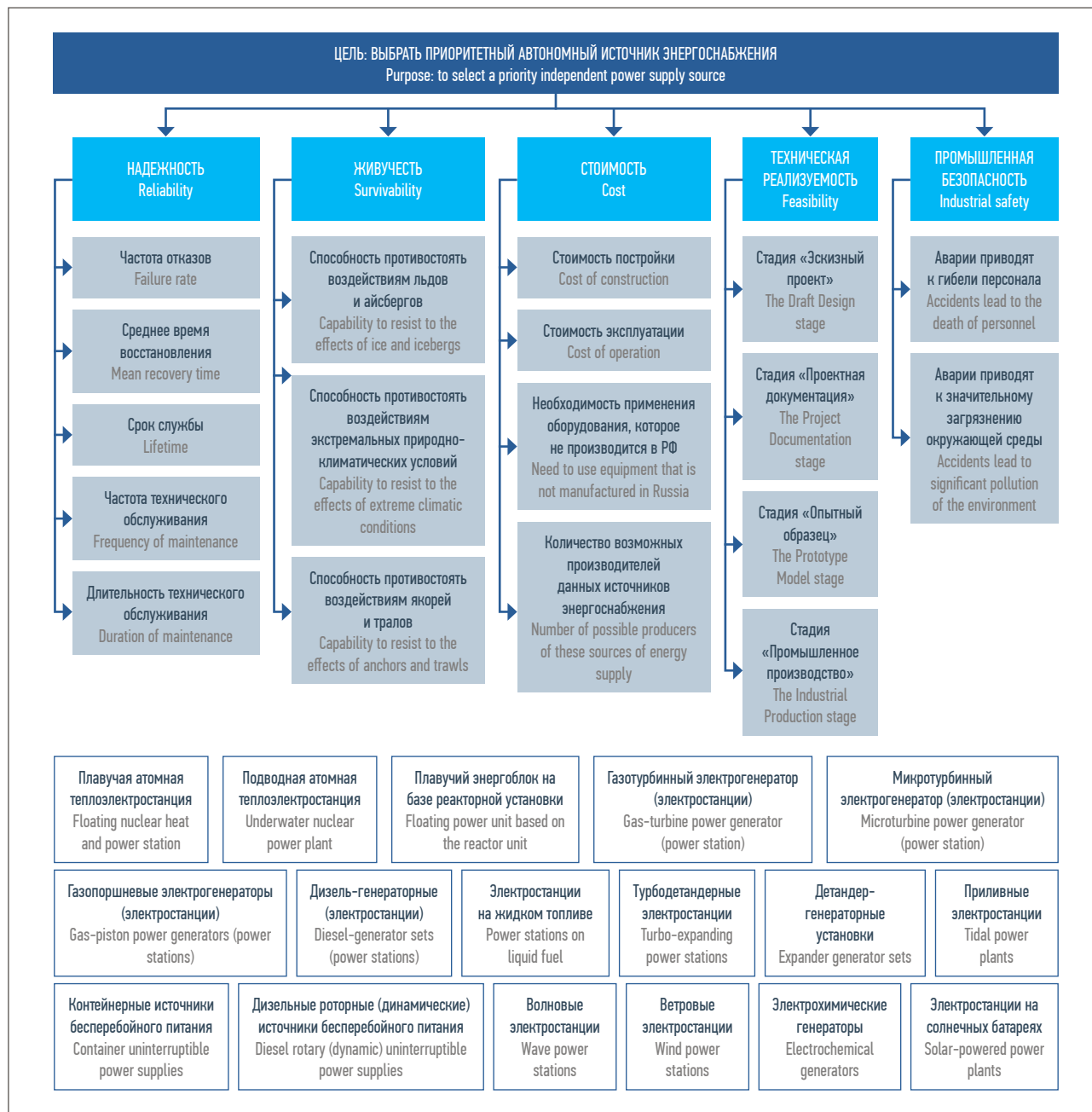
Надежность – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования [3].

Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или определенные сочетания этих свойств.

Безотказность – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки; характеризуется средним временем наработки до отказа, интенсивностью (частотой) отказов.

Долговечность – свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта; характеризуется средним ресурсом и средним сроком службы изделия.

Ремонтпригодность – свойство объекта, заключающееся



Иерархическая структура для осуществления процедуры выбора приоритетного автономного источника энергоснабжения при обустройстве морских газовых месторождений
Hierarchical structure for the implementation of the selection procedure of the priority autonomous power supply source for the development of the offshore gas fields

в приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта. Ремонтпригодность характеризуется средним временем восстановления изделия (после отказа), частотой и временем выполнения планового технического обслуживания и ремонта, а также трудоемкостью выполнения

восстановительного и планового ремонта.

Сохраняемость – свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих способность объекта выполнять требуемые функции в течение и после хранения и (или) транспортирования; характеризуется средним сроком сохраняемости.

Живучесть – способность источника электроснабжения противостоять различным внешним воздействиям, таким как землетрясения, ледяные поля и айсберги, экстремальные природно-климатические условия (ветры, штормы, низкие температуры и т. д.), воздействия якорей и тралов.

Стоимость источника электроснабжения – совокупность капи-

Таблица 2. Матрица парных сравнений для критериев первого уровня
Table 2. Matrix of the paired comparisons for the first level criteria

Критерий Criterion	Надежность Reliability	Живучесть Survivability	Стоимость Cost	Техническая реализуемость Feasibility	Промышленная безопасность Industrial safety
Надежность Reliability	1	0	0	0	0
Живучесть Survivability	0	1	0	0	0
Стоимость Cost	0	0	1	0	0
Техническая реализуемость Feasibility	0	0	0	1	0
Промышленная безопасность Industrial safety	0	0	0	0	1

Таблица 3. Матрица парных сравнений и оценки приоритетов для критериев первого уровня
Table 3. Matrix of the paired comparisons and priority assessment for the first level criteria

Критерии Criteria	Надежность Reliability	Живучесть Survivability	Стоимость Cost	Техническая реализуемость Feasibility	Промышленная безопасность Industrial safety	«1» в строке "1" in the line	Оценка приоритета Priority assessment
Надежность Reliability	1	0	1	1	1	4	0,2352
Живучесть Survivability	1	1	1	1	1	5	0,2941
Стоимость Cost	0	0	1	1	0	2	0,1176
Техническая реализуемость Feasibility	0	0	1	1	1	3	0,1764
Промышленная безопасность Industrial safety	0	0	1	1	1	3	0,1764

тальных затрат на проектирование и строительство, а также все затраты, связанные с эксплуатацией объекта, включающие затраты на выполнение технического обслуживания и ремонта, осмотры и инспекции, а также затраты, связанные с выводом объекта из эксплуатации.

Техническая реализуемость – возможность использования объекта по назначению в короткий срок. Данный срок связан со стадией жизненного цикла объекта в настоящее время. Ряд объектов находится на стадии технического замысла (технической идеи), и их воплощение в жизнь требует последовательной реализации стадий проектирования и производства. Техническая реализуемость подобных объектов считается низкой, так как существуют

риски, связанные с появлением непреодолимых технологических трудностей, которые в обозримый срок не позволят осуществить строительство и ввод подобных объектов в эксплуатацию. Если объект уже используется по назначению и его производство освоено целым рядом промышленных предприятий, его техническая реализуемость является несомненной (наивысшей).

Промышленная безопасность – способность объекта функционировать, не оказывая вредного воздействия на эксплуатационный персонал и окружающую среду. Промышленная безопасность характеризуется риском возникновения таких режимов функционирования объекта, при которых появляется возможность травмирования или гибели об-

служивающего персонала или возникает угроза загрязнения окружающей среды.

Таким образом, иерархия, связанная с выбором приоритетного АИЭ для обустройства морских газовых месторождений, включает пять критериев первого уровня (надежность, живучесть, стоимость, техническую реализуемость, промышленную безопасность) и 18 критериев второго уровня (рисунок).

После построения иерархии участники процесса используют МАИ для определения приоритетов всех узлов структуры. Информация для расстановки приоритетов собирается у всех участников и математически обрабатывается.

Приоритеты – это числа, которые связаны с узлами иерархии. Они представляют собой относи-

тельный вес элементов в каждой группе. Подобно вероятностям, приоритеты – безразмерные величины, которые могут принимать значения от 0 до 1. Чем больше величина приоритета, тем более значимым является соответствующий ему элемент. Сумма приоритетов элементов, подчиненных одному элементу вышележащего уровня иерархии, равна 1. Приоритет цели по определению равен 1.0.

Рассмотрим процедуру расстановки приоритетов для иерархии, связанной с выбором АИЭ, который может применяться для обустройства морских нефтегазовых месторождений. Расстановка приоритетов будет осуществляться методом парных сравнений.

На первом этапе рассмотрим расстановку приоритетов критериев первого уровня. В табл. 2 представлена матрица парных сравнений $M(I, J)$.

В случае если один из критериев (I) имеет равный или боль-

ший приоритет, чем критерий (J), элемент матрицы $M(I, J)$ получает значение «1», в противном случае – «0». Естественно, что в таком случае все диагональные элементы матрицы парных сравнений будут иметь значение «1» (т. е. каждый критерий при сравнении с самим собой имеет равный приоритет).

Представляется, что живучесть является самым важным и приоритетным критерием для оценки АИЭ при освоении морских нефтегазовых месторождений, особенно в условиях арктических морей. Способность противостоять воздействиям экстремальных природно-климатических условий, льдов и айсбергов и при этом обеспечивать непрерывное энергоснабжение технологического оборудования является главным свойством.

Надежность является вторым по значимости и приоритету критерием для оценки АИЭ при освоении морских месторожде-

ний. Следствием отказов АИЭ из-за старения оборудования и внутренних дефектов являются длительные простои в добыче газа. Они могут приводить к неблагоприятным последствиям, связанным с образованием гидратных пробок в скважинах и трубопроводах, к возникновению аварий из-за некорректного функционирования систем автоматики.

Следующими критериями, имеющими примерно равный приоритет, являются техническая реализуемость и промышленная безопасность. Поскольку большинство АИЭ будет, скорее всего, выполнено в подводном исполнении, без систем управления, основанных на использовании оператора, самым важным фактором безопасности является экологическая безопасность – способность не оказывать вредного воздействия на окружающую среду при функционировании в основном и аварийных



24-я международная выставка-форум



ЭНЕРГЕТИКА

13–15 ФЕВРАЛЯ • САМАРА

ВАШЕ ОБОРУДОВАНИЕ — НАШИ ПОКУПАТЕЛИ



Таблица 4. Результаты оценки приоритетов альтернатив по критериям первого уровня для диапазона мощности (10 кВт – 2 МВт)
Table 4. Results of the priority assessment of alternatives for the first level criteria for the power range (10 kW – 2 MW)

Вес альтернативы с учетом факторов Weight of the alternative taking into account the factors	Дизель-генераторы (электростанция) Diesel generators (power station)	Микротурбинный генератор (электростанция) Microturbine generator (power station)	Электрохимический генератор (электростанция) Electrochemical generator (power station)	Детандерный генератор (электростанция) Expander generator (power station)	Электростанции на солнечных батареях Solar-powered power plants	Ветровые электростанции Wind power stations	Волновые электростанции Wave power stations
Надежность Reliability	0,1729	0,1684	0,1327	0,1705	0,1393	0,1716	0,0444
Живучесть Survivability	0,1688	0,1688	0,2029	0,2029	0,0965	0,10213	0,0576
Стоимость Cost	0,1704	0,1574	0,18428	0,1596	0,1461	0,1271	0,0548
Техническая реализуемость Feasibility	0,1876	0,1876	0,1876	0,0536	0,1419	0,1876	0,0536
Промышленная безопасность Industrial safety	0,0305	0,0305	0,2136	0,2136	0,0845	0,2136	0,2136

Таблица 5. Результаты оценки приоритетов альтернатив по критериям первого уровня для диапазонов мощности (2–30 МВт) и более 30 МВт
Table 5. Results of the priority assessment of alternatives for the first level criteria for the power ranges (2–30 MW) and over 30 MW

Вес альтернативы с учетом факторов Weight of the alternative taking into account the factors	Плавучая атомная электростанция Floating nuclear power plant	Подводная атомная электростанция Underwater nuclear power plant	Дизель-генераторы (электростанция) Diesel generators (power station)	Газотурбинный электрогенератор Gas Turbine Generator
Надежность Reliability	0,3181	0,3579	0,1789	0,1448
Живучесть Survivability	0,2435	0,2692	0,2435	0,2435
Стоимость Cost	0,2128	0,2458	0,2706	0,2706
Техническая реализуемость Feasibility	0,2032	0,1570	0,3198	0,3198
Промышленная безопасность Industrial safety	0,2020	0,23232	0,2828	0,2828

режимах. Появление таких загрязнений может приводить к полному запрету на добычу газа, к значительным штрафам и компенсации ущерба для третьих лиц, занятых промысловой деятельностью в море.

Техническая реализуемость является не менее важным свойством, так как от этого критерия напрямую зависит время внедрения автономных источников в непосредственную практику освоения морских газовых месторождений. Следует также отметить, что апробированные

технические решения и технологии повышают такие важнейшие характеристики, как надежность и живучесть оборудования.

Наименьшим по значимости является критерий стоимости. Недостаточно высокая значимость данного критерия объясняется тем, что относительная стоимость АИЭ в совокупной стоимости всего технологического комплекса по морской добыче газа представляется невысокой.

Таким образом, окончательная матрица парных сравнений для оценки приоритета критериев

первого уровня будет иметь вид табл. 3.

На следующих этапах рассматривается оценка приоритетов для критериев второго уровня и приводятся результаты.

На основе использования алгоритмов МАИ выполнен расчет приоритетов всех альтернатив по критериям первого уровня. Результаты представлены в табл. 4 и 5.

На основе рассчитанных приоритетов альтернатив по критериям первого уровня выполнен расчет глобального приорите-

Таблица 6. Результаты оценки глобальных приоритетов альтернатив относительно цели для диапазона мощности (10 кВт – 2 МВт)

Table 6. Results of assessment of the global priorities of alternatives to the target for the power range (10 kW – 2 MW)

Оценка глобальных приоритетов альтернатив Assessment of the global priorities of alternatives	Типы автономных источников энергоснабжения Types of autonomous power supplies						
	Дизель-генераторы (электростанция) Diesel generators (power station)	Микротурбинный генератор (электростанция) Microturbine generator (power station)	Электрохимический генератор (электростанция) Electrochemical generator (power station)	Детандерный генератор (электростанция) Expander generator (power station)	Электростанции на солнечных батареях Solar-powered power plants	Ветровые электростанции Wind power stations	Волновые электростанции Wave power stations
Вес альтернативы с учетом критериев Weight of the alternative, taking into account the criteria	0,1488	0,1463	0,1834	0,1657	0,1183	0,1561	0,0810

Таблица 7. Результаты оценки глобальных приоритетов альтернатив относительно цели для диапазона мощности (2–30 МВт) и более 30 МВт

Table 7. Results of the assessment of global priorities for alternatives to the target for the power range (2–30 MW) and over 30 MW

Оценка глобальных приоритетов альтернатив Assessment of the global priorities of alternatives	Типы автономных источников энергоснабжения Types of autonomous power supplies			
	Плавучая атомная электростанция Floating nuclear power plant	Подводная атомная электростанция Underwater nuclear power plant	Дизель-генераторы (электростанция) Diesel generators (power station)	Газотурбинный электрогенератор Gas-turbine generator
Вес альтернативы с учетом критериев Weight of the alternative, taking into account the criteria	0,24305	0,2610	0,2519	0,2439

та всех альтернатив (приоритет относительно цели). Результаты представлены в табл. 6 и 7.

В случае платформенного обустройства морских газовых месторождений приоритетным техническим решением по выбору основного АИЭ является использование на платформе аэробной электростанции собственных нужд на основе дизель-генера-

торов или газотурбинных генераторов.

В случае подводного обустройства месторождения приоритетным техническим решением по выбору основного АИЭ является использование анаэробной подводной электростанции на основе электрохимического генератора с диапазоном мощности 10 кВт – 2 МВт или анаэробной подводной

электростанции на основе использования ядерной энергетической установки мощностью более 2 МВт.

Следует отметить, что выбранные приоритетные варианты технических решений по созданию анаэробного АИЭ имеют высокую степень технической реализуемости и базируются на отечественном опыте подводного кораблестроения. ■

ЛИТЕРАТУРА

- Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 360 с.
- Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Анализ, синтез, планирование решений в экономике: Учебник для вузов. Изд. 2-е, доп. и перераб. М.: Финансы и статистика, 2004. 464 с.
- ГОСТ 27.002–89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов. 1990. 38 с.

REFERENCES

- Saati T.L. Decision Making with Dependencies and Feedbacks. Analytical Networks. Moscow, Publishing House LKI, 2008, 360 p. (In Russian)
- Andreychikov A.V., Andreychikova O.N. Analysis, Synthesis, Planning Solutions in Economics. Textbook for High School. Moscow, Finansy i Statistika, 2004, 464 p. (In Russian)
- State Standard GOST 27.002–89. Reliability in Engineering. Basic Definitions. Terms and Definitions. Moscow, Standards Publishing House, 1990, 38 p. (In Russian)