

Методика обоснования выбора сложных технологических процессов на примере подъема затопленного объекта в Арктике

А. В. Краморенко¹, доктор технических наук,

А. Г. Ерохин², кандидат технических наук,

А. С. Агеев³,

Научно-исследовательский институт спасания и подводных технологий
Военного учебно-научного центра ВМФ «Военно-морская академия», Санкт-Петербург, г. Ломоносов

Приведена оценка возможных вариантов технологий подъема атомной подводной лодки К-27, затопленной на глубине 30 м в заливе Степового Карского моря. Оценка выполнена с использованием методики обоснования выбора сложных технологических процессов, разработанной специалистами НИИ спасания и подводных технологий ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия» и основанной на теории обоснования решений.

Ключевые слова: подъем затонувших объектов, технологический процесс подъема, методика обоснования выбора, критерии сравнения, варианты подъема, управление рисками

Поступила в редакцию 6.2.13

Подъем затонувших объектов — сложный технологический процесс, успех которого зависит от тщательного планирования, выполнения всех видов подготовки и умелых действий исполнителей. На этапе планирования разрабатывается технический проект подъема. Высокое качество проекта достигается:

- точностью исходных данных;
- обоснованным выбором применяемого технологического процесса как совокупности комплекса технических средств и технологий их использования;
- правильным выполнением инженерных расчетов;
- выявлением существующих рисков и их управлением, что подразумевает оценку рисков и разработку мер, направленных на их уменьшение;
- вероятностной оценкой достижения ожидаемого результата.

Все перечисленные аспекты являются предметом изучения сотрудников единственного в России специализированного научно-исследовательского отдела подъема затонувших объектов, являющегося структурным подразделением НИИ спасания и подводных технологий ВУНЦ ВМФ «Военно-морская

академия». Сложившаяся в НИИ научная школа уже много лет рассматривает процесс подъема затонувших объектов шире традиционных рамок одних только инженерных расчетов, так как это позволяет всесторонне проанализировать способ подъема, сравнить его с возможными альтернативами, глубже понять слабые и сильные стороны предлагаемых технических решений. Часто очевидно простое техническое решение, которое предлагается заложить в основу технического проекта подъема, при рассмотрении его в комплексе с другими вопросами оказывается не столь привлекательным, как кажется на первый взгляд.

Оценку различных вариантов технологий подъема того или иного затонувшего объекта позволяет выполнить приведенная ниже методика, основанная на теории обоснования решений. Алгоритм методики представлен на рис. 1. Пояснения целесообразно привести применительно к решению актуальной задачи выбора варианта подъема атомной подводной лодки К-27, затопленной на глубине 30 м в заливе Степового Карского моря в 1981 г. из-за невозможности в то время обеспечить ее радиационную безопасность. По прошествии трех десятилетий на повестке дня стоит вопрос ее подъема с целью оздоровления экологической обстановки в арктическом регионе. По сообщениям

¹ e-mail: vunc-vmf-5fil@mil.ru

² e-mail: vunc-vmf-5fil@mil.ru

³ e-mail: vunc-vmf-5fil@mil.ru

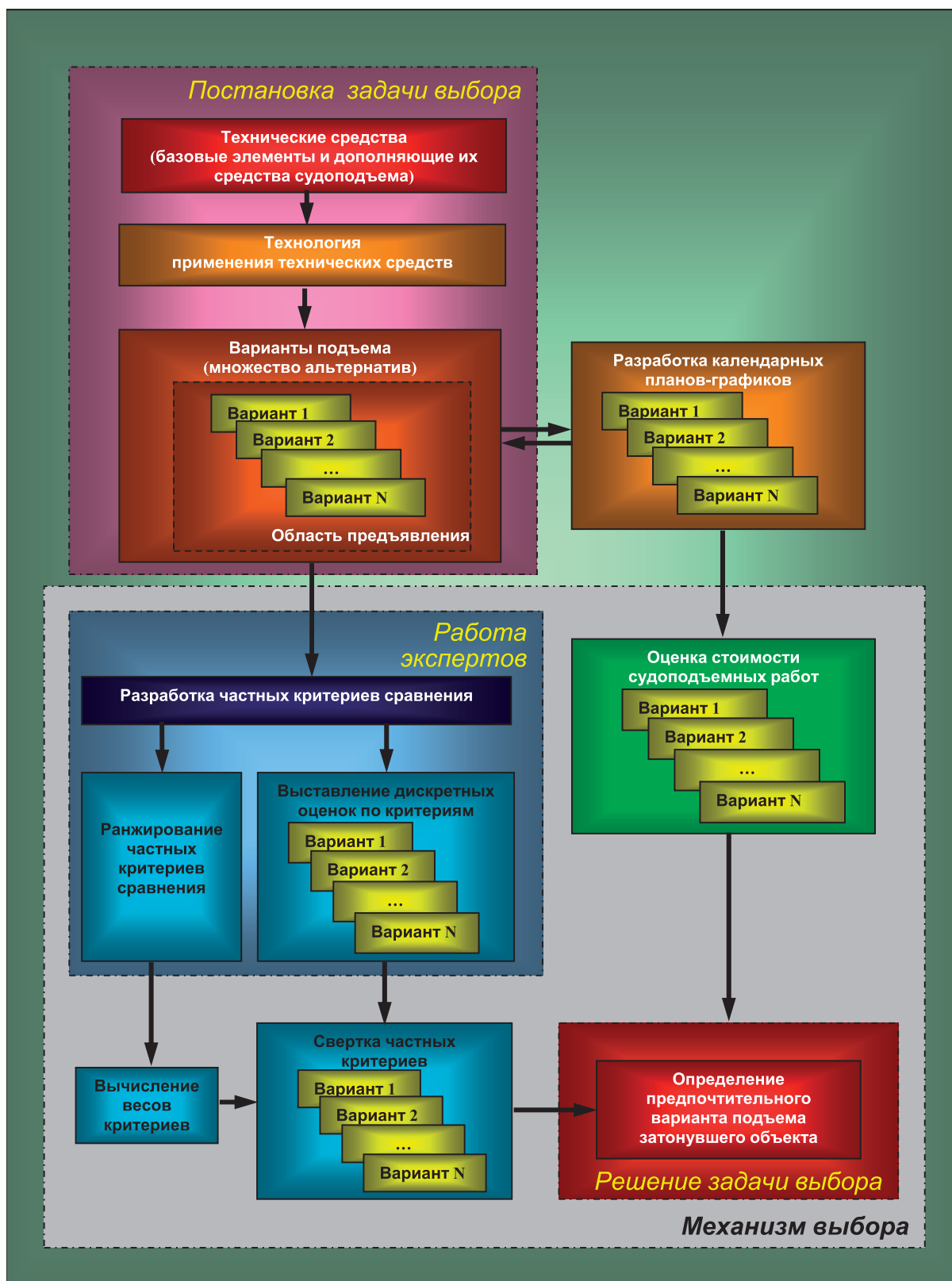


Рис. 1. Критериальная модель выбора предпочтительного варианта технологии подъема затонувшего объекта

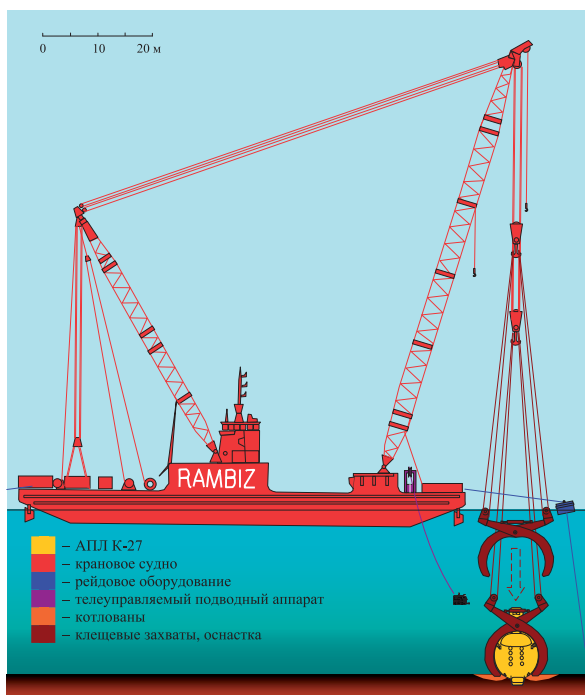


Рис. 2. Вариант 1. Начальный этап подъема АПЛ К-27: остропка на грунте

средств массовой информации, МЧС России планирует в 2013 г. детально обследовать подводную лодку К-27 для принятия решения о ее возможном подъеме.

Решение задачи выбора следует начинать с формирования области предъявления — разработки

множества вариантов, каждый из которых основывается на реальных технических средствах (базовых элементах), которые есть в распоряжении исполнителей, могут быть созданы или привлечены к работам на условиях аренды. Для подъема К-27 с учетом достигнутого в настоящее время уровня технологий можно рассмотреть три варианта:

- вариант 1 — подъем крановым судном большой грузоподъемности;
- вариант 2 — подъем стальными судоподъемными понтонами ВМФ;
- вариант 3 — подъем продуваемыми подъемными модулями.

Вариант 1 (рис. 2—4) базируется на применении кранового судна грузоподъемностью 3000 т. Подводную лодку предлагается захватить крупногабаритным клещевым захватом, поднять с грунта, погрузить на транспортное погружное судно типа «Траншельф», доставить на нем в Кольский залив, выгрузить методом float-off с остропкой поддерживающих понтонов и поставить в плавучий док.

Вариант 2 (рис. 5—7) основан на применении десяти 400-тонных судоподъемных понтонов, которые предлагается закрепить подкильными стропами. Подъем К-27 будет выполнен после продувки понтонов в два этапа с промежуточной покладкой на грунт. Затем подводную лодку следует погрузить на транспортное погружное судно и также доставить к месту утилизации.

Вариант 3 (рис. 8 и 9) является промежуточным между вариантами 1 и 2, он предполагает создание четырех продуваемых модулей, которые позволяют

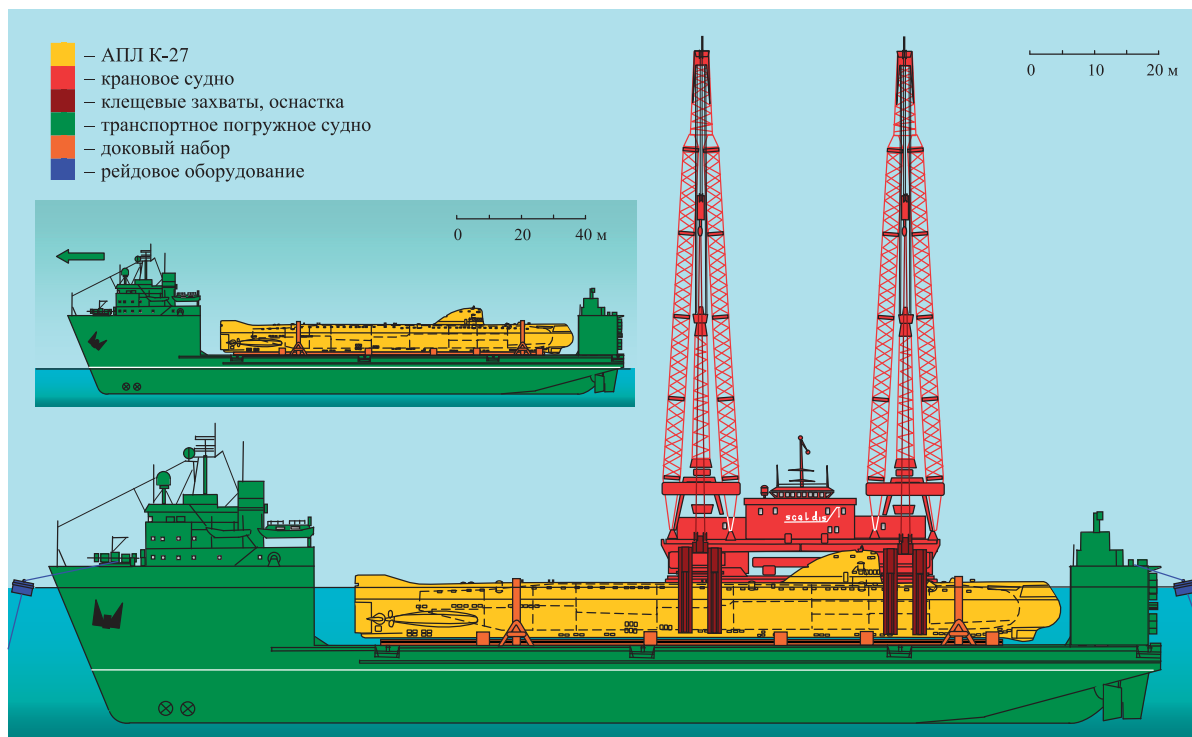


Рис. 3. Вариант 1. Основная часть операции по подъему АПЛ К-27: погрузка и транспортировка

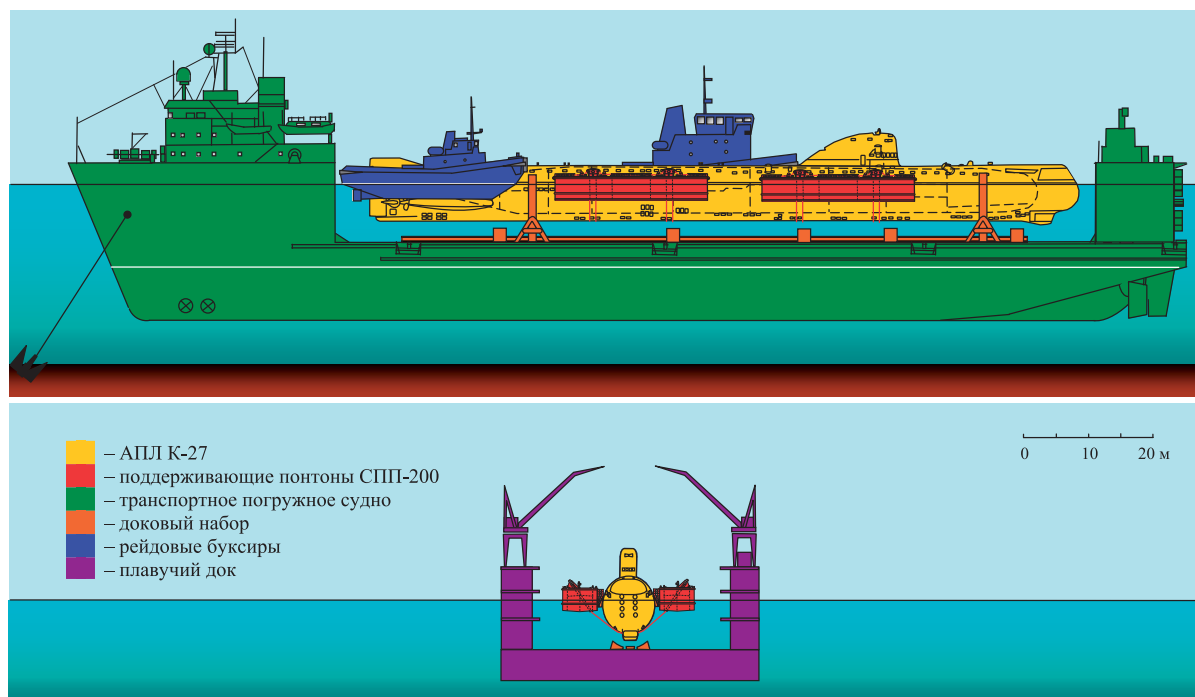


Рис. 4. Вариант 1. Заключительный этап подъема АПЛ К-27: выгрузка в конечном пункте транспортировки методом float-off и постановка в плавучий док

осуществить захват корпуса подводной лодки клещевыми захватами, избежав таким образом аренды дорогостоящего кранового судна за рубежом и большого объема водолазных работ по подкильной остропке судоподъемных понтонов.

Все три варианта оценены на предмет возможности завершения работ за один сезон в период с июня по сентябрь. Выполнена также оценка их стоимости. Несмотря на различную структуру цены, затраты во всех случаях примерно одинаковы. Аренда дорогостоящего кранового судна большой грузоподъем-

ности происходит на короткий срок, в то время как подъем «дешевыми» средствами значительно более продолжителен. К тому же эти средства нужно еще заново построить.

Важнейшей частью методики сравнения является работа экспертов, которые тестируют каждый вариант по ряду критериев, выставляя дискретные оценки от 1 до 3 в зависимости от того, насколько вариант предпочтителен по рассматриваемому критерию. Затем критерии ранжируются по группам и вычисляются их веса по так называемому методу

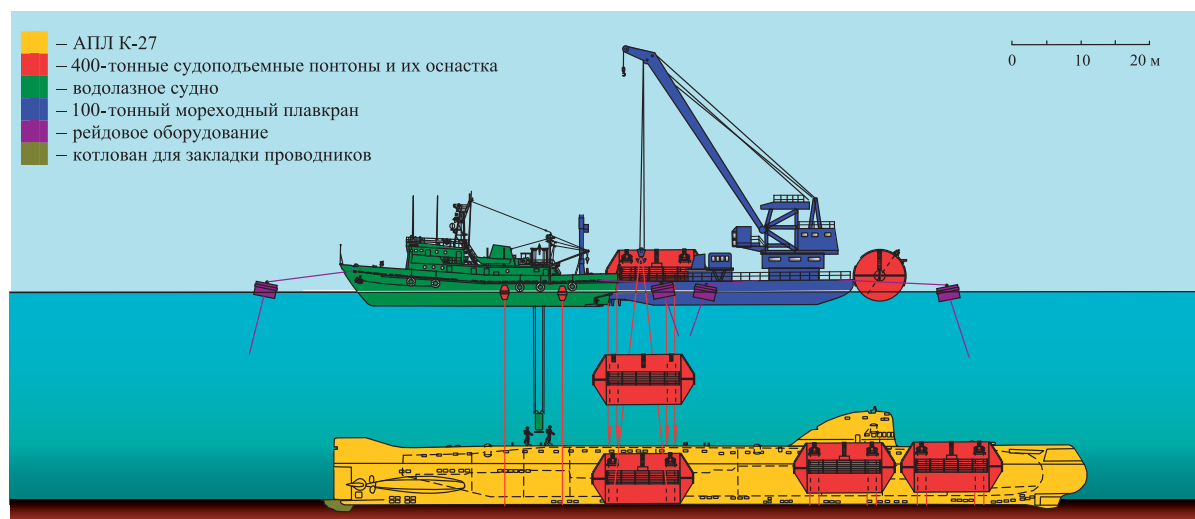


Рис. 5. Вариант 2. Остропка к АПЛ К-27 10 400-тонных стальных судоподъемных понтонов

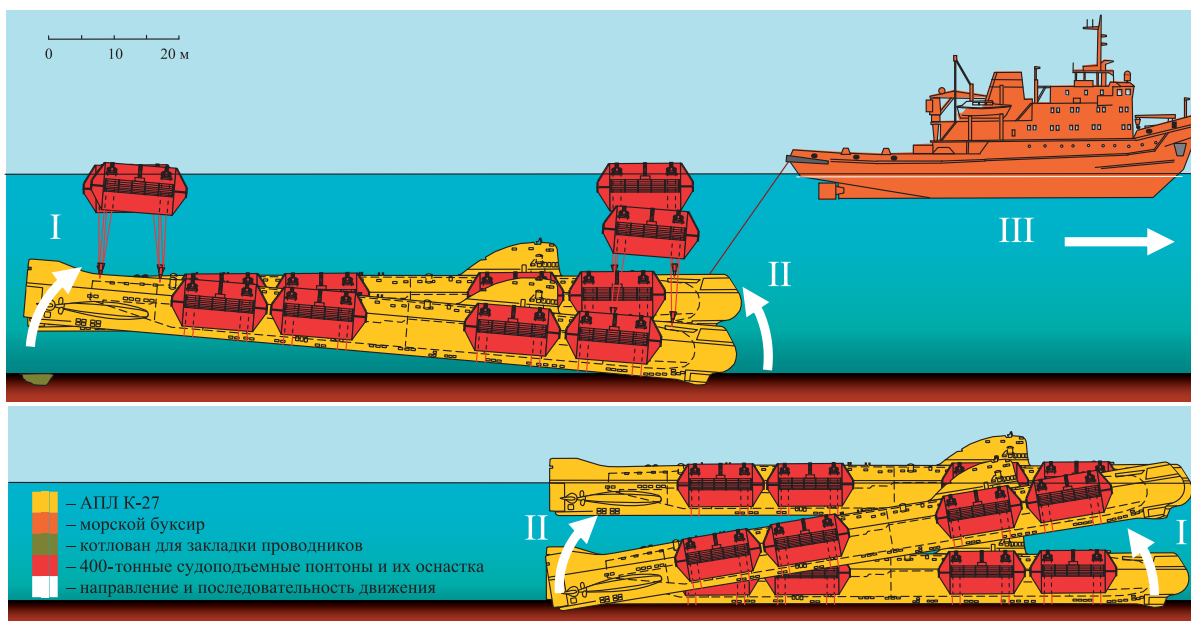


Рис. 6. Вариант 2. Подъем АПЛ К-27 на поверхность ступенями с промежуточной покладкой на грунт

Терстоуна. Свертка частных критериев в обобщенный критерий производится по формуле

$$P_i = P_A \Sigma A + P_B \Sigma B + P_C \Sigma C,$$

где P_A, P_B и P_C — веса критериев групп А, В и С; $\Sigma A, \Sigma B$ и ΣC — сумма дискретных оценок критериев групп А, В и С.

Перечень критериев и порядок их ранжирования был разработан в НИИ спасения и подводных технологий. Достоверность результатов рассматриваемого механизма выбора была подтверждена на примерах 20 случаев подъема затонувших подводных лодок, в 16 из которых предпочтительным оказался реализованный на практике вариант. В 4 остальных случаях задача подъема не была решена, и мето-

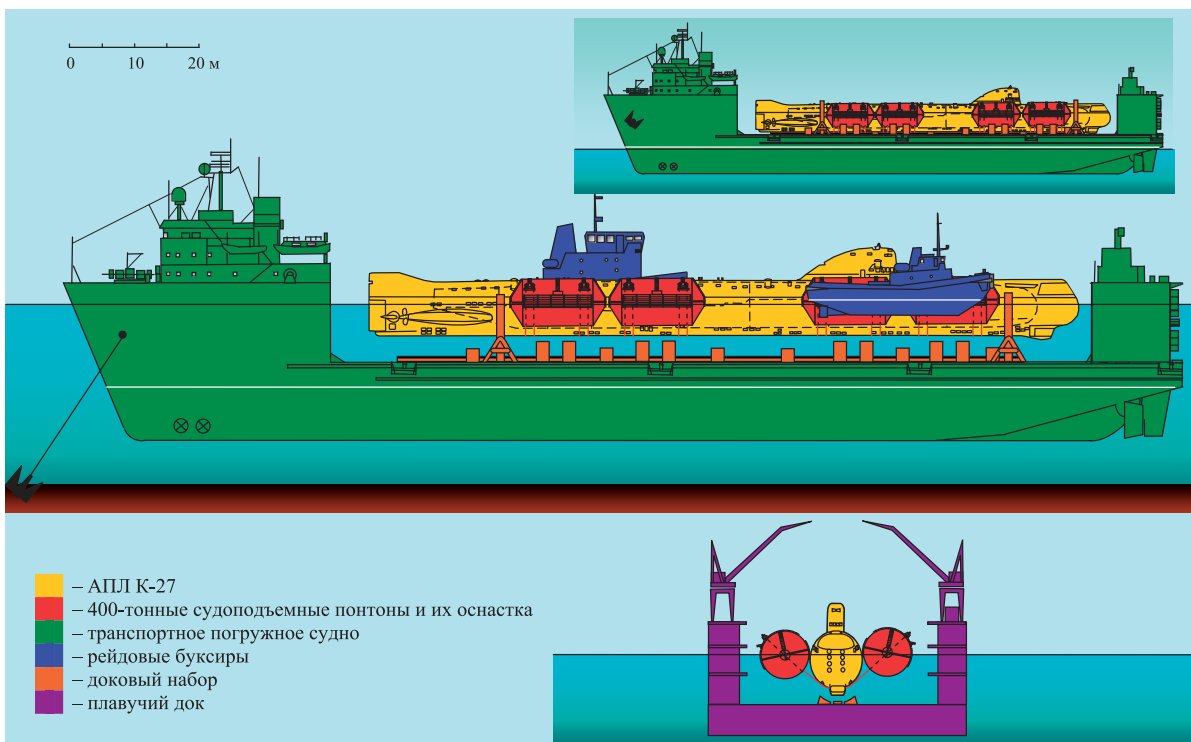


Рис. 7. Вариант 2. Заключительный этап подъема АПЛ К-27: транспортировка, выгрузка в конечном пункте и постановка в плавучий док

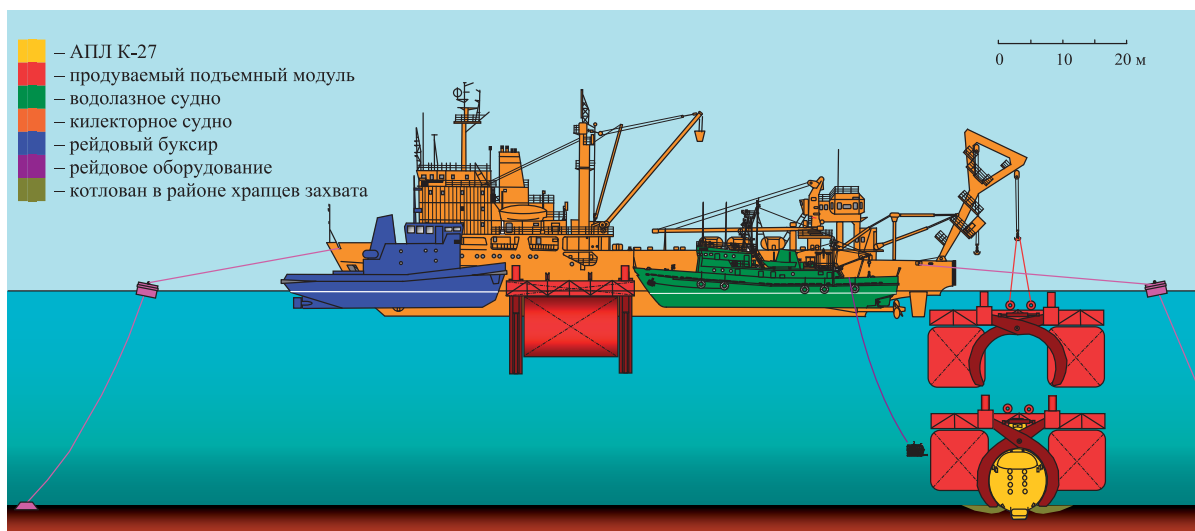


Рис. 8. Вариант 3. Начало работ: установка на АПЛ К-27 продуваемых подъемных модулей

дика точно указала, что выбранные исполнителями варианты технологии были далеко не предпочтительными.

Согласно методике критерии по степени важности разбиты на три группы, в которых критерии группы А являются наиболее значимыми:

- критерии группы А определяют обоснованность технических решений;
- критерии группы В характеризуют технологию подъема;

- критерии группы С описывают прочие характеристики.

В общем случае рассматриваются следующие критерии:

- A1 — необходимость постройки (аренды) технических средств;
- A2 — степень проверки на практике принимаемых технических решений;
- A3 — опыт исполнителей по применению на практике технических средств;

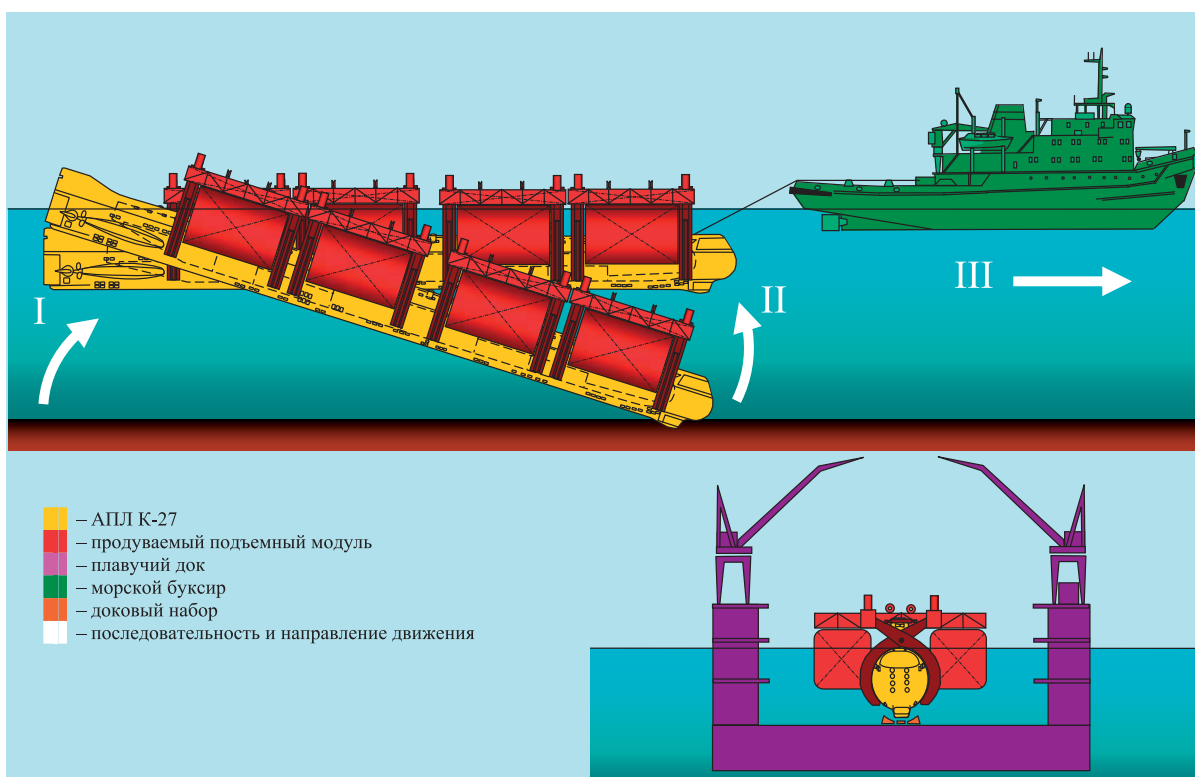


Рис. 9. Вариант 3. Заключительные этапы: подъем с грунта, буксировка на базу, постановка в плавучий док

Таблица 1. Расчет весов критериев

Критерий	A1	A2	A3	A4	A5 (C8)	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C9	C10	C11	Сумма слева	Вес	
A1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	39	0,0806
A2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	39	0,0806
A3	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	39	0,0806
A4	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	39	0,0806
A5 (C8)	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	39	0,0806
B1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	27	0,0557
B2	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	27	0,0557
B3	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	27	0,0557
B4	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	27	0,0557
B5	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	27	0,0557
B6	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	27	0,0557
B7	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	27	0,0557
C1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	0,0207
C2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	0,0207
C3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	0,0207
C4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	0,0207
C5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	0,0207
C6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	0,0207
C7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	0,0207
C9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	0,0207
C10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	0,0207
C11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	0,0207
Общая сумма																						484	1,0		

A4 — наличие недостатков, ведущих к срыву сроков или работ в целом;
 B1 — показатели подготовительных работ (доставка технических средств, подготовка района работ, расчистка поднимаемого объекта и т. д.);
 B2 — показатели остропки;
 B3 — показатели подъема затонувшего объекта к поверхности;
 B4 — показатели транспортировки поднятого к поверхности объекта;
 B5 — показатели постановки поднятого объекта на твердое основание;
 B6 — объем водолазных и подводно-технических работ;
 B7 — степень зависимости от гидрометеорологических условий;
 C1 — возможность точного определения величины подъемных усилий;
 C2 — возможность создания запаса сил для преодоления отрывного сопротивления и компенсации погрешностей расчета подъемного веса;

C3 — возможность компенсации динамических нагрузок;
 C4 — управление подъемными усилиями;
 C5 — потери вследствие вынужденного простоя технических средств;
 C6 — объем проектных проработок;
 C7 — общий объем работ;
 C8 — общая продолжительность судоподъемных работ;
 C9 — количество привлекаемых сил обеспечения;
 C10 — перспективы использования применяемых технических средств;
 C11 — особенности управления и организации работ;
 Приведенный в методике перечень критериев сравнения может быть дополнен или сокращен в зависимости от условий подъема. Также может быть изменен порядок ранжирования. В частности, в рассматриваемом примере подъема К-27 в связи с непродолжительным периодом благоприятных гидрометеорологических условий в арктическом регионе критерий, характеризующий продолжительность работ, при

ранжировании по степени важности следует перенести из группы С в группу А.

Расчет весов критериев представлен в табл. 1, в которой высший приоритет критериев обозначен числом два, равенство — единицей, а низший приоритет — нулем. Вес критерия вычислен как отношение «суммы слева» к «общей сумме».

Выставленные экспертами оценки вариантов по приведенным выше критериям и результат свертки критериев представлены в табл. 2.

Расчет показал, что явным преимуществом обладает вариант 1. Показатель сравнения, являющийся обобщенной характеристикой эффективности каждого из вариантов работ, у этого варианта в 1,84 раза выше, чем у варианта 2, и в 1,31 раза выше, чем у варианта 3. Высокие характеристики варианта 1 подтверждаются относительной близостью его показателя сравнения к абсолютной величине показателя, принятого в методике и равного 3,0.

Следует отметить, что в настоящий момент все оценки вариантов подъема К-27 носят сугубо предварительный характер. Вместе с тем значительный разрыв между показателями сравнения позволяет уже сейчас сделать вполне обоснованный выбор в пользу применения в качестве базового элемента кранового судна большой грузоподъемности, что подтверждается современным зарубежным опытом, который свидетельствует о преимуществах механического способа подъема. В первую очередь механический способ характеризуется высоким уровнем технологичности и мобильности технических средств, обеспечивает управляемый подъем без опасных ускорений и наклонов поднимаемого объекта. Таким образом, рассмотренная выше методика выбора обладает хорошими предсказательными свойствами. Кроме того, она позволяет упорядочить процесс определения предпочтительного варианта. Благодаря методике оценки экспертов можно проанализировать, выявив позиции, в которых их мнения расходятся. Именно спорные оценки того или иного критерия свидетельствуют о существовании противоречий и рисков, а значит, о необходимости принятия мер по их снижению. Благодаря методике выбора лицо, принимающее решение, получает в свое распоряжение мощный инструмент интеллектуальной поддержки, что способствует принятию правильных и уверенных управленческих решений, которые, как правило, гарантируют успешное проведение работ.

Литература

1. Краморенко А. В., Крылов В. В., Пичугин Г. Н., Шмаков Р. А. Концепция подъема АПЛ пр. 645 (К-27) / СПМБМ «Малахит». — СПб., 2011. — 20 с. — № 36/090-042
2. Краморенко А. В. Варианты технологии подъема АПЛ К-27, риски и организация судоподъемных работ: Доклад на Межведомственном семинаре «Обзор научно-технических проблем и поиск их ре-

Таблица 2. Расчет показателей сравнения

Критерий	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
A1	2	1	1
A2	3	3	2
A3	3	1	1
A4	3	1	3
A5 (C8)	3	1	2
B1	2	1	2
B2	3	1	3
B3	3	1	2
B4	3	2	3
B5	1	3	3
B6	3	1	2
B7	3	1	2
C1	3	1	1
C2	3	3	3
C3	3	1	1
C4	3	2	2
C5	3	1	3
C6	2	2	1
C7	3	1	2
C9	2	1	2
C10	3	3	1
C11	1	1	2
ΣA	14	7	9
ΣB	18	10	17
ΣC	26	16	18
PA	0,0806	0,0806	0,0806
PB	0,0557	0,0557	0,0557
PC	0,0207	0,0207	0,0207
Pi	2,669	1,452	2,0449

шения при подъеме и дальнейшем обращении с АПЛ К-27», ФГУП «РосРАО», 24 января 2013 г.

3. Технологические карты выполнения типовых работ при подъеме затонувших объектов с малых глубин: Практическое пособие. — Ломоносов: 40 ГНИИ МО РФ, 2011. — 494 с.