

ТЕХНОЛОГИЯ ПОДЪЕМА ЗАТОПЛЕННЫХ В АРКТИКЕ ЯДЕРНО И РАДИАЦИОННО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ, ОСНОВАННАЯ НА ПРИМЕНЕНИИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ТРОСОВЫХ ДОМКРАТОВ

А. В. Краморенко, В. В. Асминин, Р. И. Чумаров

Научно-исследовательский институт спасания и подводных технологий военного учебно-научного центра ВМФ «Военно-морская академия им. Адмирала Флота Советского Союза Н. Г. Кузнецова»
(Санкт-Петербург, г. Ломоносов, Российская Федерация)

С. В. Антипов, В. П. Биляшенко, П. А. Шведов

ФГБУН Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН
(Москва, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 7 ноября 2017 г.

Приведены результаты оценки возможностей современных технических средств для подъема затопленных объектов применительно к атомной подводной лодке К-27, находящейся на глубине 30 м в заливе Степового Карского моря. Обосновано, что техническими средствами, способными выступить в качестве базовых элементов подъема, могут быть освоенные в эксплуатации гидравлические тросовые домкраты и технологические понтоны (баржи-площадки).

Рассматриваемая возможность подъема К-27 с учетом доступных и проверенных способов и технологий интересна не только как вариант решения конкретной задачи, но и как референтный способ обращения с остальными крупными затопленными и затонувшими в Арктике ядерно и радиационно опасными объектами.

Ключевые слова: *подъем затонувших объектов, ядерно опасные объекты, технические средства, гидравлические тросовые домкраты, базовый элемент, радиозэкологическая реабилитация.*

Введение

Интенсивное освоение и использование природных ресурсов Арктической зоны сегодня является стратегическим приоритетом социально-экономического развития России. Одной из первоочередных задач в решении проблемы освоения и последующего обустройства участков месторождений углеводородов на континентальном шельфе Баренцева и Карского морей, а также прилегающего побережья архипелага Новая Земля является экологическая реабилитация предполагаемых к использованию участков.

Затопленные и затонувшие в Арктике ядерно и радиационно опасные объекты представляют потенциальную угрозу экологической безопасности освоения и развития региона. Эта угроза неконтролируемо возрастает вследствие деградации защитных барьеров безопасности объектов. Радикальным способом экологической реабилитации является подъем и утилизация наиболее опасных из них.

В настоящее время на дне арктических морей находятся 7 объектов с отработавшим ядерным топливом, 19 судов с твердыми радиоактивными

отходами, 735 крупных радиоактивных конструкций и блоков, тысячи контейнеров с твердыми радиоактивными отходами. В научных исследованиях по реабилитации морской акватории обосновано распределение объектов по величине риска и потенциальной опасности [1]. Среди возможных вариантов обращения с ними обсуждаются следующие: оставить на дне (как есть — либо дополнительно усилив защитные барьеры) или поднять и утилизировать. По мнению большинства российских и зарубежных экспертов, затопленная атомная подводная лодка (АПЛ) К-27, как и затонувшая Б-159, относятся к объектам, подлежащим обязательному и первоочередному подъему и утилизации.

При этом приоритет должен быть отдан в первую очередь подъему К-27 по следующим причинам:

- поскольку АПЛ Б-159 находится на большой глубине (250 м), а К-27 — всего лишь на 30 м, т. е. более доступна для подъема, начинать отработку технологии подъема следует с К-27;
- неотложность подъема К-27 связана с тем, что на ней установлены реакторы с жидкометаллическим теплоносителем, и в случае проникновения воды в активную зону возможно возникновение самопроизвольной цепной реакции с разрушением

конструктивных элементов АПЛ и выходом активности в окружающую среду;

- неконтролируемое хранение отработавшего ядерного топлива на мелководье создает предпосылки не только для экологической, но и для террористической угрозы;
- затопленная АПЛ К-27 может оказаться неустранимой угрозой, так как единственный специализированный комплекс для выгрузки активных зон реакторов АПЛ с жидкометаллическим теплоносителем, расположенный в поселке Гремиха Мурманской области, вскоре утратит работоспособность.

Рассматриваемые в статье результаты оценки возможности подъема К-27 с учетом доступных и проверенных способов и технологий интересны не только как вариант решения конкретной задачи, но и как референтный способ обращения с остальными крупными затопленными и затонувшими в Арктике ядерно и радиационно опасными объектами.

Методы

Специалисты в области подъема затонувших объектов НИИ спасания и подводных технологий ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия» выполнили

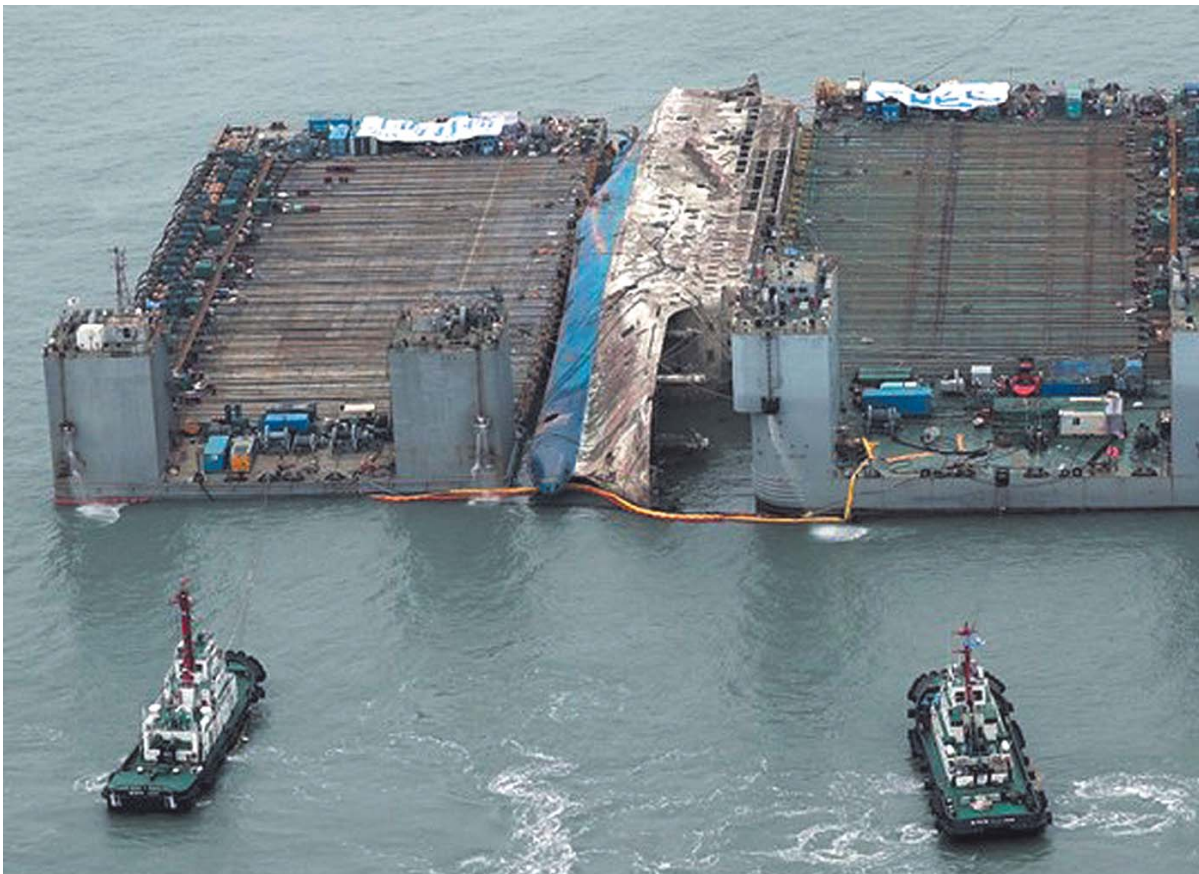


Рис. 1. Подъем южнокорейского паром «Севоль» гидравлическими домкратами, горизонтально установленными на палубах барж-площадок



Рис. 2. Буксировка сдвоенных технологических площадок к месту работ по установке арок Крымского моста через Керченский пролив

сравнительную оценку возможных вариантов подъема затопленных в Арктике ядерно и радиационно опасных объектов на примере подъема атомной подводной лодки К-27 [2]. Решением многокритериальной задачи на основе представленной методики обоснования выбора сложных технологических процессов была доказана предпочтительность подъема АПЛ К-27 с помощью кранового судна при условии остропки АПЛ с помощью крупногабаритного захватного устройства и последующей транспортировки к месту постановки в док на транспортном грузовом судне (ТПС). В качестве базового элемента подъема рассматривалось реально существующее бельгийское крановое судно «Рамбиз», а в качестве средства транспортировки — ТПС «Траншельф», с применением которого в 2006 г. была выполнена транспортировка из Святоносского залива в Кольский залив близкой по массогабаритным характеристикам выведенной из боевого состава АПЛ К-60 [3]. В качестве альтернатив рассматривались подъем с помощью стальных судоподъемных понтонов и подъем с помощью продуваемых модулей с клещевыми захватами, которые по обобщенному показателю, полученному в результате решения многокритериальной задачи, оказались менее предпочтительными, уступив в 1,84 и 1,31 раза соответственно [2]. Не случайно подъем затонувших объектов с помощью крановых судов большой грузоподъемности до недавнего времени считался наиболее отработанным в технологическом плане и имел широкое

распространение в мировой практике судоподъема. Однако наряду с достоинствами этот способ имеет ряд недостатков, к которым относятся:

- высокая стоимость аренды крановых судов;
- сложность распределения создаваемых крановыми судами сосредоточенных нагрузок по корпусу поднимаемого объекта;
- жесткая зависимость результативности судоподъемных работ от технической исправности кранового судна, выход которого из строя делает успешное завершение работ невозможным.

В этой связи наметилась мировая тенденция замены крановых судов системами гидравлических тросовых домкратов при подъеме крупных затонувших объектов. Примерами выполненных с их помощью судоподъемных работ являются подъем в 2001 г. с глубины 108 м АПЛ «Курск», имевшей подъемный вес 8200 тс [4], спрямление в 2013 г. лайнера «Коста Конкордия» водоизмещением 114 000 тс [5; 6], подъем в 2017 г. южнокорейского парома «Севоль» подъемным весом 6825 тс с глубины 44 м [7]. Характерно, что в случаях подъема АПЛ «Курск» и подъема парома «Севоль» изначально рассматривались варианты подъема с применением крановых судов, от которых отказались по перечисленным выше причинам.

С точки зрения планирования подъема АПЛ К-27 наибольший интерес представляет подъем парома «Севоль» (рис. 1), схему которого целесообразно принять в качестве прототипа. Это обусловлено

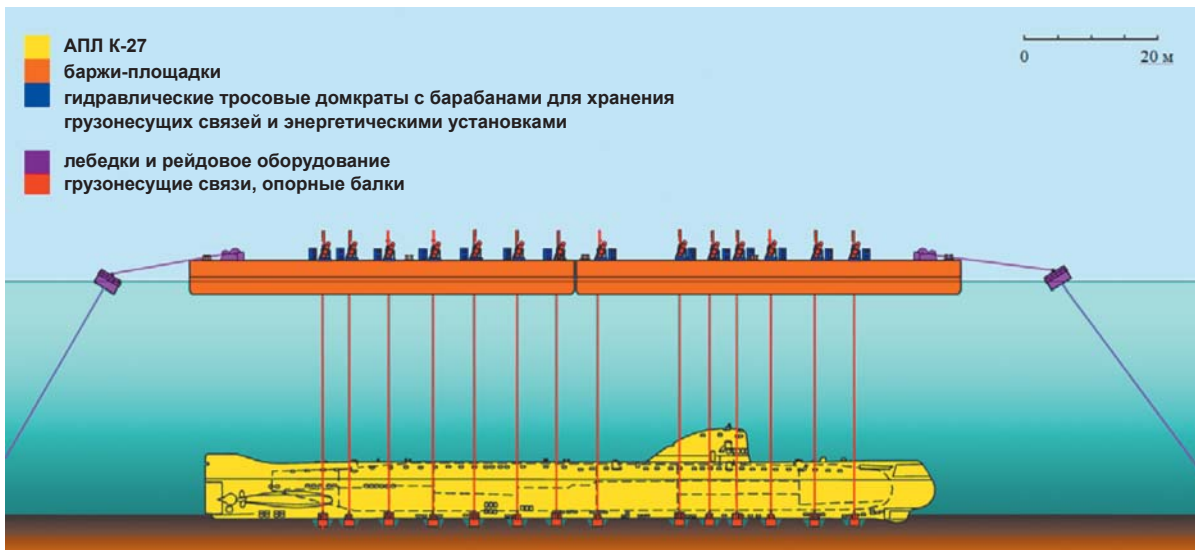


Рис. 3. Баржи-площадки установлены над поднимаемой АПЛ К-27. Остропка грузонесущих связей к опорным балкам, размещенным в туннелях под ее корпусом

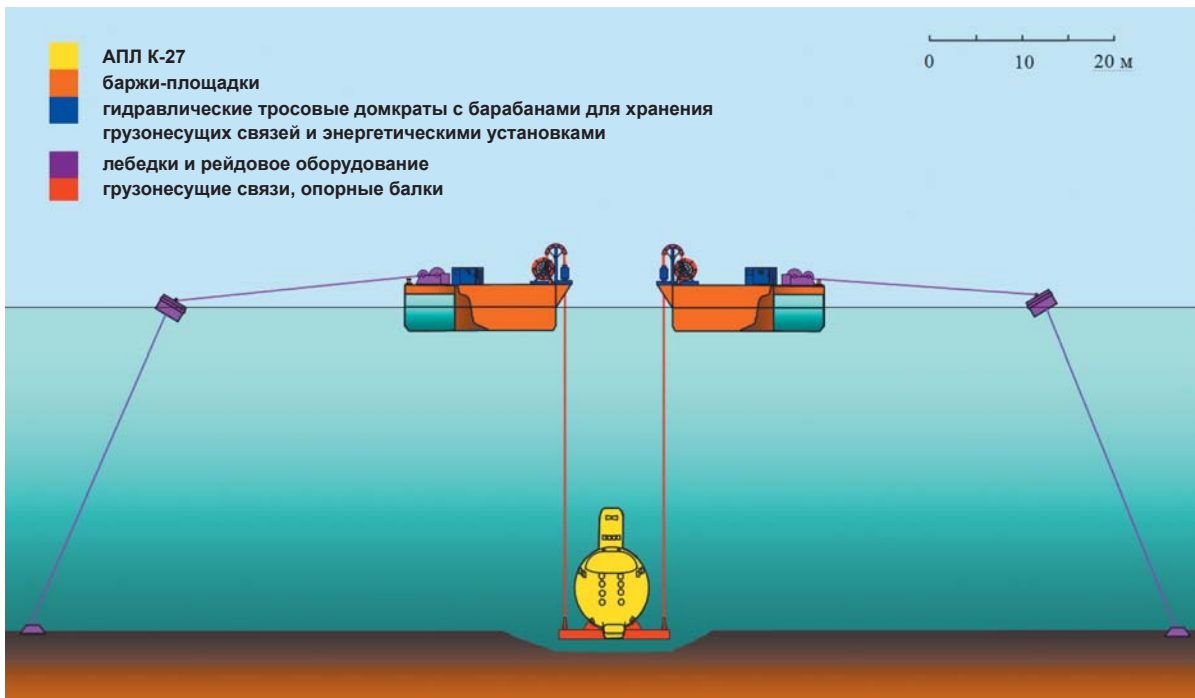


Рис. 4. Подъем АПЛ К-27 с грунта гидравлическими тросовыми домкратами

наличием в России технических средств, способных выступить в качестве базовых элементов подъема. Речь идет об освоенных в эксплуатации гидравлических тросовых домкратах и технологических понтонах (баржах-площадках), с помощью которых осенью 2017 г. были успешно установлены железнодорожная и автомобильная арки Крымского моста через Керченский пролив. Арки весом 6000 и 4500 тс соответственно были последовательно доставлены к месту работ на двух сдвоенных баржах-площадках (рис. 2) и подняты шестнадцатью гидравлическими

домкратами. В настоящее время применявшееся оборудование выполнило возложенную на него задачу, и компания-владелец домкратов ищет возможности его дальнейшего применения, в том числе и для судоподъема.

По полученным данным технологические понтоны соответствуют требованиям российского регистра. Каждый понтон имеет грузоподъемность 1715 тс, водоизмещение 2525 т, длину 57,79 м, ширину 16,5 м, высоту борта 5 м. Каждый из имеющихся в наличии домкратов имеет вес 3950 кгс,

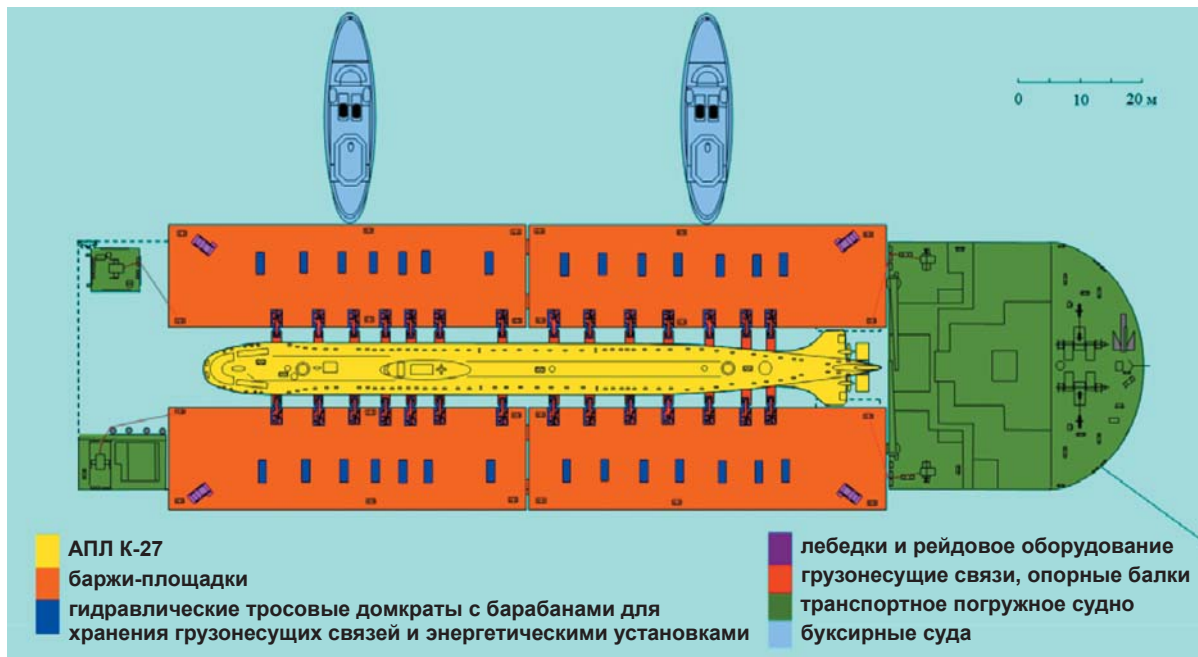


Рис. 5. Погрузка поднятой АПЛ К-27 на транспортное погружное судно (вид сверху)

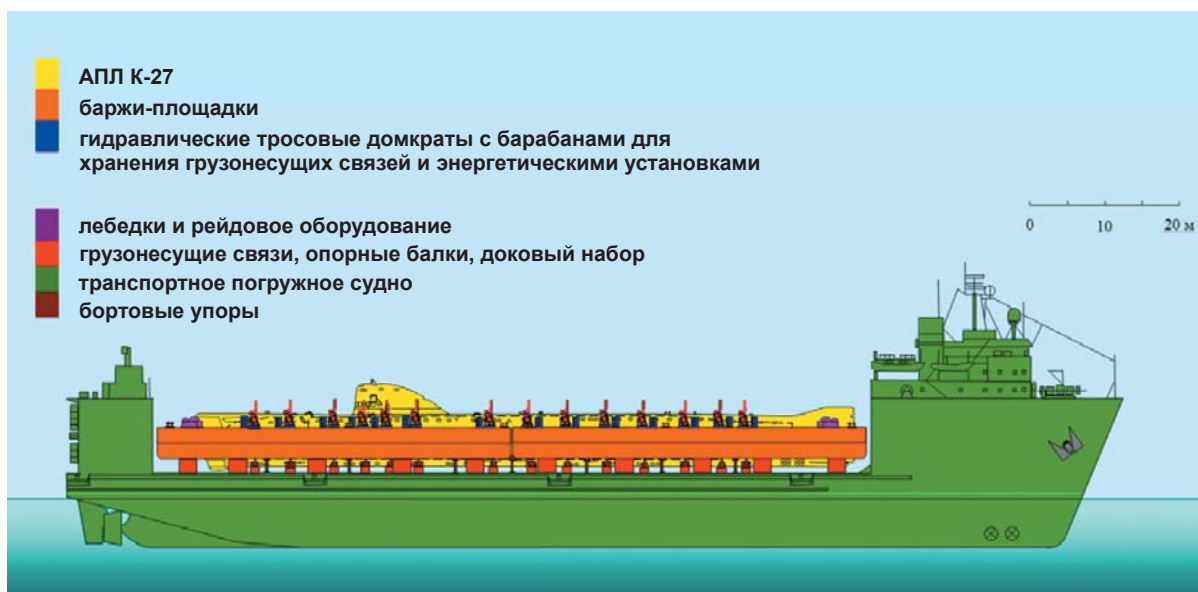


Рис. 6. Транспортировка поднятой АПЛ К-27 на транспортном погружном судне вместе с баржами-площадками

грузоподъемность 650 тс, эффективный ход 450 мм, скорость подъема 7 м/мин. Грузонесущая связь одного домкрата включает 43 троса диаметром 18 мм. Работу каждого домкрата обеспечивает силовая установка, оснащенная насосом и электромотором мощностью 30 кВт. Силовая установка способна создать давление в гидравлическом контуре до 350 бар. В состав технологического оборудования входит система управления и синхронизации работы домкратов.

Ниже с соблюдением линейных пропорций представлены технологические этапы предполагаемого подъема АПЛ К-27 с помощью гидравлических тросовых домкратов.

На подготовительном этапе водолазы разрабатывают под корпусом АПЛ 14 туннелей, в которые укладываются опорные балки. На них в шахматном порядке располагают доковые опоры с лекальными поверхностями. Баржи-площадки с грузоподъемным оборудованием из 14 пар гидравлических

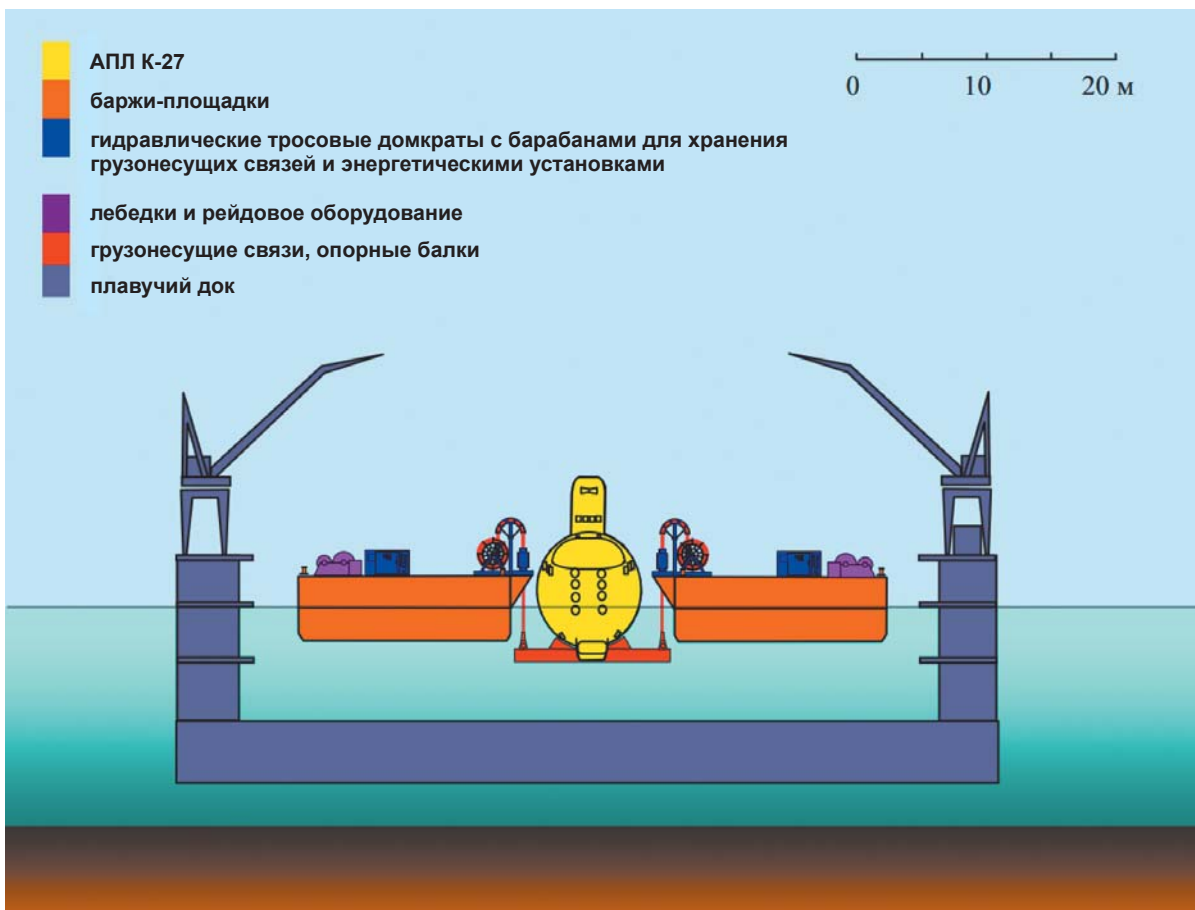


Рис. 7. Постановка поднятой АПЛ К-27 в плавучий док

тросовых домкратов объединяют попарно и устанавливают над местом работ на рейдовом оборудовании (рис. 3).

Домкраты создают подъемную силу, отрывающую АПЛ от грунта. В связи с отсутствием системы компенсации динамических нагрузок работы выполняются при волнении моря до 2 баллов. По мере возрастания нагрузки заполняют водой балластные отсеки барж-площадок, сохраняя их положение прямо и на равный киль (рис. 4).

Подъем АПЛ продолжают до тех пор, пока ее осадка не уменьшится до значения, позволяющего поставить поднятую АПЛ на палубу ТПС, принявшего водяной балласт и вышедшего на рабочую осадку (рис. 5).

ТПС откачивает принятую балластную воду после центровки АПЛ над стапель-палубой и принимает на себя вес АПЛ (рис. 6). ТПС при благоприятном прогнозе гидрометеорологической обстановки совершает переход в район передачи АПЛ на твердое основание — палубу плавучего дока.

Здесь ТПС снова балластируют, а АПЛ выводят на чистую воду и буксируют в погруженный до рабочей осадки плавучий док (рис. 7). Подъем АПЛ К-27 завершается после полного всплытия плавучего дока.

Обсуждение результатов

Сравнение описанного варианта подъема с вариантом, предполагающим применение кранового судна «Рамбиз», выполненное по методике выбора предпочтительного варианта на основе ранжирования критериев [2], показывает преимущество подъема АПЛ К-27 с помощью гидравлических тросовых домкратов.

Показатель сравнения, являющийся обобщенной характеристикой эффективности, у варианта с применением гидравлических тросовых домкратов оказался равным 2,537, что в 1,15 раза выше, чем у варианта с применением плавкрана большой грузоподъемности. Это объясняется отсутствием необходимости арендовать за рубежом основное средство создания подъемных усилий (крановое судно), а также более технологичной операцией выгрузки АПЛ с ТПС. Более значительным является у варианта подъема с помощью гидравлических тросовых домкратов и запас подъемных усилий, которые можно в процессе подъема регулировать по величине, создавая более благоприятные условия для преодоления отрывного сопротивления, например за счет первоначального подъема одной оконечности. Преимуществом является и меньший риск финансовых потерь в случае незапланированного

простая технических средств, достаточно высокий при применении кранового судна. С учетом высокой арендной стоимости кранового судна можно утверждать, что стоимость подъема АПЛ К-27 с помощью гидравлических тросовых домкратов будет несколько ниже, что также свидетельствует в его пользу.

Вариант, основанный на применении гидравлических тросовых домкратов, уступает своему оппоненту в части трудоемкости подготовительного этапа и необходимости выполнения большого количества водолазных работ на этапе предварительной подготовки подъема. Эти недостатки можно устранить путем механизации водолазных работ.

Выводы

Результаты исследований показывают наличие технической и технологической возможности подъема АПЛ К-27 с преимущественным применением имеющихся в настоящее время в России технических средств. Это гидравлические тросовые домкраты и технологические понтоны, использовавшиеся при строительстве Крымского моста через Керченский пролив. С учетом новых технических возможностей подъема затонувших ядерно и радиационно опасных объектов, изложенных в настоящей статье, можно рассчитывать, что в ближайшее время начнутся практические работы по очистке Арктики от ядерно и радиационно опасных подводных объектов, и в первую очередь работы по подъему АПЛ К-27. Успех работ зависит от полноты выполнения всего комплекса подготовительных мероприятий и, в частности, от получения данных о состоянии корпусных конструкций АПЛ К-27 и защитных барьеров ее реакторной установки [8, с. 108]. Эти работы предусмотрены постановлением Правительства РФ от 31 августа 2017 г. № 1064, утвердившим новый вариант государственной программы Российской Федерации «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации», в п. 2.6 которой прописано «обеспечение реабилитации арктического региона от затопленных и затонувших объектов

с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами».

Исследование выполнено при поддержке РНФ (грант № 17-19-01674).

Литература

1. Саркисов А. А., Антипов С. В., Высоцкий В. Л. Приоритетные проекты программы реабилитации арктических морей от затопленных и затонувших ядерных и радиационно опасных объектов и необходимость международного сотрудничества // Арктика: экология и экономика. — 2012. — № 4 (8). — С. 4—15.
2. Краморенко А. В., Ерохин А. Г., Азеев А. С. Методика обоснования выбора сложных технологических процессов на примере подъема затопленного объекта в Арктике // Арктика: экология и экономика. — 2013. — № 1 (9). — С. 84—91.
3. Краморенко А. В., Шмаков Р. А. Новая технология транспортировки на утилизацию выведенных из эксплуатации атомных подводных лодок // Судостроение. — 2013. — № 1. — С. 48—54.
4. Краморенко А. В. Подъем АПРК «Курск»: заметки участника // Мор. наследие. — 2015. — № 2 (14). — С. 18—25.
5. Как поднимали Costa Concordia. — URL: <https://prostointeresno.com/2013/09/kak-podnimali-costa-concordia/>.
6. Краморенко А. В., Асминин В. В. Особенности применения технических средств при подъеме лайнера «Коста Конкордия» // Информ. сб. СПАСР Главного штаба ВМФ. — 2014. — Вып. 26 (62). — С. 74—92.
7. Краморенко А. В., Асминин В. В. Подъем парома «Севоль»: 6825 тонн с 44 метров // Нептун. Водолазный проект. — 2017. — № 5. — С. 18—27. — URL: http://neptunworld.com/wp-content/uploads/2017/10/038_047_Kramorenko_Sewol.pdf.
8. Постановление Правительства РФ «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 21 апреля 2014 г. № 366» от 31 августа 2017 г. № 1064. — URL: <http://government.ru/docs/all/113146/>.

Информация об авторах

Краморенко Андрей Вячеславович, доктор технических наук, начальник научно-исследовательского управления, Научно-исследовательский институт спасания и подводных технологий ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия» (198412, Россия, Санкт-Петербург, г. Ломоносов, ул. Морская, 4), e-mail: vunc-vmf-5fil@mil.ru.

Асминин Виталий Викторович, кандидат технических наук, научный сотрудник, Научно-исследовательский институт спасания и подводных технологий ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия» (198412, Россия, Санкт-Петербург, г. Ломоносов, ул. Морская, 4).

Чумаров Рудольф Иванович, старший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт спасания и подводных технологий ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия» (198412, Россия, Санкт-Петербург, г. Ломоносов, ул. Морская, 4).

Антипов Сергей Викторович, доктор технических наук, заместитель директора, ИБРАЭ РАН (115191, Россия, Москва, ул. Большая Тульская, 52), e-mail: santipov@ibrae.ac.ru.

Билашенко Вячеслав Петрович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ИБРАЭ РАН (115191, Россия, Москва, ул. Большая Тульская, 52), e-mail: bilvp@ibrae.ac.ru.

Шведов Павел Алексеевич, заместитель заведующего отделом, ИБРАЭ РАН (115191, Россия, Москва, ул. Большая Тульская, 52), e-mail: spa@ibrae.ac.ru.

Библиографическое описание данной статьи

Краморенко А. В., Асминин В. В., Чумаров Р. И., Антипов С. В., Билашенко В. П., Шведов П. А. Технология подъема затопленных в Арктике ядерно и радиационно опасных объектов, основанная на применении гидравлических тросовых домкратов // Арктика: экология и экономика. — 2018. — № 1 (29). — С. 116—124. — DOI: 10.25283/2223-4594-2018-1-116-124.

THE TECHNOLOGY OF LIFTING NUCLEAR- AND RADIATION-HAZARDOUS FACILITIES DUMPED OR SUNKEN IN THE ARCTIC BASED ON THE USE OF HYDRAULIC CABLE JACKS

Kramorenko A. V., Asminin V. V., Chumarov R. I.

The Research Institute of Rescue and Underwater Technologies, Navy's MESC "Naval Academy" (Saint-Petersburg, Russian Federation)

Antipov S. V., Bilashenko V. P., Shvedov P. A.

Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russian Federation)

The research was carried out with the RSF support (Grant No. 17-19-01674).

Abstract

The paper is dealing with the results of evaluation of the capabilities of modern technical equipment for lifting dumped and sunken facilities with reference to the lifting of the 'K-27' nuclear submarine dumped at 30-m depth in the Stepovoy Gulf of the Kara Sea. A justification is provided that widely operated hydraulic cable jacks and technological pontoons (barges-platforms) may be used as the basic elements for the 'K-27' lifting.

The possibility of the 'K-27' lifting using accessible and proven methods and technologies may be of interest not only as an option for solving a specific problem, but also as a reference method for handling other bulky nuclear- and radiation-hazardous facilities dumped and sunken in the Arctic.

Keywords: *raising the sunken objects, nuclear dangerous objects, Arctic, technical means, hydraulic cable jacks, basic elements of raising the sunken objects, radio-ecological rehabilitation*

References

1. Sarkisov A. A., Antipov S. V., Vysotskii V. L. Prioritetnye proekty programmy reabilitatsii arkticheskikh morei ot zatoplennykh i zatonuvshikh yadernykh i radiatsionno opasnykh ob"ektov i neobkhodimost' mezhdunarodnogo sotrudnichestva. [Top-Priority Projects Under the Program on the Remediation of Arctic Seas Contaminated due to Scuttled or Sunken Nuclear and Radiation Hazardous Facilities and the Need for International Cooperation in this Field]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2012, no. 4 (8), pp. 4—15. (In Russian).
2. Kramorenko A. V., Erokhin A. G., Ageev A. S. Metodika obosnovaniya vybora slozhnykh tekhnologicheskikh protsessov na primere pod"ema zatoplenogo ob"ekta v Arktike. [Methodology for justification of the selection of complex manufacturing processes on the example of the salvage of the submerged object in the Arctic]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2013, no. 1 (9), pp. 84—91. (In Russian).
3. Kramorenko A. V., Shmakov R. A. Novaya tekhnologiya transportirovki na utilizatsiyu vyvedennykh iz ekspluatatsii atomnykh podvodnykh lodok. [New technology for transportation of nuclear submarine put out of commission for scrapping]. *Sudostroenie*, 2013, no. 1, pp. 48—54. (In Russian).
4. Kramorenko A. V. Pod'em APRK "Kursk": zametki uchastnika. [Raising of submarine KURSK: remarks of participant]. *Mor. nasledie*, 2015, no. 2 (14), pp. 18—25. (In Russian).
5. Kak podnimali Costa Concordia. [How Costa Concordia was raised up]. Available at: <https://prostointeresno.com/2013/09/kak-podnimali-costa-concordia/>. (In Russian).

6. *Kramorenko A. V., Asminin V. V.* Osobennosti primeneniya tekhnicheskikh sredstv pri pod"eme lainera "Kosta Konkordiya". [Special features of using technical means when raising the liner Costa Concordia]. Inform. sb. SPASR Glavnogo shtaba VMF, 2014, iss. 26 (62), pp. 74—92. (In Russian).

7. *Kramorenko A. V., Asminin V. V.* Pod"em paroma "Sevol": 6825 tonn s 44 metrov. [Shipraising of ferry Sevol. 6825 ton from 44 metres]. Neptun. Vodolaznyi proekt, 2017, no. 5, pp. 18—27. Available at: http://neptunworld.com/wp-content/uploads/2017/10/038_047_Kramorenko_Sevol.pdf. (In Russian).

8. Postanovlenie Pravitel'stva RF "O vnesenii izmenenii v postanovlenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 21 aprelya 2014 g. № 366". [Resolution of the Government of the Russian Federation of 31.8.2017 no. 1064 "On amendments to Resolution of the Government of the Russian Federation of 21.4. 2014 no. 366"] ot 31 avgusta 2017 g. № 1064. Available at: <http://government.ru/docs/all/113146/>. (In Russian).

8. Postanovlenie Pravitel'stva RF "O vnesenii izmenenii v postanovlenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 21 aprelya 2014 g. № 366". [Resolution of the Government of the Russian Federation of 31.8.2017 no. 1064 "On amendments to Resolution of the Government of the Russian Federation of 21.4. 2014 no. 366"] ot 31 avgusta 2017 g. № 1064. Available at: <http://government.ru/docs/all/113146/>. (In Russian).

Information about the authors

Kramorenko Andrey Vyacheslavovich, Doctor of Technical Sciences, Chief of the Research Administration, The Research Institute of Rescue and Underwater Technologies, Navy's MESC "Naval Academy" (4, Morskaya st., Lomonosov, St. Petersburg, Russia, 198412), e-mail: vunc-vmf-5fil@mil.ru.

Asminin Vitaly Viktorovich, Candidate of Technical Sciences, Researcher, The Research Institute of Rescue and Underwater Technologies, Navy's MESC "Naval Academy" (4, Morskaya st., Lomonosov, St. Petersburg, Russia, 198412).

Chumarov Rudolf Ivanovich, Senior Researcher, The Research Institute of Rescue and Underwater Technologies, Navy's MESC "Naval Academy" (4, Morskaya st., Lomonosov, St. Petersburg, Russia, 198412).

Antipov Sergei Viktorovich, Doctor of Technical Sciences, Deputy Director, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulsкая st., Moscow, Russia, 115191), e-mail: santipov@ibrae.ac.ru.

Bilashenko Vyacheslav Petrovich, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulsкая st., Moscow, Russia, 115191), e-mail: bilvp@ibrae.ac.ru.

Shvedov Pavel Alekseevich, Deputy Chief of the Department, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulsкая st., Moscow, Russia, 115191), e-mail: spa@ibrae.ac.ru.

Bibliographic description

Kramorenko A. V., Asminin V. V., Chumarov R. I., Antipov S. V., Bilashenko V. P., Shvedov P. A. The Technology of Lifting Nuclear- and Radiation-Hazardous Facilities Dumped or Sunken in the Arctic Based on the Use of Hydraulic Cable Jacks. Arctic: ecology and economy, 2018, no. 1 (29), pp. 116—124. DOI: 10.25283/2223-4594-2018-1-116-124. (In Russian).

© Kramorenko A. V., Asminin V. V., Chumarov R. I., Antipov S. V., Bilashenko V. P., Shvedov P. A., 2018