

Опыт утилизации аварийных АПЛ с поврежденной энергетической установкой

К.Н. Куликов, М.Т. Ледин, С.В. Добровенко,
М.В. Медников, А.М. Мишнев, И.А. Мокеев,
ОАО «НИПТБ «Онега»

За последние два десятилетия судостроительные предприятия военно-промышленного комплекса России накопили огромный опыт утилизации атомных подводных лодок (АПЛ), выведенных из состава Военно-Морского Флота Российской Федерации. В соответствии с «Концепцией комплексной утилизации атомных подводных лодок и надводных кораблей с атомными энергетическими установками», утвержденной министром Российской Федерации по атомной энергии 30.01.2000, на предприятиях была создана уникальная инфраструктура для комплексной промышленной утилизации АПЛ с ядерными энергетическими установками всех типов.

ОАО «НИПТБ «Онега» совместно с ведущими проектными бюро судостроения России разработали несколько принципиальных технологий утилизации АПЛ разных проектов для разных заводов, которые предусматривали:

- подготовку АПЛ к утилизации (расхолаживание реактора);
- выгрузку из реакторов АПЛ ядерного топлива;
- вырезку реакторного отсека (РО) и формирование трехотсечного блока;
- разрезку носовой и кормовой оконечностей АПЛ на металлолом.

Разработанные принципиальные технологии утилизации АПЛ соответствуют российским и международным требованиям безопасности, обеспечивают радиационную безопасность и минимизируют негативное воздействие на окружающую среду.

В то же время следует отметить, что на Тихоокеанском флоте ожидали утилизацию аварийных АПЛ, выгрузка топлива из которых и их последующая утилизация в ближайшей перспективе не могли быть выполнены.

Первый шаг к решению проблемы утилизации аварийных АПЛ был сделан ОАО «НИПТБ «Онега» в 1998 г. В рамках проведенной НИР «Саркофаг» был предложен один из способов утилизации аварийных АПЛ. Следующим шагом была разработка комплекта организационной и технологической документации утилизации аварийных АПЛ проекта 675 зав. №175 и проекта 671 зав. №610, выполненная в период с 2010 по 2011 гг. в соответствии с Государственным заказом.

На момент разработки комплекта документов техническое состояние аварийных АПЛ было следующим.

АПЛ проекта 675 зав. № 175 была принята в эксплуатацию в сентябре 1965 г. Ядерная установка АПЛ представляла два водо-водяных реактора типа ВМ-А, расположенных вдоль диаметральной плоскости. АПЛ классифицировалась как аварийная, так как на ней не были устранены последствия радиационной аварии, произошедшей в августе 1985 г. В результате спонтанной цепной реакции в носовом реакторе, приведшей к тепловому взрыву и пожару в РО, были разрушены внутриреакторные конструкции и аппаратные выгородки, радиоактивные материалы были выброшены из реактора не только в помещения РО и на внешние конструкции АПЛ, но и на прилегающую территорию ФГУП «30 СРЗ» МО РФ. Кормовой реактор не был поврежден, в нем сохранилось свежезагруженное ядерное топливо. Реактор был заполнен теплоносителем, на него установлена и уплотнена штатная крышка. После аварии реактор выведен из действия в штатном режиме по документации проектанта паропроизводящей установки

(ППУ). Прочный корпус АПЛ оставался негерметичным из-за незаваренного съемного листа РО и трещины на прочном корпусе с левого борта.

После аварии лодка была отбуксирована в бухту Павловского Приморского края и хранилась на плаву. Радиационная обстановка в РО продолжала оставаться чрезвычайно опасной.

Результаты радиационных обследований показывали, что уровни излучений в РО снижались, но по-прежнему оставались крайне опасными. Вследствие этого выполнение работ по подготовке и выгрузке ядерного топлива из кормового реактора АПЛ в ближайшей перспективе было невозможно.

АПЛ проекта 671 заводской №610 была принята в эксплуатацию в 1972 г. АПЛ имела две ППУ типа ОК-300, расположенных побортно. В декабре 1985 г. в процессе расхолаживания реактора левого борта в результате утечки теплоносителя первого контура произошло осушение реактора, приведшее к сильному разрушению (частичному расплавлению) тепловыделяющих элементов активной зоны и выходу радиоактивных продуктов в помещения РО. После неудачных попыток устранения последствий аварии в 1989 г. АПЛ была признана аварийной, выведена из боевого состава флота и отправлена в отстой в бухту Павловского Приморского края.

Технические средства АПЛ в результате аварии, длительного отсутствия обслуживания, воздействия неблагоприятных климатических условий и коррозионно-активных сред находились в крайне неудовлетворительном состоянии. Первый контур реактора левого борта был негерметичен. Активные зоны из реакторов были не выгружены. Реактор правого борта был выведен из действия в январе 1986 г. по штатному режиму в соответствии с эксплуатационной документацией.

После расхолаживания ППУ и дезактивации РО в трюме и других помещениях РО оставалось большое количество воды, имеющей высокую активность и содержащей коррозионно-активные компоненты (дезактивирующие реагенты). Ориентировочно в РО находилось более 100 м³ воды различной активности. Радиационная обстановка в РО АПЛ продолжала оставаться чрезвычайно опасной. Вследствие этого выполнение работ

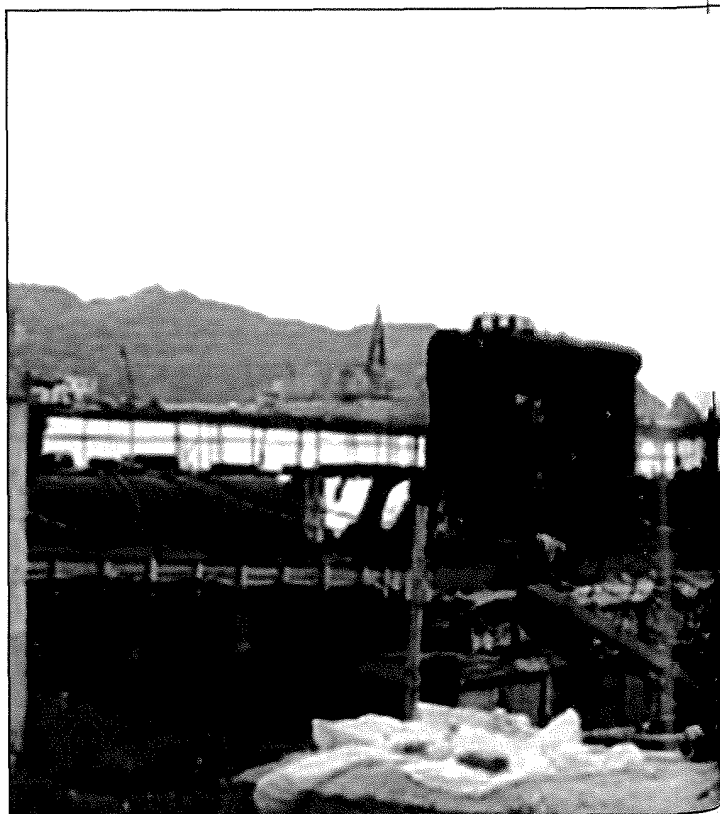
по выгрузке ядерного топлива из реактора правого борта было невозможно.

Уровни радиационного загрязнения поверхностей конструкций и оборудования данных АПЛ превышали все допустимые уровни для персонала.

Согласно радиационному обследованию аварийных АПЛ, выполненному в 2010–2011 гг. отделом ядерной и радиационной безопасности ОАО «ДВЗ «Звезда»:

- максимальные значения мощности экспозиционной дозы на АПЛ зав. № 175 составляли от 50 до 180 мЗв/ч (для персонала превышение составляло от 2,5 до 9 годовых доз), а плотности потока бета-частиц составляли до 8000 β-част/(см²·мин) (для персонала это соответствовало превышению нормы более чем в 100 раз);
- мощности экспозиционной дозы на АПЛ зав. № 610 достигали максимальных значений от 50 до 100 мЗв/ч (для персонала превышение составляло от 2,5 до 5 годовых доз), а плотности потоков бета-частиц достигали 42 000 β-част/(см²·мин) (для персонала это соответствовало превышению нормы более чем в 500 раз) [1].

Хранение аварийных АПЛ на плаву представляло опасность радиационного



загрязнения бухты Сысоева, заливов Стрелок, Уссурийский и Петр Великий, так как существовала вероятность их несанкционированного затопления и, как следствие, радиационного загрязнения указанных акваторий.

Процесс разработки проекта утилизации и его реализация

В рамках длившейся более десяти лет научно-исследовательской работы (НИР) «Факел» под руководством ОАО «НИКИЭТ имени Н.А. Доллежалея», Госкорпорации «Росатом» с привлечением ОАО «СПМБМ «Малахит», ОАО «ЦКБ МТ «Рубин», ОАО «ЦМКБ «Алмаз», ОАО «ОКБМ Африкантов» была проведена разработка проектной документации на формирование трехотсечных блоков аварийных АПЛ, проектирование и строительство транспортировочных док-понтонных и береговых укрытий. Технология выполнения работ и комплекты организационной и технологической документации (КПОД) по утилизации АПЛ проектов 675 зав. №175 и 671 зав. № 610 на начало выполнения работ по утилизации разработаны не были.

ОАО «НИПТБ «Онега» в рамках Государственного заказа по заключенным в срочном порядке договорам с ОАО «ДВЗ «Звезда» разработало КПОД для АПЛ проекта 675 зав. №175 в 2010 г., для АПЛ проекта 671 зав. № 610 в 2011 г.

Целями разработки комплектов технологической и организационной документации являлись:

- локализация последствий аварии и снижение риска радиационного загрязнения бухт и заливов Приморского края;
- исключение нахождения на плаву аварийных АПЛ до возникновения реальной опасности их затопления;
- приведение АПЛ в безопасное для населения и окружающей среды состояние.

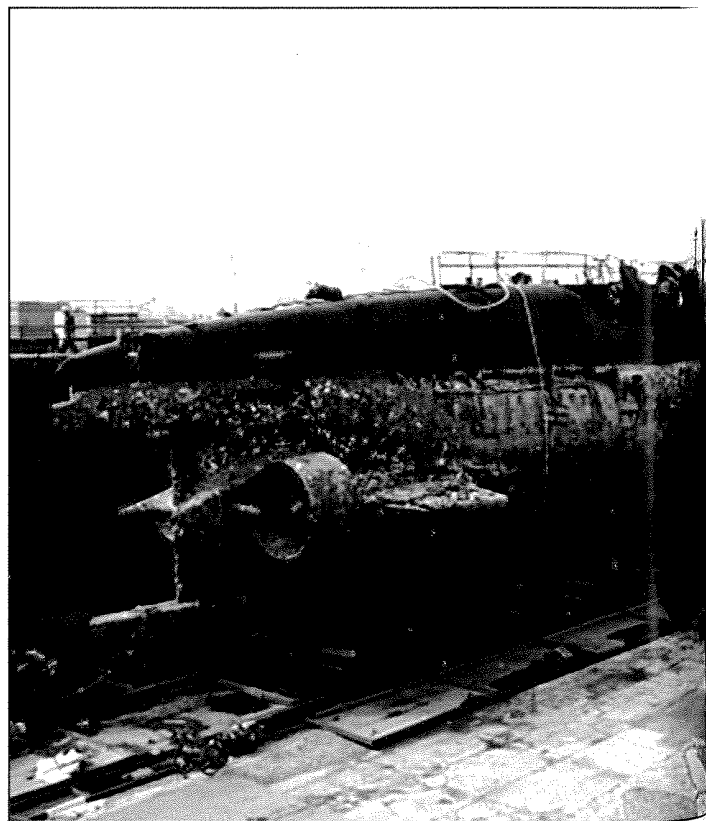
Основные задачи разработки комплектов технологической документации:

- обеспечение работ по утилизации АПЛ технологической документацией, соответствующей установленным требованиям;
- организация технологической подготовки ОАО «ДВЗ «Звезда» к утилизации АПЛ;
- создание безопасных условий работы персонала;

- обеспечение пожарной, экологической и ядерной безопасности при выполнении работ по утилизации;
- формирование трехотсечных блоков РО и их изоляция в береговых укрытиях.

Организационно-технологические схемы проектов утилизации аварийных АПЛ были разработаны с учетом обеспечения минимального радиационного воздействия на окружающую среду при выполнении работ по утилизации АПЛ и подготовке трехотсечных блоков РО к долговременному хранению. На каждую АПЛ была разработана индивидуальная схема утилизации с учетом характера повреждений и уровня радиационного загрязнения.

За основу организации процесса утилизации аварийных АПЛ был принят этапно-позиционный метод, применяемый в настоящее время в ОАО «ДВЗ «Звезда», предусматривающий выполнение отдельных объемов работ (этапов) на определенных местах-позициях, оснащенных для этого технологическим оборудованием, специальной технологической оснасткой, системами технического обеспечения, грузоподъемными кранами и механизмами, бытовыми, служебными, складскими помещениями. Однако в отличие от применяемой схемы при утилизации аварийных



АПЛ выполнение всего комплекса работ по формированию трехотсечных блоков предусматривалось на одной позиции – стапеле док-камеры. Эта особенность предложенного метода утилизации позволила существенно сократить радиационное загрязнение территории предприятия.

Основная проблема на всех этапах утилизации аварийных АПЛ – высокий уровень ионизирующего излучения и значительный объем радиоактивных отходов.

По данным протокола рабочего совещания № 111.3868ПС в РО АПЛ зав. № 610 ориентировочно находится до 108 м^3 воды с активностью от $3,7 \cdot 10^2$ до $5,55 \cdot 10^{10}$ Бк/л.

Предполагаемое количество образующихся твердых радиоактивных отходов при проведении работ по утилизации и формированию трехотсечного блока АПЛ зав. № 610 составит 820 м^3 , АПЛ зав. № 175 – 410 м^3 .

В связи с этим, для каждого этапа утилизации была разработана индивидуальная оснастка и организационно-технологическая схема работ под конкретный утилизируемый заказ.

Выгрузка и переработка жидких радиоактивных отходов (ЖРО), находящихся в РО АПЛ зав. № 610, будет выполняться по специально разработанной технологии после формирования трехотсечного блока и постановки его на площадку длительного хранения реакторных отсеков (ПДХ РО).

Принятые меры позволили минимизировать негативное воздействие радиоактивного излучения на персонал при выполнении работ по формированию трехотсечных блоков.

Для обеспечения безопасного транспортирования и длительного хранения сформированных трехотсечных блоков, были использованы специальные док-понтонеры, изготовленные в рамках НИР «Факел».

На каждом этапе утилизации организовывалась ЗСР (зона строгого режима) и осуществлялось ее зонирование по времени пребывания персонала в целях исключения переоблучения. Для предотвращения распространения радиоактивных веществ на границе ЗСР были предусмотрены санитарно-пропускные пункты и мобильные саншлюзы.

Разработанные комплекты документации были согласованы с надзорными органами РФ, прошли санитарно-эпидемиологическую экспертизу и получили положительное санитарно-эпидемиологическое заключение ФМБА России.

В настоящее время выполнены работы по формированию трехотсечных блоков РО утилизированных АПЛ зав. № 175 и 610. Блоки переведены на ПДХ РО «Устричный» ДВЦ «ДальРАО» ФГУП «РосРАО» и поставлены на твердое основание в укрытие для длительного хранения. Завершающий этап процесса утилизации аварийных АПЛ – разрезку на металлолом носовых и кормовых оконечностей – предполагается завершить в 2012 г.

Заключение

Аварийные АПЛ, выведенные из состава ВМФ России, и находившиеся на плаву в ожидании утилизации, представляли реальную экологическую опасность, так как год от года их техническое состояние ухудшалось, что грозило экологической катастрофой и радиационным загрязнением окружающей среды.

В этой связи проблема утилизации аварийных АПЛ с каждым годом приобретала все большую актуальность. Опыта промышленной утилизации аварийных АПЛ до настоящего времени не существовало, и первым шагом к решению этой проблемы была утилизация аварийных АПЛ проекта 675 зав. № 175 и проекта 671 зав. № 610, успешно осуществленная в ОАО «ДВЗ «Звезда» в строгом соответствии с организационно-технологической документацией по утилизации аварийных АПЛ, разработанной ОАО «НИПТБ «Онега».

Несмотря на объективные организационные и технические трудности, организациями ОАО «Объединенная судостроительная компания» выполнена уникальная, не имеющая мировых аналогов технологическая операция по утилизации аварийных АПЛ, обеспечена ядерная и радиационная безопасность их дальнейшего хранения, исключен риск радиационного загрязнения.

Список литературы:

1. **Нормы** радиационной безопасности (НРБ-99/2009) [Текст] : 2.6.1 Ионизирующее излучение, радиационная безопасность, СанПиН 2.6.1.2523-09 : утв. Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 07.07.09 : введ. в действие с 01.09.09. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с. – (Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы). – 1000 экз. – ISBN 978-5-7508-0805-2.

Experience of Damaged Nuclear Powered Submarines with Emergency Power Plant Dismantling

K. Kulikov, M. Ledin, S. Dobrovenko,
M. Mednikov, A. Mishnev, I. Mokeev,
OAO NIPTB ONEGA

For the last two decades the Russian Navy Shipbuilding Yards have accumulated the extensive experience in retired NPS dismantling.

The unique infrastructure for dismantling NPS with nuclear power plants of all types was created at the Yards in accordance with Concept of Comprehensive Dismantling of Nuclear Powered Submarines and Surface Ships approved by Minister of Atomic Energy of the Russian Federation on January 30, 2000.

OAO NIPTB Onega together with leading shipbuilding design bureaus of Russia has developed some basic procedures for dismantling NPS of different projects which assumed:

- NPS preparation for dismantling (reactor cool down);
- Spent Nuclear Fuel (SNF) unloading from reactors;
- reactor compartment (RC) cutting out and three-compartment unit formation;
- bow and aft ends cutting as a scrap metal.

The developed basic procedures of NPS dismantling correspond to the Russian and international safety requirements, provide radiation safety and minimize negative environmental impact.

At the same time it should be noted that damaged NPS were stored in the Pacific Fleet but SNF unloading and their subsequent dismantlement couldn't be implemented in the short term.

OAO NIPTB Onega made the first step to solve the damaged NPS dismantling issue in 1998 and submitted one option to dismantle damaged NPS in the framework of Sarcophagus research work. The following step was the development of package of design and

procedural documents (PDPD) of damaged NPS (Project 675 No. 175 and Project 671 No. 610) executed in the framework of the State Order in 2010–2011.

In time of PDPD development the technical conditions of these Submarines were as follows.

The NPS of Project 675 No. 175 was commissioned in September 1965. There were two water-water reactors of VM-A type in the nuclear power plant located along the centerline plane. The Submarine was classified as damaged because the effects of the radiation accident occurred in August 1985 weren't eliminated.

As a result of spontaneous chain reaction in the reactor of Submarine's bow that led to thermal explosion and fire in reactor compartment, the structures and hardware enclosures in the reactor were destroyed and radioactive materials were released from reactor not only in reactor compartment and the external structures of NPS, but on the adjacent area of Shiprepair Yard No.30.

The reactor of Submarine's aft wasn't damaged; there was a fresh fuel there. The reactor was filled with coolant; the conventional cover was installed and sealed. After accident the reactor was decommissioned in accordance with design documentation of steam-generating plant.

The pressure hull of NPS was not tight because the removable sheet was not welded and there was a crack on the pressure hull portside.

After accident the Submarine was towed to Pavlovskogo Bay (Primorsky Krai) and stored afloat.

The radiation situation in reactor compartment has remained extremely dangerous.

Results of radiation analysis showed that levels of radiation in reactor compartment has decreased, but remained the extremely dangerous as before. Therefore, it was impossible to carry out preparation and SNF unloading from the aft reactor in the nearest time.

The NPS of Project 671 No. 610 was commissioned in 1972. There were two steam-generating plants of OK-300 type located on the portside and starboard of the Submarine.

In December, 1985 in the process of reactor cooling at the portside there was drainage of the reactor as a result of primary coolant leakage. It has led to strong destruction (partial melting) of fuel elements of core and release of radioactive products in reactor compartment rooms. After unsuccessful attempts of accident effects elimination in 1989 the Submarine was recognized damaged, decommissioned and delivered to Pavlovskogo Bay (Primorsky Krai) for storage.

As a result of accident, the long-term maintenance unavailability, effects of adverse climate conditions and corrosion of NPS

hardware was in the extremely unsatisfactory condition. The primary circuit of the reactor of the port side was unsealed. Cores from reactor were not unloaded. The reactor of the starboard was put out of operation in January, 1986 as planned according to operational documents.

After steam generating plant cooling and reactor compartment decontamination there was a large volume of highly radioactive water containing corrosion and active components (decontaminants). Approximately there were more than hundred cubic meters of water of different radioactivity. Radiation situation in the reactor compartment remained extra-hazardous. As a result it was impossible to unload nuclear fuel from starboard. The levels of radioactive contamination of structure surfaces and equipment of these NPS exceeded permissible levels for personnel. According to radiological survey of damaged NPS carried out by Nuclear and Radiation Safety Department of Zvezda Shiprepair Yard in 2010–2011:

- maximum values of exposure dose rate of NPS No. 175 were from 50 to 180 mSv/hour (the excess for the personnel was from 2.5 to 9 annual doses/hour), and density of particles stream was to 8000 β -part/cm² min (the



Рис. 1
Аварийные АПЛ
проекта 671
зав. № 610 (справа)
и проекта 675
зав. № 175
в бухте Павловского

Fig. 1
Damaged NPS
of Project 671
No. 610 (right)
and Project 675
No. 175 (left)
in Pavlovskogo Bay

excess for the personnel was more than in 100 times);

- maximum values of exposure dose rate of NPS No. 610 were from 50 to 100 mSv/ hour (the excess for the personnel was from 2,5 to 5 annual doses /hour), and density of β particles stream was to 42000 β -part/cm² min (the excess for the personnel was more than in 500 times). [1].

Storage of damaged NPS afloat constituted a danger of radiation contamination of Sysoeva Bay, Gulfs of Strelok, Ussuriysky, and Pyotor Veliky (Peter the Great) as there was a probability of their unauthorized flooding and, as a result, radioactive contamination of the water areas.

Process of NPS dismantling project and its implementation

Within the framework of Fakel research work, which continued more than ten years, the project documents for formation of three-compartment units of damaged NPS was developed, design and construction of shipping dock pontoons and on-shore shelters was carried out under the direction of NIKIET, Rosatom State Corporations subcontracting OAO Malachite, OAO Rubin, OAO Almaz, OAO

OKBM. Procedure of works and PDPD of NPS dismantling (Nos. 175 and 610) has not been developed at beginning of NPS dismantling works.

Within the framework of State Order OAO NIPTB Onega concluded a contract with Zvezda Shiprepair Yard on expedite basis and developed PDPD for NPS No. 175 in 2010 and for NPS No. 610 in 2011.

The purposes of PDPD development were as follows:

- elimination of accident effects and decrease of risk of radiation contamination of Bays and Gulfs in Primorsky Krai;
- exclusion of damaged NPS location afloat before real danger of flooding;
- NPS storage under condition being safe for the population and environmental.

The main objectives of development of PDPD were as follows:

- provision of procedure documents corresponding to established requirements for NPS dismantling works;
- organization of technological preparation of Zvezda Shiprepair Yard for NPS dismantling;
- creation of safe operating conditions for the personnel;
- fire, environmental and nuclear safety by NPS dismantling works carrying out;
- formation of three-compartment units and their storage at on-shore shelters.

Organizational and technological plans of damaged NPS dismantling were developed with the account of minimum radiation environmental impact under NPS dismantling and preparation of three-compartment units for long-term storage.

The special plan of NPS dismantling was developed for each Submarine taking the nature of damages and radioactive contamination level into account.

The stage-positional method applied at Zvezda Shiprepair Yard was taken as a basis for NPS dismantling process that assumed the implementation of some volume of works (stages) at the special places (positions) specially equipped for this purpose: processing equipment, special technological equipment, systems of technical support, load-lifting cranes and mechanisms, accommodation spaces, service rooms and storage rooms. However, as compared with

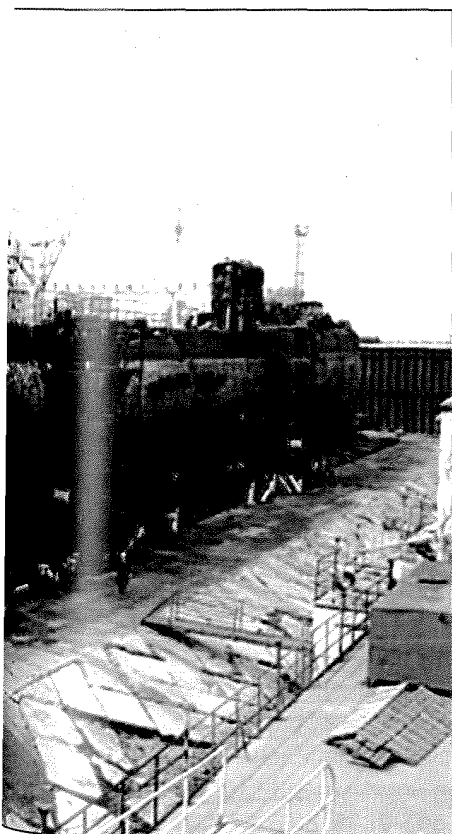


Рис. 2
АПЛ проекта 675
зав. № 175
на стапеле док-камеры
в ОАО «ДВЗ «Звезда»

Fig. 2
NPS of Project 675
No. 175 at Slipway
(Zvezda Shiprepair Yard)

the existing method of NPS dismantling the main difference of damaged NPS dismantling is the performance of all packages of work of three-compartment unit formation on one position – on building berth of dock chamber. This feature of this method of dismantlement allowed to reduce the radioactive contamination of the Yard area significantly.

The main problem of all stages of damaged NPS dismantling is the high level of radioactive contamination and large volume of radioactive waste.

Approximately there are 108 m^3 of water with activity from $3,7 \cdot 10^2 \text{ Bq/l}$ to $5,55 \cdot 10^{10} \text{ Bq/l}$ in the reactor compartment of NPS No. 610 according to the protocol of working meeting No. 111. 3868ПC.

Approximate volume of Solid Radioactive Waste (SRW) generated by NPS dismantlement and three-compartment unit formation of Submarine No. 610 will be 820 m^3 and it will be 410 m^3 for Submarine No. 175.

In this regard, the special equipment and the organizational and technological plan of works have been developed for each stage of dismantling for each Submarine being dismantled.

The unloading and treatment of Liquid Radioactive Waste (LRW) being in the reactor compartment of NPS No. 610 will be carried out in accordance with special developed procedure after three-compartment unit formation and delivery to long-term storage site.

The taken measures allowed to minimize negative radioactive impact on personnel by carrying out three-compartment unit formation works.

Special dock pontoons made within the framework of Fakel research works have been used for safe transportation and long-term storage of formed three-compartment units.

A strict control area was organized at each stage of NPS dismantling and its zoning was carried out in the period of the personnel working there to eliminate strong radiation exposure. The sanitary check points and mobile sanitary gateways have been provided for prevention of radioactive substances spreading at the border of strict control area. The developed package of documents has been coordinated with supervising authorities of the Russian Federation, has passed sanitary-

and-epidemiologic examination and got the positive sanitary-and-epidemiologic conclusion of Federal Medicobiological Agency of Russia.

The works of three-compartment unit formation of NPS No. 175 and No. 610 have been performed. Units have been delivered to Ustrichny Long-Term Storage Facility of DalRAO of RosRAO and put on hard foundation in shelter for long-term storage. The final stage of damaged NPS dismantling is the bow and aft ends cutting as a scrap metal. It is planned to complete the stage in 2012.

Conclusion

The damaged retired NPS stored afloat posed a real environmental threat because the degradation of technical conditions being observed from year to year threatened the environmental disaster and extensive radioactive environmental contamination. Accordingly the challenge of damaged NPS dismantling was growing more urgent year after year. There was no the experience of industrial dismantling of damaged NPS. Dismantlement of damaged NPS of Project 675 and Project 671 was the first step to the solution of this problem. The dismantlement was successfully carried out at Zvezda Shiprepair Yard in strict adherence to organizational and technological documents of damaged NPS dismantlement developed by OAO NIPTB Onega.

Despite objective organizational and technical difficulties, the organizations of JSC United Shipbuilding Corporation executed unique, technological operation not having world analogues of damaged NPS dismantling; nuclear and radiation safety of their further storage was provided, the risk of radiation contamination was excluded.

References

1. **Radiation** Safety Standards (HPБ-99/2009) Ionization Radiation, Radiation Safety, 2.6.1.2523-09: Senior State Sanitary Inspector of RF. 07.07.09: commissioning 01.09.09. – M.: Federal Center of Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2009. – 100 c. – (Public Health and Epidemiological Regulations) – ISBN 978-5-7508-0805-2