

ISSN 2305-414X

ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ



Научно-практический журнал

№ 3 (12) 2014

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
«МИФИ»

ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

№ 3(12) 2014

Основан в ноябре 2011 г.

Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» – 10647

Выходит 4 раза в год

ISSN 2305-414X

Главный редактор:

М.Н. Стриханов, доктор физико-математических наук, профессор

Редакционный совет:

М.Н. Стриханов (главный редактор, д-р физ.-мат. наук, проф.),
В.А. Руденко (заместитель главного редактора, д-р соц. наук, проф.),
А.М. Агапов (д-р техн. наук, проф.), В.В. Кривин (д-р техн. наук, проф.),
А.В. Паламарчук (к-т техн. наук), И.А. Бубликова (к-т техн. наук, доц.)

Редакционная коллегия:

М.Н. Стриханов (главный редактор, д-р физ.-мат. наук, проф.),
В.А. Руденко (заместитель главного редактора, д-р соц. наук, проф.),
А.М. Агапов (д-р техн. наук, проф.), А.В. Чернов (д-р техн. наук, проф.),
Ю.И. Пимшин (д-р техн. наук, проф.), Ю.П. Муха (д-р техн. наук, проф.),
В.В. Кривин (д-р техн. наук, проф.), В.И. Ратушный (д-р физ.-мат. наук, проф.),
Ю.С. Сысоев (д-р физ.-мат. наук, проф.), А.В. Паламарчук (к-т техн. наук),
В.Е. Шукшунов (д-р техн. наук, проф.), В.П. Поваров (к-т физ.-мат. наук),
С.М. Бурдаков (к-т техн. наук, доц.), А.В. Жук (к-т ист. наук, доц.)

Учредитель:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
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
ВИТИ(ф) НИЯУ МИФИ

СОДЕРЖАНИЕ

Номер 3, 2014

ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	
Анализ влияния Ростовской АЭС на содержание ^{137}Cs в природных объектах тридцатикилометровой зоны <i>И.А. Бубликова, Е.А. Березина, Е.С. Хандурина</i>	5
О радиационной безопасности демонтажных работ при выводе из эксплуатации блоков АЭС <i>А.И. Берела, М.Н. Галанова, В.А. Игнаткин</i>	11

ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ АЭС

Определение длины межповерочных интервалов измерительной техники с использованием теории массового обслуживания <i>Ю.С. Сысоев, Н.А. Симакова</i>	17
Применение микропроцессорных реле в системах управления и защит энергетического оборудования <i>С.А. Баран, Е.С. Беляева, В.С. Новикова</i>	20
Необходимость формализации понятия свариваемости в производстве изделий АЭС <i>Ю.В. Доронин, Н.Н. Подрезов</i>	26
Динамический критерий трещиностойкости конструкционных сталей при квазихрупком разрушении <i>Е.И. Колоколов</i>	31
Влияние сопротивления связи в заземляющем устройстве на повреждение электронной аппаратуры <i>О.В. Фоменко, М.А. Костенко, А.О. Новикова</i>	44
О свариваемости теплоустойчивых сталей разной выплавки, применяемых в атомной энергетике <i>Н.Н. Подрезов, Ю.В. Доронин, Л.С. Хегай</i>	49
Подбор параметров при автоматической сварке трубопроводов реакторов АЭС <i>Д.В. Могилевский, Р.В. Пирожков, Т.А. Литвинова</i>	54
Исследование структуры защитных покрытий, выполненных методом сверхзвуковой газопорошковой наплавки <i>Т.А. Литвинова, Д.В. Могилевский, Е.И. Колоколов, А.А. Мецлер, Н.Н. Подрезов</i>	61
Применение непрерывного вейвлет преобразования для обработки вибрационного сигнала <i>И.И. Лебедев, В.И. Лебедев, А.В. Чернов</i>	65
Оптимизация технологии пайки экранирующих перегородок для печатных плат <i>Н.В. Ермолаева, А.Н. Соромотин</i>	69
Использование устройств координатного слежения TRACKIR для измерения координат электрода в мультимедийном тренажере сварщика РДС <i>В.В. Кривин, И.О. Ишигов, В.А. Толстов, А.А. Тямалов, Н.А. Симакова</i>	73

ЭКСПЛУАТАЦИЯ АЭС

Управление аэродинамической тенью над брызгальными бассейнами АЭС. Гидродинамическое моделирование <i>В.Г. Бекетов, О.Л. Кольченко, Г.В. Домрина, Ю.М. Матевосян</i>	78
Основные принципы электронимпульсного измерения влагосодержания турбинных масел агрегатов АЭС <i>К.С. Сидоров, В.В. Шапошников</i>	85
Натурные наблюдения на этапе строительства защитной оболочки энергоблока №3 Ростовской АЭС <i>В.Н. Медведев, Александр С. Киселев, Алексей С. Киселев, А.Н. Ульянов, В.Ф. Стрижов, Е.А. Потанов</i>	89

СОЦИАЛЬНО-ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ АЭС

К истории понятия «культура безопасности» <i>В.А. Руденко</i>	100
Формирование культуры безопасности студентов-атомщиков через выявление профессиональных ожиданий <i>Н.И. Лобковская, А.В. Железнякова</i>	105
Особенности математической подготовки студентов, ориентированных на работу в ядерно-энергетическом комплексе <i>Н.П. Василенко, Н.И. Чабанова</i>	114

Памяти Константинова Петра Анатольевича..... 119

Авторский указатель номера 3, 2014..... 120

Сдано в набор 05.09.2014 г.
Усл. печ. л.13,64
Тираж 300 экз.

Подписано к печати 15.09.2014 г.
Уч.-изд. л.9,42

Формат 84 x 108/16
Печ. л. 8,82

CONTENTS

Number 3, 2014

THE PROBLEMS OF NUCLEAR, RADIATION AND ECOLOGICAL SAFETY

Research of the Rostov NPP Influence on the ¹³⁷ Cs Contents in Environmental Objects <i>I.A. Bublikova, E.A. Berezina, E.S. Khandurina</i>	5
Radiation Security of Dismantling Works during the Mothballing of NPP's Blocks <i>A.I. Berela, M.N. Galanova, V.A. Ignatkin</i>	11

SEARCH, PROJECTING, CONSTRUCTION AND ASSEMBLY OF NPP MANUFACTURING EQUIPMENT

Determination of Calibration Intervals Length of Measuring Devices Using Queuing Theory <i>Yu.S. Sysyov, N.A. Simakova</i>	17
Application of Microprocessor-based Relay in Systems of Control and Protection of Power Equipment <i>S.A. Baran, E.S. Belyaeva, V.S. Novikova</i>	20
The Necessity of Formalization of Weldability Conception in the NPP Goods Manufacturing <i>Y.V. Doronin, N.N. Podrezov</i>	26
Dynamic Criterion of Crack Resistance of Structural Steels at Quasi-fragile Destruction <i>E.I. Kolokolov</i>	31
Influence of Communication Resistance on Damage of the Electronic Equipment in the Grounding Device <i>O.V. Fomenko, M.A. Kostenko, A.O. Novikova</i>	44
About Weldability of Heat-Resistant Steels of Different Smelting Used in the Nuclear Power Industry <i>N.N. Podrezov, Y.V. Doronin, L.S. Hegaj</i>	49
Selection of Parameters for Automatic Welding of the Nuclear Reactors Pipelines <i>D.V. Mogilevsky, R.V. Pirozhkov, T.A. Litvinova</i>	54
Research of Protective Coatings Structure Made by the Method of a Supersonic Gas-Powder Overlaying Welding <i>T.A. Litvinova, D.V. Mogilevsky, E.I. Kolokolov, A.A. Metzler, N.N. Podrezov</i>	61
Continuous Wavelet-Transform Use for Vibration Signal Processing <i>I.I. Lebedev, V.I. Lebedev, A.V. Chernov</i>	65
Optimization of the Shielding Walls Soldering Technology for Printed-Circuit Boards <i>N.V. Ermolaeva, A.N. Soromotin</i>	69
The Use Of The Coordinate Tracking Device TRACKIR For Measurement Of Electrode Coordinates In The Multimedia Training System For Manual Arc Welding <i>V.V. Krivin, I.O. Ishigov, A.A. Tyamalov, V.A. Tolstov, N.A. Simakova</i>	73

NPP EXPLOITATION

Control of the Aerodynamic Shadow over Sprinkling Pools of the NPP. Hydroaerodynamic Modeling <i>V.G. Bekhetov, O.L. Kolchenko, G.V. Domrima, Yu.M. Matevosjan</i>	78
Basic Principles of Electropulse Moisture Measurement Turbine Oil of NPP Units <i>K.S. Sidorov, V.V. Shaposhnicov</i>	85
Full-scale Observations During Containment Erection of Rostov NPP Unit №3 <i>V.N. Medvedev, Aleksander S. Kiselev, Aleksey S. Kiselev, A.N. Ul'yanov, V.F. Strizhov, E.A. Potapov</i>	89

SOCIO-LEGAL ASPECTS OF DEVELOPMENT OF NPP TERRITORIES

The History of "Culture of Safety" Concept <i>V.A. Roudenko</i>	100
Culture of Safety Formation of Nuclear University Students by Means of Professional Expectations Identification <i>N.I. Lobkovskaya, A.V. Zheleznyakova</i>	115
Mathematical Training Features of the Students Focused on Work in the Nuclear Power Complex <i>N.P. Vasilenko, N.I. Chabanova</i>	114

In memory of Pyotr Anatolyevich Konstantinov	119
--	-----

Author Index of vol. 3, 2014	120
------------------------------------	-----

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК 621.039

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РОСТОВСКОЙ АЭС НА СОДЕРЖАНИЕ ^{137}Cs
В ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТАХ ТРИДЦАТИКИЛОМЕТРОВОЙ ЗОНЫ**

© 2014 г. И.А. Бубликова, Е.А. Березина, Е.С. Хандурина

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

Выполнен анализ динамики содержания ^{137}Cs в объектах окружающей среды, начиная от поступления его в атмосферу с газоаэрозольными выбросами Ростовской АЭС, до поступления в организм населения с продуктами питания местного производства. В результате был сделан вывод об отсутствии вклада атомной станции за весь период её эксплуатации в миграцию ^{137}Cs в пределах тридцатикилометровой зоны. Тренды анализируемых параметров свидетельствуют об отсутствии процессов накопления ^{137}Cs в среде и о безопасности населения по отношению к этому радиационному фактору.

Ключевые слова: газоаэрозольные выбросы, АЭС, ^{137}Cs , динамика содержания, объекты окружающей среды.

Поступила в редакцию 27.08.2014 г.

При эксплуатации атомных станций актуальной является оценка миграции в объектах окружающей среды радионуклидов, содержащихся в их газоаэрозольных выбросах. Один из таких радионуклидов, ^{137}Cs , вызывает особый интерес, поскольку имеет период полураспада 30 лет (то есть относится к категории долгоживущих), может активно мигрировать в окружающей среде и является одним из основных источников техногенного радиоактивного загрязнения.

Ростовская атомная электростанция (РоАЭС) эксплуатируется с 2001 года. В настоящее время действует два энергоблока, активно ведется строительство еще двух блоков. Потенциальные угрозы от РоАЭС на повышение радиационного фона вызывают большую обеспокоенность местного населения. Всего в тридцатикилометровой зоне АЭС проживает население общей численностью 215 тыс. человек, из них 170 тысяч, то есть 79,1 % общего населения рассматриваемой территории [1], – население г. Волгодонска, расположенного в 13,5 км от атомной станции.

В основном тридцати километровая зона АЭС представлена сельскохозяйственными угодьями. При этом значительную долю рациона населения составляют продукты местного производства, содержание радионуклидов в которых зависит от их присутствия в почве. Поэтому содержание в окружающей среде ^{137}Cs , поступающего от АЭС, потенциально может значительно повлиять на дозовые нагрузки населения за счет внешнего и внутреннего облучения.

В связи с этим, была поставлена следующая цель: выполнить исследование данных контроля содержания ^{137}Cs в объектах окружающей среды для определения уровня влияния Ростовской АЭС на экологическое благополучие населения территории размещения РоАЭС по этому радиационному фактору.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- 1) Выполнить анализ динамики содержания ^{137}Cs в газоаэрозольных выбросах

Ростовской АЭС с учетом допустимых выбросов.

2) Исследовать вклад РоАЭС в содержание ^{137}Cs в объектах окружающей среды.

3) Проанализировать уровень экологической опасности, связанный с содержанием цезия в тридцатикилометровой зоне Ростовской АЭС.

Для выполнения работы были использованы результаты радиационного контроля окружающей среды (РКОС) в районе размещения Ростовской АЭС, полученные участком РКОС Отдела радиационной безопасности атомной станции. Для анализа данных использовались инструменты математической статистики и регрессионного анализа *MS Excel*.

При анализе динамики содержания ^{137}Cs в газоаэрозольных выбросах РоАЭС были рассмотрены результаты контроля выбросов РоАЭС в период с 2001 по 2012 годы. Средняя величина выбросов ^{137}Cs за рассматриваемый период составила 1,18 МБк/год при допустимом выбросе – 2000 МБк/год в соответствии с СП АС-03. Для наглядности на рисунке 1 представлено поступление ^{137}Cs от Ростовской АЭС в атмосферу в сравнении с разрешенным уровнем.

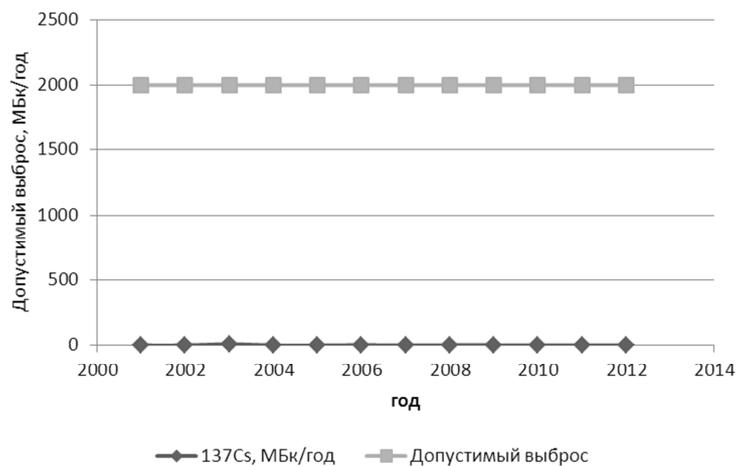


Рис. 1. – Динамика выбросов ^{137}Cs Ростовской АЭС, МБк/год

Различия в уровне допустимых и фактических выбросов настолько велики, что при таком отображении данных ненулевые поступления ^{137}Cs в атмосферу практически совпадают с осью абсцисс. Поэтому на рисунке 2 динамика годовых выбросов ^{137}Cs представлена в процентах от допустимых значений за тот же период. Видно, что за весь срок эксплуатации Ростовской АЭС выброс ^{137}Cs не превысил 0,5% от разрешенного уровня.

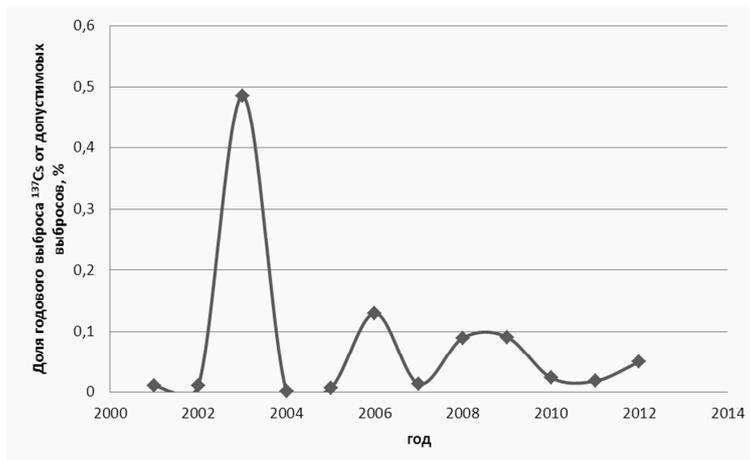


Рис. 2. – Годовые выбросы Ростовской АЭС ^{137}Cs , % от допустимых значений

Уровень содержания техногенных радионуклидов, в нашем случае ^{137}Cs , в атмосферном воздухе района расположения Ростовской АЭС формируется процессами переноса глобально рассеянных радионуклидов (продукты ядерных испытаний и аварии на Чернобыльской АЭС), а также поступление в атмосферу радионуклидов с газоаэрозольными выбросами самой станции.

Контроль содержания радионуклидов в приземном слое атмосферы и плотности выпадений в зоне наблюдения Ростовской АЭС осуществляются участком РКЭС станции. Отбор аэрозолей из воздуха проводится на десяти стационарных постах, оснащенных фильтровентиляционными установками [2].

За период наблюдений 2001-2012 гг. уровень содержания радионуклидов в приземном воздухе и в атмосферных выпадениях в пунктах контроля зоны наблюдения Ростовской АЭС находился ниже минимально детектируемой активности. Влияние газозольных выбросов Ростовской АЭС на объемную активность радионуклидов в приземном слое атмосферного воздуха и в атмосферных выпадениях не выявлено.

Поступая из постоянного источника, которым является РоАЭС, ^{137}Cs постепенно накапливаясь, может стать фактором негативного влияния на безопасность населения. Из атмосферы часть ^{137}Cs поступает в поверхностный слой почвы, поэтому далее рассмотрим динамику его содержания в почвах тридцатикилометровой зоны.

Для анализа влияния РоАЭС на присутствие ^{137}Cs в поверхностном слое почвы были использованы данные за период с 2006 по 2013 гг. для 6 пробных площадок, расположенных на разном расстоянии от атомной станции и по-разному ориентированных от АЭС по сторонам света (рис. 3). Характеристики их местоположения представлены в таблице 1.



Рис. 3. – Схема расположения пробных площадок в регионе Ростовской АЭС

Таблица 1. – Характеристики местоположения пробных площадок

№ п/п	Место отбора пробы	Расстояние от РоАЭС, км	Ориентация по сторонам света	Номер позиции на схеме
1.	Промплощадка АЭС	0	–	1
2.	ст. Жуковская	9,5	Ю	4
3.	х. Харсеев	5	ВСВ	2
4.	с. Дубовское	35	СВ	3
5.	ст. Старосолоновская	16	ЮЗ	6
6.	ст. Подгоренская	4,5	ЮВ	5

Прежде всего, был выполнен анализ трендов содержания ^{137}Cs на указанных территориях, представленный на рисунке 4 для определения возможного повышения содержания радионуклида.

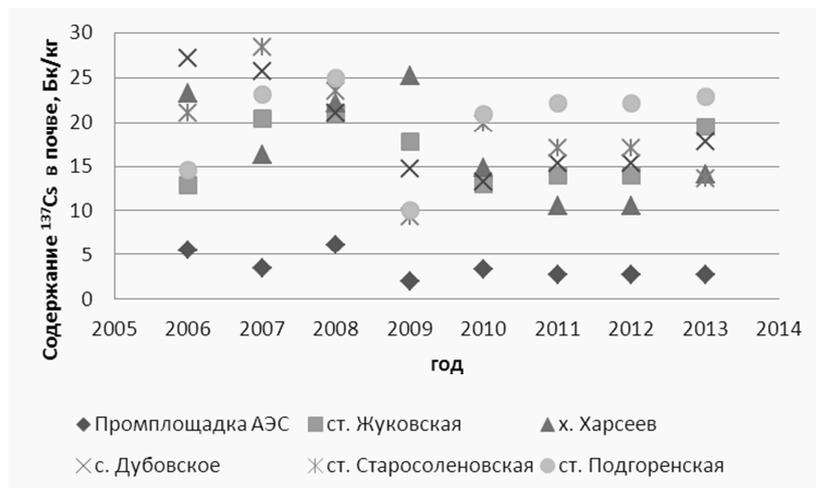


Рис. 4. – Динамика содержания ^{137}Cs на пробных площадках

Анализ полученных результатов моделирования показывает, что информационного значения уравнения трендов не имеют, поскольку коэффициенты детерминации (R^2) имеют маленькие величины. Только для х. Харсеев и с. Дубовское R^2 близок к 0,5, но для этих площадок коэффициент перед переменной x , отражающий угол наклона аппроксимирующей прямой к оси абсцисс, отрицательный. Это свидетельствует о том, что накоплений ^{137}Cs на указанных территориях не наблюдается. Для других мест отбора проб соответствующие коэффициенты имеют как положительное, так и отрицательное значение, но как указывалось выше, это не значимо. Таким образом, предположение, что в процессе эксплуатации Ростовской АЭС происходит накопление ^{137}Cs в почве, не нашло своего подтверждения.

Был проведен анализ возможного влияния выбросов ^{137}Cs Ростовской АЭС в атмосферу на его содержание в поверхностном слое почвы. Для этого были получены зависимости присутствия рассматриваемого изотопа в почве от выброса РoАЭС за предшествующий год (рис. 5).

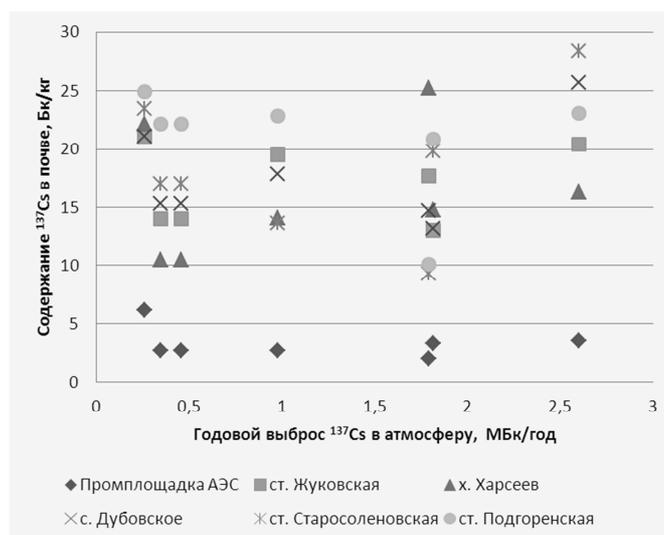


Рис. 5. – Зависимость содержание ^{137}Cs в почве пробных площадок (Бк/кг) от его выбросов в течение предыдущего года (МБк/год)

Полученные результаты с учетом низких значений R^2 , свидетельствуют об отсутствии влияния поступления ^{137}Cs с газоаэрозольными выбросами РoАЭС в атмосферу в течение года на последующее содержание его в поверхностном слое почвы рассматриваемых пробных площадок. Таким образом, выявить вклад Ростовской АЭС в загрязнение изотопом цезия почвы не представляется возможным.

Поскольку организмы обладают способностью накапливать различные загрязнения до концентраций, превышающих соответствующие значения в абиотической среде, и если этот эффект будет наблюдаться для территории размещения Ростовской АЭС, то несмотря на минимальное содержание рассматриваемого радионуклида в воздухе и почве, его накопление в растениях и животных может достичь опасных значений для конечного потребителя в трофической цепи – человека. Поэтому необходимо выполнить анализ содержания ^{137}Cs в продуктах питания, выращенных в зоне потенциального негативного влияния Ростовской АЭС.

Значительную долю рациона населения тридцатикилометровой зоны Ростовской АЭС составляют продукты местного производства. Контроль содержания радионуклидов в продуктах питания местного производства осуществляется участком РКOC ОРБ РoАЭС. Пробы овощей и фруктов отбирались в коллективных садах г. Волгодонска «Мирный атом», «Мичуринец» и «Восход» перед уборкой урожая.

Выполнить анализ динамики содержания ^{137}Cs в продуктах питания оказалось невозможно, так как присутствие ^{137}Cs оказалось менее уровня минимальной детектируемой активности используемых методов. Поэтому рассматривался такой показатель как суммарная β -активность продуктов в период 2002 – 2011 гг. Анализ динамики суммарной β -активности в продуктах питания местного производства показал, что рассматриваемый параметр не превышал соответствующие значения, полученные до пуска РoАЭС в эксплуатацию (нулевой фон), однако можно проследить значительную близость к значениям нулевого фона. Незначительные превышения нулевого фона наблюдались только по ягодам в 2007г. По всем продуктам тенденции на увеличение суммарной β -активности не наблюдалась.

В природной среде присутствует и другой β -излучатель, ^{40}K . Для оценки вклада данного радионуклида в суммарное значение β -активности построена её зависимость от содержания ^{40}K и ^{137}Cs в поверхностном слое почвы (рис. 6), которая позволяет сделать вывод, что суммарная β -активность прямо пропорциональна содержанию ^{40}K :

$$y = 0,8192x + 20,743; R^2 = 0,8104.$$

При этом от изменения содержания в почве ^{137}Cs суммарная β – активность почв практически не зависит: $y = 0,0213x + 4,412; R^2 = 0,0455$.

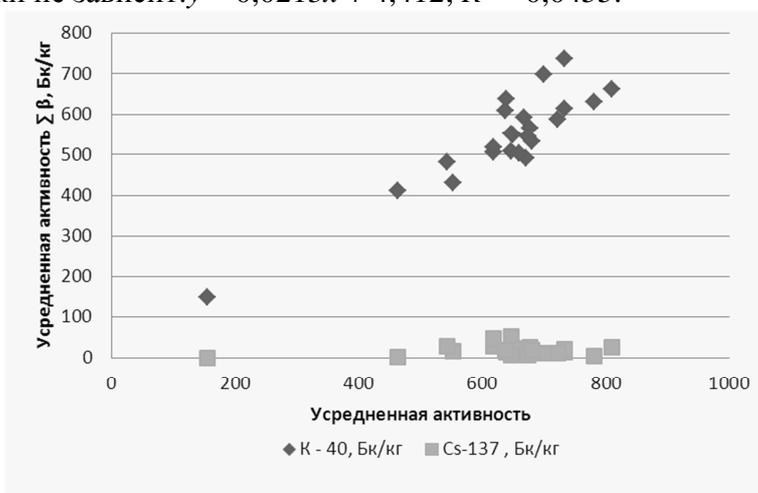


Рис. 6. – Зависимость β -активности поверхностного слоя почвы от содержания ^{40}K и ^{137}Cs

Таким образом, в ходе выполнения работы были получены следующие результаты:

- показано, что за весь срок эксплуатации Ростовской АЭС годовой выброс ^{137}Cs не превысил 0,5% от допустимого уровня;
- предположение, что в процессе эксплуатации Ростовской АЭС происходит накопление ^{137}Cs в почве, не нашло своего подтверждения;
- не выявлен вклад Ростовской АЭС в загрязнение изотопом цезия почвы;
- показатели суммарной β -активности в продуктах питания местного производства в анализируемый период не превышали соответствующие значения нулевого фона;
- суммарная β -активность почв прямо пропорциональна содержанию природного ^{40}K и практически не зависит от присутствия в пробе ^{137}Cs .

В целом, радиационный фон в окружающей среде территории размещения Ростовской АЭС в рассматриваемый период находился на уровне «нулевого» фона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ростовская АЭС. Оценка воздействия на окружающую среду эксплуатации энергоблока №3. R.06198.9.0.61. [Текст], в 10-ти томах. Том 6 Социально-экономическая характеристика района размещения. – Нижний Новгород: ОАО «НИАЭП», 2012.
2. Малаева, Т.Ю. Радиационный контроль района размещения Ростовской АЭС [Текст] / Т. Ю. Малаева // Глобальная ядерная безопасность. – 2012. – №4. – С. 7–13.

Research of the Rostov NPP Influence on the ^{137}Cs Contents in Environmental Objects

I.A. Bublikova*, E.A. Berezina**, E.S. Khandurina***

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the Branch
of National Research Nuclear University «MEPhI»,
73/94 Lenin St., Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360
*e-mail: IABublikova@mephi.ru ; ** e-mail: berezina1505@gmail.com ;
*** e-mail: elena-khandurina@rambler.ru*

Abstract – The analysis of dynamics of the ^{137}Cs contents in environmental objects is made, from its entering with gas and aerosol emissions of the Rostov nuclear power plant in the atmosphere till its penetrating into human organism with food of local production. The conclusion about lack of the NPP contribution in ^{137}Cs migration within the thirty-kilometer zone was drawn. Trends of analyzed parameters show lack of processes of ^{137}Cs accumulation in the environment and safety of the population towards this radiation factor.

Keywords: gas and aerosol emissions, NPP, ^{137}Cs , dynamics of contents, environmental objects.

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК 621.039.5 : 621.311.25

**О РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ДЕМОНТАЖНЫХ РАБОТ ПРИ ВЫВОДЕ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ
БЛОКОВ АЭС**

© 2014 г. А.И. Берела, М.Н. Галанова, В.А. Игнаткин

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

В работе освещены проблемы обеспечения радиационной безопасности при выполнении монтажных работ, связанных с выводом из эксплуатации блоков атомных электрических станций (АЭС). Показано, что возникновение проблемы обусловлено физической сущностью процессов, протекающих в активной зоне при работе ядерных реакторов, а также явлениями переноса теплоносителем через активную зону и активацией продуктов коррозии с последующим их отложением на рабочих поверхностях оборудования и трубопроводов.

Ключевые слова: вывод блоков АЭС из эксплуатации, радиационная безопасность, нейтронное облучение, наведенная радиоактивность, поверхностная радиоактивность, монтажные работы, проникающая способность, ионизирующая способность, защитные экраны.

Поступила в редакцию 09.06.2014 г.

Вывод блоков АЭС из эксплуатации необходимо рассматривать, как новое и наукоемкое направление в атомной энергетике. Его сущность состоит в проведении после окончательного останова блока удаления ядерного топлива из реактора и приреакторных бассейнов выдержки комплекса мероприятий, в результате которых исключается возможность использования блока в качестве энергоисточника.

К настоящему времени в мире остановлены и находятся в разных стадиях вывода из эксплуатации 138 энергоблоков АЭС, не считая экспериментальных, промышленных, исследовательских и транспортных реакторов. В России прекращена эксплуатация четырех блоков первой очереди Белоярской АЭС и Нововоронежской АЭС. В этом и последующем десятилетии в связи с выработкой уже продленного срока службы предстоит остановить эксплуатацию еще 28 блоков АЭС, построенных в советское время. Объем предстоящих в ближайшем будущем работ по демонтажу оборудования остановленных типовых блоков АЭС (уранграфитовых и корпусных) составит 600000 – 650000 тонн [1].

Технологические процессы демонтажа оборудования должны соответствовать требованиям радиационной безопасности. Эти требования опираются на главные принципы обеспечения радиационной безопасности, к которым относят:

- принцип нормирования – недопущение превышения лимитов доз индивидуального облучения населения от всех источников облучения;
- принцип обоснования – запрет на все виды деятельности, связанные с использованием источников облучения, полученная польза от которых для человека и общества не превосходит риск возможного вреда;
- принцип оптимизации – ALARA(As Low As Reasonably Achievable – так низко, насколько это возможно) – поддержание на максимально низком уровне

индивидуальных доз облучения, учитывая экономические и социальные факторы, а также число облучаемых лиц при использовании любого источника облучения [2].

ВОЗНИКНОВЕНИЕ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СИСТЕМ, ОБОРУДОВАНИЯ И ПОМЕЩЕНИЙ БЛОКА

Природа возникновения радиационно-опасной обстановки дает базовые понятия обеспечения радиационной безопасности демонтажных работ.

Материалы ядерных реакторов десятки лет подвергаются сильному облучению нейтронами. При облучении частицами стабильные ядра элементов могут превращаться в радиоактивные и, таким образом, приобретать наведенную радиоактивность [3]. Поэтому интенсивность наведенной радиоактивности материалов реактора крайне высока, что создает проблемы не только с его демонтажем и утилизацией при выводе блока АЭС из эксплуатации, но и с демонтажем оборудования и трубопроводов первого контура ядерной энергетической установки, загрязняемыми как поверхностными коррозионными отложениями этих материалов, так и активированными в активной зоне реактора продуктами коррозии, перемещаемыми теплоносителем.

В реакторе РБМК наведенную радиоактивность получают блоки графитовой кладки (нуклид С-14), масса этих блоков около тысячи тонн.

ВИДЫ И БИОЛОГИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Знание свойств и характеристик ионизирующих излучений позволяет принимать правильные технические и организационные решения для радиационно-безопасного производства демонтажных работ.

К числу наиболее опасных излучений относят альфа-, бета- и гамма-излучения. *Альфа-излучение* – поток ядер атома гелия, распространяющихся с начальной скоростью около 20 000 км/с. *Бета-излучение* представляет собой поток электронов, которые могут распространяться с различными скоростями, в зависимости от энергии излучения. *Гамма-излучение* представляет собой электромагнитное излучение с длиной волны менее $2 \cdot 10^{-10}$ м, испускаемое ядрами атомов при радиоактивных превращениях. Оно испускается отдельными квантами, распространяясь со скоростью света [4].

Ионизирующая способность альфа-излучения огромна, но проникающая способность незначительна. Надежной защитой от альфа-частиц является одежда человека или лист плотной бумаги. Бета-частицы имеют меньшую ионизирующую, но большую проникающую способность, чем ядра гелия. Одежда поглощает до 50 % бета-частиц. Ионизирующая способность гамма-лучей значительно меньше, чем у бета- и альфа-частиц. Однако они имеют наибольшую проникающую способность и в воздухе может распространяться на сотни метров [5].

Биологическое действие ионизирующих излучений сводится к изменению структуры или разрушению различных органических веществ. При воздействии на организм оно приводит к ионизации молекул воды и молекул различных белковых веществ. При этом в тканях образуются свободные радикалы, обладающие большой токсичностью. Смертельной для человека является доза гамма- или рентгеновских лучей, составляющая 500...700 рентген. Облучение может стать причиной выпадения волос, ломкости ногтей, нарушению деятельности желудочно-кишечного тракта, появлению катаракты, изменению в наследственных функциях, острой или хронической лучевой болезни [6].

ЗАЩИТА ОТ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Защита от альфа-излучения достигается применением экранов из обычного или органического стекла толщиной несколько миллиметров. Для защиты от бета-излучения экраны изготавливают из алюминия или пластмассы (органическое стекло). От гамма- и рентгеновского излучения эффективно защищают свинец, сталь, вольфрамовые сплавы, т.е. материалы с высокой плотностью. Для защиты от нейтронов применяются комбинации материалов, обладающих высокой замедляющей (вода, парафин, полиэтилен, графит, бетон), а также высокой поглощающей (бор, кадмий, железо и др.) способностью. Защитные экраны от гамма-лучей и нейтронов представляют собой сочетание с водой или графитом материалов, имеющих большую плотность, например, свинец – вода, железо – вода или железо – графит. [6]

Из принципиальной зависимости интенсивности гамма-излучения от глубины его проникновения в вещество (рис.1) следует, что гамма-излучение не может быть полностью поглощено. Можно лишь в определенной степени ослабить его интенсивность.

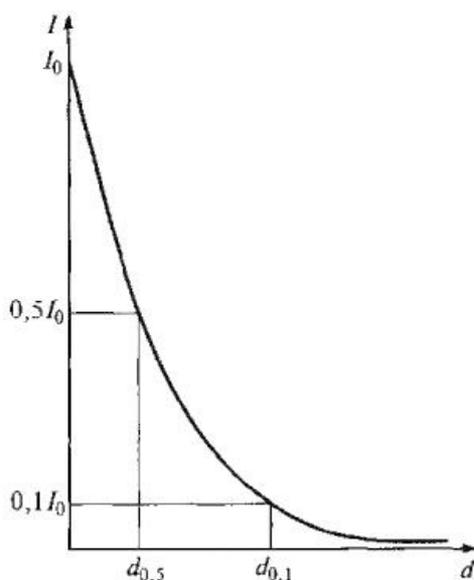


Рис. 1. Зависимость интенсивности гамма-излучения от глубины его проникновения в вещество

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ДЕМОНТАЖНЫХ РАБОТ

Подготовка нормативной базы атомной энергетики к выводу из эксплуатации блоков АЭС нашло отражение, прежде всего, в разработке документов по обеспечению радиационной безопасности выполняемых при этом работ:

- РД ЭО 0013-93. Основные положения по снятию с эксплуатации блоков АС, отработавших проектный срок службы;
- НП 012-99. Правила обеспечения безопасности при выводе из эксплуатации блока атомной станции;
- РБ-013-2000. Требования к содержанию программы вывода из эксплуатации блока атомной станции;
- СП 2.6.1.2205-07. Обеспечение радиационной безопасности при выводе из эксплуатации блока атомной станции. Санитарные правила СП ВЭ БАС-07;
- Руководство по безопасности при использовании атомной энергии «Структура и содержание отчета по результатам комплексного инженерного и

радиационного обследования для вывода из эксплуатации блока атомной станции».

Документы носят обязательный характер для проектирования работ по демонтажу радиоактивного оборудования блоков – одной из важнейших составляющих демонтажных работ.

Соответствующий подход к проектированию и выполнению демонтажных работ в части разработки технологических процессов и средств их технологического оснащения представлен авторами, занимающимися данной проблематикой в отношении остановленных блоков первой очереди Белоярской АЭС [1, 7–10].

С целью минимизации дозовых нагрузок демонтажных работ при проектировании технологических процессов демонтажа оборудования предложена проблемно-ориентированная система с разработкой структурированного списка условий безопасности и классификацией помещений блоков по уровню радиационного фона [1, 7, 8], задействованных в выборе технологических и технических решений.

Необходим анализ и представление радиационных параметров среды действия в системе проектирования и реализации демонтажных технологий, при этом основным источником соответствующих данных должно стать правильно спланированное и выполненное комплексное инженерное обследование помещений и оборудования, остановленного для вывода из эксплуатации блока [1].

Применяемые средства технологического оснащения, как специально разрабатываемые, так и промышленного изготовления должны отвечать радиационным условиям ведения работ, в том числе иметь конструкционные элементы радиационной защиты и, при необходимости, дистанционное управление [9, 10].

В нашем исследовании представлен набор возможных процедур обеспечения радиационной безопасности, определяемых организацией, способами и методами ведения демонтажных работ [11]. Процедуры разработаны в сотрудничестве технологов и специалистов по радиационной безопасности, они отвечают понятиям культуры безопасности и требованиям нормативной документации по радиационной безопасности, включая инструкцию по РБ, действующую на Белоярской АЭС.

В набор включены, например, такие процедуры и решения, как:

- проведение радиационного мониторинга рабочих зон;
- планирование дозозатрат;
- применение защитных барьеров и экранов;
- предварительная и сопутствующая работам дезактивация помещений и оборудования;
- местный отсос и фильтрация вторичных пыле-, газообразных РАО;
- выбор последовательности ведения работ по блоку, помещению, оборудованию;
- механизация, автоматизация и дистанционное управление демонтажными работами.

Принятие предпочтительных технологических решений в ходе проектирования демонтажных работ может быть обосновано [7] путем минимизации интегрального критерия, построенного путем аддитивного преобразования частных критериев – технологической себестоимости и величины экономического ущерба, вызванной облучением в коллективной эффективной дозе 1 чел•Зв, отнесенными к показателям произведенной работы, например, массе демонтированного оборудования.

Кроме того, актуальным моментом является подготовка специалистов в области демонтажных работ при выводе из эксплуатации блоков АЭС [12, 13]. Здесь очень важен имеющийся опыт проектирования и производства таких работ, хотя и носящий в настоящее время частный характер, но достаточно обоснованный, в том числе с позиций обеспечения радиационной безопасности демонтажных работ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предстоящие масштабные монтажные работы при выводе блоков АЭС из эксплуатации потребуют значительного внимания в части обеспечения их радиационной безопасности. Привлекаемые к этим работам специалисты должны получить необходимые базовые знания в вузовской подготовке, обладать необходимой культурой безопасности, формируемой при овладении специальностью и постоянно развиваемой в профессиональной деятельности. Значительные возможности в обеспечении РБ представляют организационные, технические и технологические решения, принимаемые при разработке монтажных технологий и реализуемые в ходе монтажных работ. Эти решения обосновываются действующей нормативной документацией и инструкциями по РБ и опираются на профессиональные знания и компетенции специалистов, участвующих в проектировании и реализации монтажных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Берела, А.И. и др.* Анализ и представление среды действия в системе проектирования технологии монтажа оборудования при выводе из эксплуатации блока АЭС [Текст] / А.И. Берела, Б.К. Былкин, С.А. Томилин, А.Г. Федотов // Глобальная ядерная безопасность. – 2014. – №1 (10). – С. 25–31.
2. Федеральный закон от 09.01.1996 N 3-ФЗ (ред. от 19.07.2011) «О радиационной безопасности населения» [Электронный ресурс]. – М., 1996. – Ст. 3. : Принципы обеспечения радиационной безопасности. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_117494. – 15.02.2014.
3. *Кузнецов, Р.А.* Активационный анализ [Текст] / науч.изд. / Р.А. Кузнецов. – 2-е изд., перераб. и доп. –М.: Атомиздат, 1974. – 343 с.
4. *Миргородский, В. Р.* Безопасность жизнедеятельности [Электронный ресурс] / В.Р. Миргородский. – Режим доступа: <http://www.mrkvant.com.ua/radiation/4/> – 15.02.2014.
5. *Давыдов, М. Г.* Биологическое действие ионизирующих излучений [Электронный ресурс] : учеб. пособие / М. Г. Давыдов. – Ростов-на-Дону, 2007. – Режим доступа: <http://phys.rsu.ru/web/students/RadSec/bio.pdf>. – 23.02.2014.
6. Экология и безопасность жизнедеятельности [Текст] : учеб. пособие для вузов / Д.А. Кривошеин [и др.] ; под ред. Л. А. Муравья. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2000. – 447 с.
7. *Берела, А.И. и др.* Выбор значений параметров технологического процесса монтажа оборудования блоков АЭС, выводимых из эксплуатации [Текст] / А.И. Берела, Б.К. Былкин, С.А. Томилин, А.Г. Федотов // Глобальная ядерная безопасность. – 2013. – №3(8). – С. 60–64.
8. *Берела, А.И. и др.* Разработка технологических процессов монтажа оборудования при выводе из эксплуатации атомных станций [Электронный ресурс] / А.И. Берела, А.Г. Федотов, С.А. Томилин, Б.К. Былкин // Инженерный вестник Дона. – 2013. – Т. 25 – №2(25). – С. 64. – Режим доступа: URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1734> – 25.04.2014.
9. *Берела, А.И. и др.* Технологическое оборудование, применяемое в работах по выводу из эксплуатации блоков АЭС [Текст] / А.И. Берела, А.Г. Федотов, С.А. Томилин // Глобальная ядерная безопасность. – 2013. – №1 (6). – С. 58–66.
10. *Берела, А.И. и др.* Вывод из эксплуатации блоков АЭС. Монтажные технологии [Электронный ресурс] / А.И. Берела, А.Г. Федотов, С.А. Томилин // Безопасность ядерной энергетики : тез. докл. IX Междунар. науч.-практ. конф., 23-24 мая 2013 г. / ВИТИ НИЯУ МИФИ [и др.]. – Волгоград: [Б.и.], 2013. – 1 электрон. опт. диск [CD].
11. *Берела, А.И. и др.* Адаптация технологии монтажа оборудования выводимых из эксплуатации блоков АЭС к требованиям радиационной безопасности [Электронный ресурс] / А.И. Берела, Б.К. Былкин, С.А. Томилин, А.Г. Федотов // Инженерный вестник Дона. – 2014. – Т. 29 – №2 (29). – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2014/2416> – 25.05.2014.
12. *Берела, А.И. и др.* Разработка образовательного модуля для подготовки специалистов по выводу из эксплуатации блоков АЭС / А.И. Берела, С.А. Томилин, А.Г. Федотов, И.А. Якубенко // Безопасность ядерной энергетики [Электронный ресурс]: тез. докл. X Междунар. науч.-практ. конф., 28-30 мая 2014 г. / ВИТИ НИЯУ МИФИ [и др.]. – Волгоград: [Б.и.], 2014. – 1 электрон. опт. диск [CD].

13. Берела, А.И. и др. Образовательный модуль для подготовки специалистов по производству демонтажных работ при выводе из эксплуатации блоков АЭС [Текст] / А.И. Берела, С.А. Томилин, А.Г. Федотов, И.А. Якубенко // Глобальная ядерная безопасность. – 2014. – № 2(11). – С. 111–116.

Radiation Security of Dismantling Works during the Mothballing of NPP's Blocks

A.I. Berela*, M.N. Galanova, V.A. Ignatkin*****

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

* e-mail: VITkafMPM@mephi.ru, ** e-mail: mashoolka@yandex.ru, *** e-mail: slavik18119525-1k@yandex.ru

Abstract – This article highlights the radiation safety problems, which arise during the dismantling works related to the mothballing of nuclear power plants blocks. It is shown the problem is caused by physical nature of the processes, which pass in the active zone during nuclear reactors operation, as well as heat carrier transferring through the active zone and activation of corrosion products with their further deposition on the working surfaces of equipment and pipelines.

Keywords: mothballing of nuclear power plants blocks, radiation safety, neutron radiation, induced radioactivity, superficial radioactivity, dismantling works, penetrating power, ionizing ability, protective screens.

**ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ,
СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ АЭС**

УДК 21.3.019.3:536.531:519:816

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ МЕЖПОВЕРОЧНЫХ ИНТЕРВАЛОВ
ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ**

© 2014 г. Ю.С. Сысоев, Н.А. Симакова

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

В работе представлена основанная на теории массового обслуживания формальная методика стохастических оценок длительности межповерочных интервалов измерительных приборов. Эта методика может использоваться не только для анализа измерительных устройств, но и для прогнозирования процесса случайного дрейфа параметров других технических объектов.

Ключевые слова: прогнозирование, межповерочный интервал, дрейф параметров, стохастическая экстраполяция.

Поступила в редакцию 28.08.2014 г.

Согласно Федеральному закону от 26.06.2008 N 102-ФЗ (ред. от 23.06.2014) "Об обеспечении единства измерений" поверка средств измерений (далее также – поверка) – совокупность операций, выполняемых в целях подтверждения соответствия средств измерений метрологическим требованиям. Средства измерений, предназначенные для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, до ввода в эксплуатацию, а также после ремонта подлежат первичной поверке, а в процессе эксплуатации – периодической поверке. Применяющие средства измерений в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений юридические лица и индивидуальные предприниматели обязаны своевременно представлять эти средства измерений на поверку. Порядок проведения поверки, требования к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке устанавливаются федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в области обеспечения единства измерений. Межповерочный интервал (МПИ) – это промежуток времени между двумя периодическими поверками.

В настоящее время в атомной энергетике существует необходимость определения длительности МПИ измерительных устройств. Чем меньше межповерочный интервал, тем выше уровень состояния измерений на таком ответственном производстве. С другой стороны, чем меньше межповерочный интервал, тем больше финансовые затраты и издержки, связанные с проведением операций поверки. Таким образом, существует противоречие, которое должно быть разрушено путем определения оптимального значения межповерочного интервала.

Существующие методики определения МПИ базируются на данных о нестабильности элементов, определяющих состояние метрологической исправности средств измерений, на показателях надежности, нормируемых или подтвержденных испытаниями, на экономических показателях или на данных о МПИ аналогов, подтвержденных опытом их эксплуатации. Однако нередко отсутствует либо возможность проведения таких испытаний до момента назначения первичного МПИ

либо отсутствует информация о значениях этих параметров.

Ранее оценка длительности МПИ уже проводилась по результатам наблюдения за погрешностями этих устройств в некотором временном промежутке в процессе их эксплуатации или экспериментов. В работах [1,2,3] были начаты исследования с использованием различных математических методов, позволяющие получить указанные оценки. В настоящей работе мы предлагаем еще один подход к решению этой задачи с использованием методов теории массового обслуживания.

Обозначим через Δ модуль предельно допустимого значения погрешности измерительного устройства. Разобьем промежутки $[0; \Delta)$ на N полуинтервалов. Будем считать, что устройство находится в состоянии E_j , $j = 0, 1, 2, \dots$, если его погрешность, взятая по модулю, находится в соответствующем промежутке. Заметим, что, если измерительное устройство находится в одном из состояний E_N, E_{N+1}, \dots то его использование неправомерно, поскольку модуль погрешности устройства превышает предельно допустимое значение.

Затем, рассмотрим систему массового обслуживания с конечным накопителем объема N и одним прибором, осуществляющим обслуживание заявок в этой системе. Состоянию E_j , $j = 0, 1, 2, \dots$, измерительного устройства поставим в соответствие такое состояние системы массового обслуживания, при котором она имеет очередь из j необслуженных заявок.

Тогда переход измерительного устройства из состояния E_j в состояние E_{j+k} в системе массового обслуживания будет соответствовать увеличению очереди заявок на обслуживание на k единиц, а переход из состояния E_j в состояние E_{j-k} – соответствующему уменьшению этой очереди. Таким образом, вместо того, чтобы следить за изменением погрешности измерительного устройства, достаточно следить за количеством заявок в накопителе.

Обозначим через λ интенсивность поступления заявок в системе массового обслуживания, а через ν – интенсивность выполнения этих заявок. В отличие от традиционных систем массового обслуживания, в которых для их устойчивой бесконечно долгой работы требуют выполнения неравенства $\lambda < \nu$, мы вынуждены рассматривать ситуацию, когда будет выполняться обратное неравенство $\lambda > \nu$ (погрешность измерительного устройства через какое-то время достигнет своего предельно допустимого значения).

Наша задача будет состоять в том, чтобы оценить время, в течение которого с вероятностью большей некоторого наперед заданного числа 0,95, система исправно работала (ее накопитель не переполнялся), или, что тоже самое, с вероятностью, меньшей соответствующего числа 0,05, накопитель будет заполнен.

Предположим, что в начальный момент времени система массового обслуживания находилась в некотором состоянии E_i , $i \geq 1$, то есть в начальный момент в ней было $i \geq 1$ необслуженных требований. Обозначим через $A_l(t)$ – событие, состоящее в том, что за время t в систему поступает l требований, через $B_l(t)$ – событие, состоящее в том, что за время t в системе выполняется l требований, а $\{k > N\}_t^i$ – событие, состоящее в том, что необслуженных заявок в системе к моменту времени t будет не меньше N (накопитель заполнится).

Тогда:

$$P(\{k > N\}_t^i) = \sum_{r=0}^{\infty} \left(\frac{(\lambda t)^{N-i+r}}{(N-i+r)!} \exp(-\lambda t) \sum_{j=0}^r \frac{(vt)^j}{j!} \exp(-vt) \right),$$

Постановка нашей задачи предполагает при заданном значении γ нахождение такой точки t_0 , для которой будут выполняться следующие условия:

$$\begin{cases} P(\{k > N\}_t^i) < \gamma & \text{при } t < t_0 \\ P(\{k > N\}_t^i) = \gamma & \text{при } t = t_0 \\ P(\{k > N\}_t^i) > \gamma & \text{при } t > t_0 \end{cases}$$

Значение t_0 и будет определять нам искомую длину межповерочного интервала.

Предложенная методика анализа дрейфа погрешностей термометров в период испытаний позволит провести стохастическую экстраполяцию изменений этих погрешностей на более широкий временной диапазон и тем самым определить длительность межповерочного интервала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сысоев, Ю.С. Анализ длительности метрологически безотказной работы измерительных приборов методами стохастической экстраполяции [Текст] / Ю.С. Сысоев // Измерительная техника. – 2011. – №1. – С. 7–12; Sysoev Yu.S. // Measurement Techniques. – 2011. – Vol. 54, Number 1. – P. 8–15.
2. Сысоев, Ю.С. Анализ дрейфа метрологических характеристик измерительных устройств с помощью цепей Маркова [Текст] / Ю.С. Сысоев // Измерительная техника. – 2012. – №1. – С. 14–19; Sysoev, Yu.S. // Measurement Techniques. – 2012. – Vol. 55, Number 1. – P. 19–24.
3. Сысоев, Ю.С. и др. Анализ стабильности работы измерительных приборов посредством стохастического прогнозирования дрейфа их метрологических характеристик [Текст] / Ю.С. Сысоев, А.И. Тихомирова // Измерительная техника. – 2012. – №6. – С. 14–20; Sysoev, Yu.S., Tikhomirova A.I. // Measurement Techniques: Volume 55, Issue 6 (2012) – Page 613-621.
4. Феллер, В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения [Текст] / В. Феллер. Т. 1. – М.: «Мир». 1967. – 499 с.
5. Клейнрок, Л. Теория массового обслуживания [Текст] / Л. Клейнрок. – М.: Машиностроение. 1979. – 432 с.
6. Гнеденко, Б.Г. и др. Введение в теорию массового обслуживания [Текст] Б.Г. Гнеденко, И.Н. Коваленко. – М.: Наука. 1966. – 432 с.
7. ГОСТ 8.625-2006. Термометры сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытаний [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2007. – 24 с.

Determination of Calibration Intervals Length of Measuring Devices

Yu.S. Sysoev*, N.A. Simakova**

*Volgodonsk Engineering Technical Institute
the Branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,
73/94 Lenin St., Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360
* e-mail: sysoev2004@mail.ru, ** e-mail: simnataalex@gmail.com*

Abstract – The formal technique of stochastic estimates of calibration intervals duration of measuring devices based on queuing theory is presented in the work. This technique can be used not only for analysis of measuring devices, but also to forecast the process of random drift parameters of other technical objects.

Keywords: forecasting, calibration interval, drift of parameters, stochastic extrapolation.

**ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ,
СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ АЭС**

УДК 681.3:621.316.92

**ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ РЕЛЕ В СИСТЕМАХ
УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

© 2014 г. С.А. Баран, Е.С. Беляева, В.С. Новикова

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

В статье рассмотрено применение микропроцессорных устройств релейной защиты в системах управления и защит энергетического оборудования, их основные функции и требования, предъявляемые к этим устройствам. Также для проверки соответствия требованиям и проверки правильности выполнения необходимых функций представлены результаты проведения опыта «Моделирование максимальной токовой защиты линии электропередач», «Моделирование токовой отсечки линии электропередач» и «Автоматическое включение резервного питания нагрузки».

Ключевые слова: микропроцессорные реле, управление и защита энергетического оборудования, регистрация срабатывания, самодиагностика, селективность, быстрдействие, чувствительность, надежность, токовая защита, токовая отсечка, резервное питание нагрузки.

Поступила в редакцию 14.07.2014 г.

Большинство фирм производителей прекращают выпуск электромеханических реле и устройств и переходят на цифровую элементную базу. Этот переход не приводит к изменению принципов релейной защиты и автоматики, он расширяет ее функциональные возможности, упрощает эксплуатацию и снижает стоимость. Именно по этим причинам микропроцессорные реле очень быстро начали вытеснять устаревшие электромеханические.

Микропроцессорное устройство релейной защиты (МУРЗ) – устройство релейной защиты, реализованное на основе микропроцессорных элементов.

Цифровые устройства релейной защиты различного назначения имеют много общего, а их структурные схемы очень похожи (рис.1).

Центральным узлом цифрового устройства является микроЭВМ, которая через свои устройства ввода-вывода обменивается информацией с периферийными узлами. С помощью этих дополнительных узлов осуществляется сопряжение микроЭВМ (микропроцессора) с внешней средой: датчиками исходной информации, объектом управления, оператором и др.

Следует отметить, что в реальном устройстве релейной защиты может использоваться несколько микропроцессоров (МП), каждый из которых будет занят решением отдельной задачи с целью обеспечения высокого быстрдействия.

Непременными узлами цифрового устройства РЗА являются: входные $U1-U4$ и выходные $KL1-KLj$ преобразователи сигналов, тракт аналого-цифрового преобразования $U6, U7$, кнопки управления и ввода информации от оператора $SB1, SB2$, дисплей H для отображения информации и блок питания $U5$. Современные цифровые

устройства, как правило, оснащаются и коммуникационным портом *X1* для связи с другими устройствами.

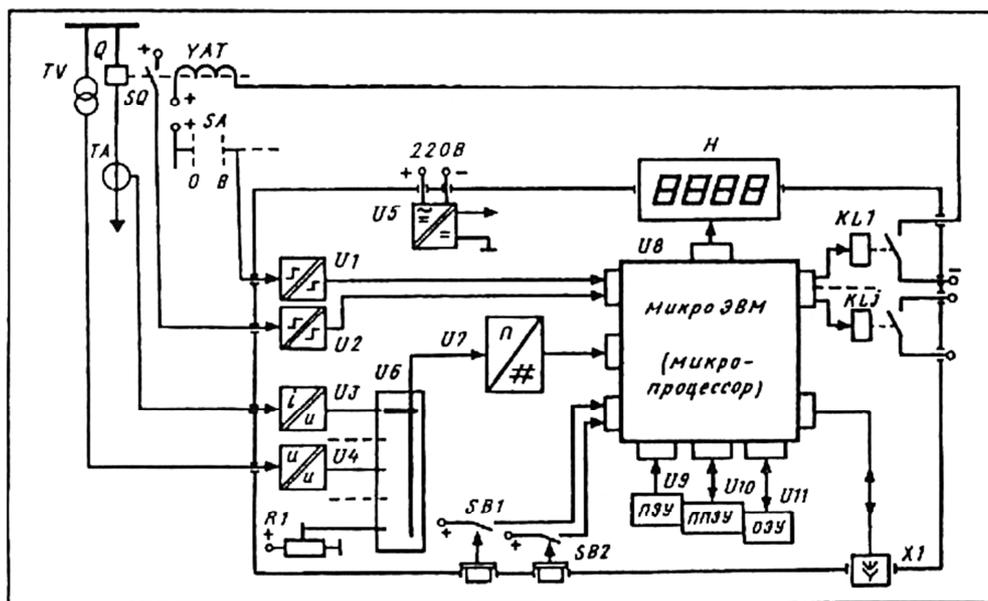


Рис. 1. – Структурная схема цифрового устройства защиты

Микропроцессорное устройство релейной защиты может и должно выполнять следующие функции:

- *защиты* (например, защита от превышения допустимого времени пуска; защита от перегрузки двигателя; защита от обрыва фаз и др.);
- *управления* (например, реле обеспечивает «Ручной» (с кнопочной станции), «Дистанционный» и «Автоматический» (по сигналу датчика, подключенного к аналоговому входу) режим управления; реле обеспечивает контролируемый самозапуск в «Ручном» и «Дистанционном» режиме двигателя после провала напряжения сети);
- *регистрации срабатываний* (например, реле обеспечивает установку и отсчет реального времени; в архиве сохраняются данные четырех последних срабатываний; при аварийном отключении двигателя реле сохраняет аварийные данные на момент срабатывания защит и др.)
- *самодиагностики* (например, контроль правильности уставок и сохранность информации в памяти; после изменения уставок реле проверяет принадлежность их допустимому диапазону значений и др.).

Одной из особенностей цифровых устройств является относительная простота организации контроля исправности аппаратной части и программного обеспечения. Отдельные фрагменты этой программы и выполняют самотестирование устройства защиты. В арсенале разработчиков цифровой аппаратуры имеется целый набор типовых решений в части тестирования. Реально тестированием удастся охватить примерно 80–95% всех элементов изделия. Однако разработчик стремится предпринять всё возможное для максимально возможного полного выявления внутренних дефектов изделия. Поэтому к МУРЗ выдвигаются требования:

- *селективность (избирательность)* – заключается в способности релейной защиты отключать при КЗ только поврежденный элемент. При этом не происходит излишних отключений оборудования и потребителей, тем самым минимизируется ущерб от аварийной ситуации.
- *быстродействие* – способность работать с минимально допустимой

выдержкой времени.

– *чувствительность* – способность релейной защиты реагировать на те отклонения от нормального режима, которые возникают в результате повреждения.

– *надежность* – способность защиты безотказно действовать в пределах установленной для нее зоны и не работать ложно в режимах, при которых действие релейной защиты не предусматривается.

Для того чтобы проверить все функции и требования, предъявляемые к МУРЗ на практике, были выполнены опыты «Моделирование максимальной токовой защиты линии электропередач», «Моделирование токовой отсечки линии электропередач» и «Автоматическое включение резервного питания нагрузки».

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

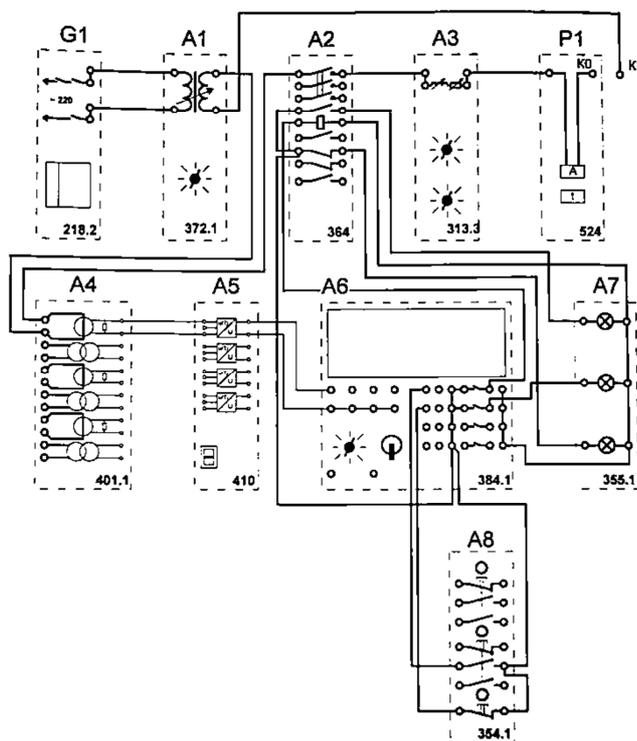


Рис. 2. – Электрическая схема соединений

В работе были использованы блоки:

- однофазный трансформатор A1;
- контактор A2;
- модель линии электропередачи A3;
- блок измерительных трансформаторов тока и напряжения A4;
- блок преобразователей напряжения A5;
- блок программируемого контроллера A6;
- блок световой сигнализации A7;
- кнопочный пост управления A8;
- измеритель тока и времени P1;
- источник питания G1.

Для проведения опыта необходимо собрать логическую схему (рис. 3), задать параметры срабатывания, загрузить схему в контроллер и запустить на исполнение.

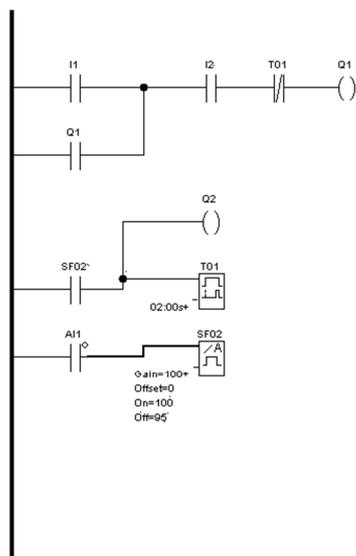


Рис. 3. – Логическая схема: AI1 – вход аналогового датчика, I1 – контакт кнопки «Пуск», I2 – контакт кнопки стоп, Q1 – выход/контакт контактора, Q2- выход на красную сигнальную лампу «наличие КЗ», SF001 – аналоговый пороговый выключатель/его контакт, T01 – задержка включения

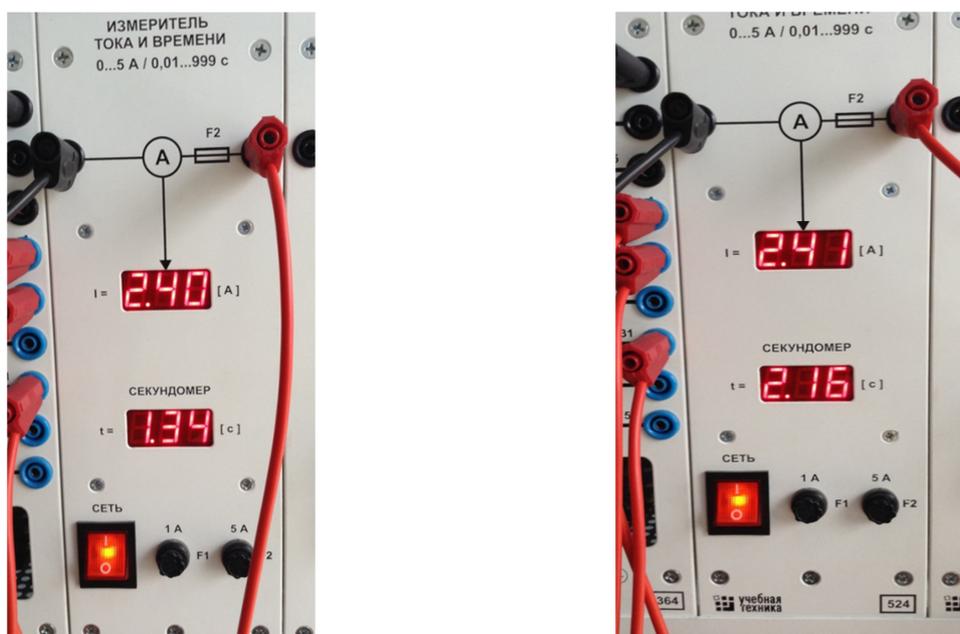


Рис. 4. – Показания измерителя тока и времени а) при кратковременном КЗ; б) при устойчивом КЗ

После нажатия кнопки «Пуск» поста управления включается контактор А2, после нажатия кнопки «Стоп» контактор отключается. При запущенной схеме после моделирования кратковременного (менее двух секунд) КЗ загорается красная лампа «наличие КЗ». С индикаторов снимается значение тока КЗ и время его существования. При моделировании устойчивого (более двух секунд) КЗ контактор А2 отключается, устраняя КЗ. С индикаторов измерителя так же снимается значение тока КЗ и время работы защиты (рис. 4).

Таким образом, после проведения опыта было выяснено, что используемый в эксперименте модуль Siemens LOGO 230 RC полностью удовлетворяет предъявляемым требованиям селективности, быстродействия, чувствительности и надежности и исправно выполняет свои функции.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОКОВОЙ ОТСЕЧКИ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

При проведении опыта использовались те же блоки и та же структурная схема, что и при моделировании максимальной токовой защиты линии электропередач.

Для проведения опыта так же необходимо собрать логическую схему (рис. 5.), задать параметры срабатывания, загрузить схему в контроллер и запустить на исполнение.

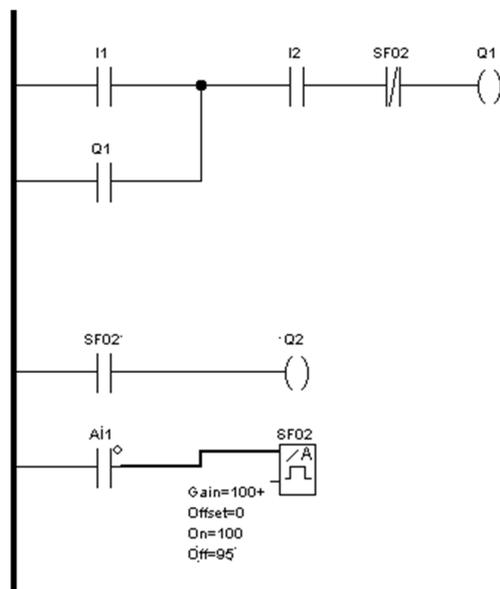


Рис. 5. – Логическая схема

При моделировании КЗ загорается красная лампа «наличие КЗ», контактор А2 отключается, тем самым устраняя КЗ. С индикатора измерителя Р1 считываются значения тока КЗ и время работы защиты.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ РЕЗЕРВНОГО ПИТАНИЯ НАГРУЗКИ

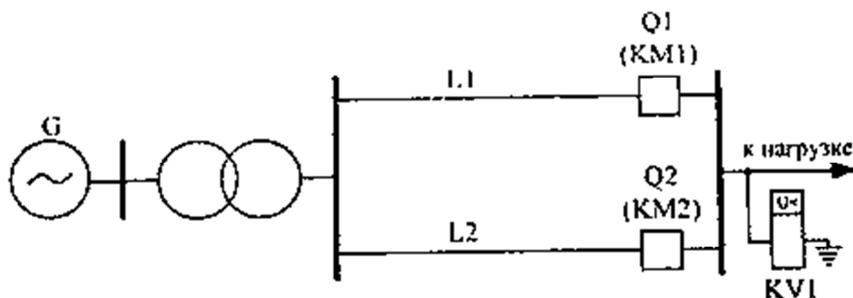


Рис. 6. – Принципиальная электрическая схема. KM1, KM2 – контакторы, L1, L2 – линии электропередач, KV1 – реле минимального напряжения

Для проведения опыта была собрана логическая схема (рис. 6), заданы параметры срабатывания, схема была загружена в контроллер и запущена на исполнение.

При моделировании исчезновения напряжения на одной из линий электропередач (например, на линии L1) один контактор отключается, а другой включается, восстанавливая подачу напряжения.

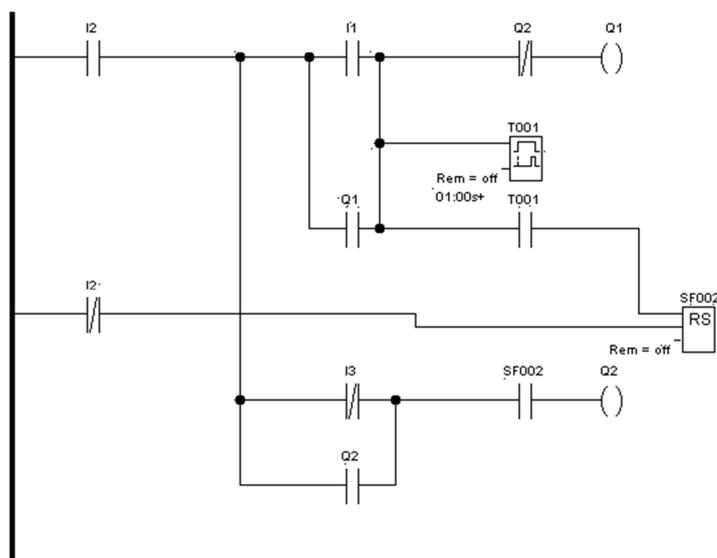


Рис. 7. – Логическая схема: I1 – контакт кнопки «Пуск», I2 – контакт кнопки стоп, I3 – вход наличия напряжения, Q1, Q2– выходы/контакты контакторов, SF001 – RS-триггер, T002 – задержка включения

Таким образом, после проведения опытов было выяснено, что используемый в экспериментах модуль Siemens LOGO 230 RC полностью удовлетворяет предъявляемым требованиям селективности, быстродействия, чувствительности и надежности и исправно выполняет свои функции защиты и управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Никитин, А.А.* Микропроцессорные реле [Текст] / А.А. Никитин. – Чебоксары, 2003.
2. *Гуревич, В.И.* Микропроцессорные реле защиты. Устройство, проблемы, перспективы [Текст] / В.И. Гуревич. – Инфра-Инженерия, 2011.
3. *Чернобровов, Н.В. и др.* Релейная защита энергетических систем [Текст] / Н.В. Чернобровов, В.А. Семенов. – М.: Энергоатомиздат, 1998.

Application of Microprocessor-based Relay in Systems of Control and Protection of Power Equipment

S.A. Baran*, E.S. Belyaeva, V.S. Novikova*****

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

** e-mail: bastr@rambler.ru, ** e-mail: katis93@yandex.ru ; *** e-mail: 10valentina05@mail.ru*

Abstract – The article concerns the application of microprocessor units of relay protection systems for control and protection of power equipment, their main functions and requirements for these devices. It also presents the results of the experiment "Modeling of maximum current protection of electric power lines", "Modeling of electric power line current cutoff" and "Automatic activation of load reserve power supply."

Keywords: microprocessor-based relays, management and protection of power equipment, registration of operation, self-diagnosis, selectivity, speed, sensitivity, reliability, overcurrent protection, current cutoff, load reserve power supply.

**ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ,
СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ АЭС**

УДК 621.791.75.05

**НЕОБХОДИМОСТЬ ФОРМАЛИЗАЦИИ ПОНЯТИЯ
СВАРИВАЕМОСТИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ИЗДЕЛИЙ АЭС**

© 2014 г. Ю.В. Доронин*, Н.Н. Подрезов**

** ООО «Аттестационный центр городского хозяйства», Москва

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

В статье сделана попытка обоснования формализации понятия свариваемости применительно к технологическим процессам сварки изделий АЭС. Выделен ряд технологических факторов, непосредственно влияющих на качество сварных соединений и, в конечном итоге, на свариваемость. Предложена расширенная формулировка термина «свариваемость» для использования в нормативной документации в атомной энергетике.

Ключевые слова: свариваемость, технологическая свариваемость, сварное соединение, фактор технологический, металлургическая свариваемость, жизненный цикл изделия.

Поступила в редакцию 23.07.2014 г.

Свариваемость, оказывающая решающее влияние на качество сварных соединений, упоминается всего один раз в основополагающих Правилах и нормах в атомной энергетике. В п. 3.1.1 ПН АЭ Г-7-008-89 [1] говорится о том, что «материалы для изготовления оборудования и трубопроводов должны выбираться с учетом требуемых физико-механических характеристик, технологичности, свариваемости и работоспособности в условиях эксплуатации в течение срока службы». Эта формулировка отражает известный факт, что в отечественном машиностроении в плане свариваемости всегда обращалось первостепенное внимание на выбор материалов, участвующих в формировании сварного соединения [2]. Например, в ГОСТ 23870-79 «Свариваемость материалов» в качестве критериев предложены балл зерна и механические свойства основного металла в околошовной зоне.

В ГОСТ 26001-84 «свариваемость – свойство металла или сочетания металлов образовывать при установленной технологии сварки соединение, отвечающее требованиям, обусловленным конструкцией и эксплуатацией изделия». В окончательной нормативной формулировке основное понятие свариваемости закреплено в ГОСТ 29273-92 – «...металлический материал считается поддающимся сварке до установленной степени при данных процессах и для данной цели, когда сваркой достигается металлическая целостность при соответствующем технологическом процессе, чтобы свариваемые детали отвечали техническим требованиям, как в отношении их собственных качеств, так и в отношении их влияния на конструкцию, которую они образуют».

Данный стандарт имеет ряд очень полезных особенностей:

- разработан методом прямого применения международного стандарта ИСО 581-80 "Свариваемость. Определение";
- самый маленький (3 страницы) в РФ и на пространстве СНГ. Причина в сложности понятия «свариваемость», поэтому даётся только качественная формулировка;

– в одной формулировке заложены почти все комплексные составляющие свариваемости: материал, технологический процесс, тип и функциональное назначение конструкции;

– свариваемость одного и того же материала может быть оценена различно в зависимости от назначения изделия.

Тем не менее, ГОСТ 29273-92 практически не применяется в атомной энергетике и причин тому несколько.

Во-первых, традиционно считается, что физическая свариваемость является необходимым, а технологическая (тепловая + металлургическая) – достаточным условиями обеспечения свариваемости основного металла.

Во-вторых, технологическая свариваемость оценивается и качественно и количественно на уровне критериев 80-х годов. При качественной оценке технологической свариваемости вводятся сравнительные степени по отношению к вероятности трещинообразования: хорошая, удовлетворительная, ограниченная и плохая. По количественным эмпирическим оценкам, наподобие углеродного эквивалента или критерия Уилкинсона, принимаются меры, призванные повысить свариваемость основного металла в реальных технологических процессах.

В-третьих, не в полной мере учитывается конкретика сварочных производственных процессов. Например, в условиях разных предприятий качественный результат сварки одного и того же изделия из одинакового материала может сильно отличаться. То есть, в производстве изделий их свариваемость, не в меньшей степени, чем выбор основного металла, зависит от технологических факторов, сопровождающих процесс сварки.

Факторы технологического процесса показаны на рисунке 1 справа.

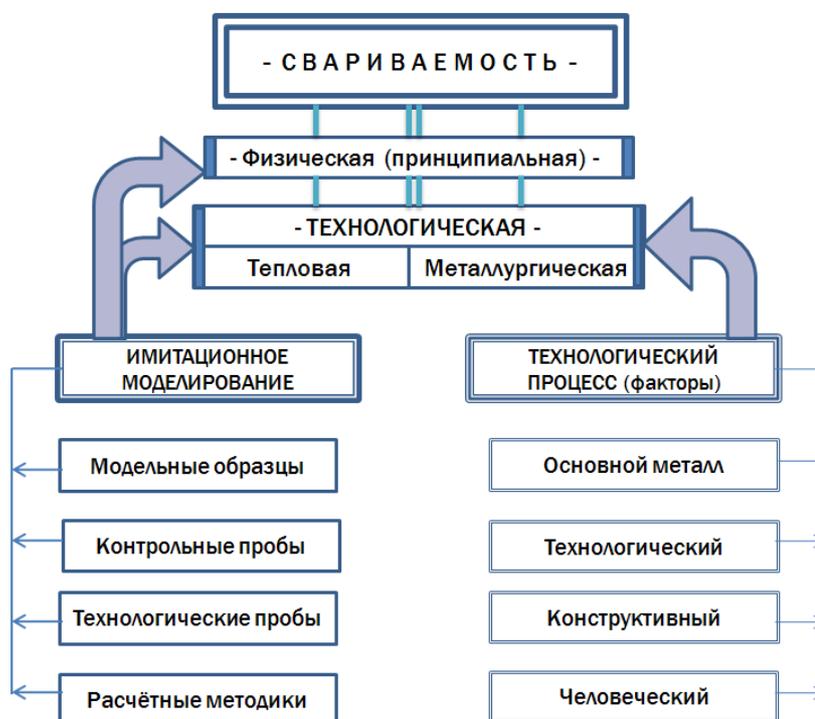


Рис. 1. – Информационные потоки (показаны стрелками), формализующие понятие «свариваемость» в атомной энергетике

Фактор влияния основного металла является определяющим. Все составляющие информационного потока, исходящего от имитационного моделирования (рис.1),

связаны с установлением свариваемости металлических материалов на уровне сварки проб, испытаний образцов и расчётов. Контрольные пробы задействованы и в технологическом процессе для паспортизации механических свойств и подтверждения применимости сварочных материалов конкретных партий и выплавов.

Технологический фактор оказывает влияние на свариваемость через подготовку кромок основного металла и сборку изделия, вид и режимы сварки, применяемые сварочные материалы, метеорологические условия, специальные технологические приёмы, обеспечивающие технологическую прочность сварных соединений конструкций. Приведём пример. В атомной энергетике технологический процесс сварки только одного шва сосуда АЭУ может продолжаться от 2...3 суток до одного месяца (рис.2). Метеорологические условия в этом случае играют далеко не последнюю роль, особенно, если при сварке применяются малоактивные флюсы типа АН-30, 48-ОФ-6, 48-ОФ-10 и т.п. Эти флюсы, как известно [3], весьма склонны к гидратации из-за наличия в их составе основных оксидов.

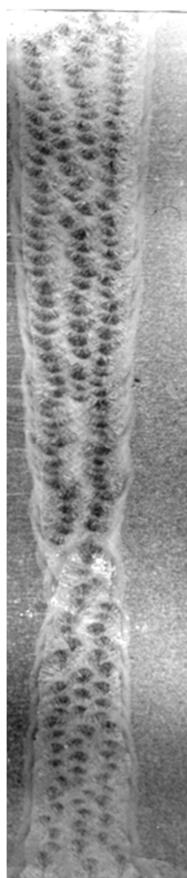


Рис. 2. – Кольцевой шов, обечайка активной зоны корпуса реактора, $\delta = 240$ мм.
Узко-щелевая разделка, количество валиков ~175

Конструктивный фактор определяется типом сварной конструкции и сопровождающими её параметрами (форма и пространственное расположение свариваемых элементов, масса, толщина, жёсткость). Особенно сильное влияние оказывают на свариваемость всевозможные концентраторы напряжений и деформаций, что характерно для сварных толстостенных конструкций больших габаритных размеров. При этом в отношении влияния концентраторов контрольные пробы, сопровождающие изделия, не являются показательными, вследствие несоответствия масштабного фактора. Дело ещё осложняется и тем, что по нормативным документам в атомной отрасли не допускаются трещины и трещиноподобные дефекты, что

значительно повышает требования к свариваемости изделий АЭУ.

Человеческий фактор связан с тем, что сварочные технологические процессы являются, как отмечалось, продолжительными и многооперационными. По этой причине всегда существует вероятность несанкционированных вмешательств, не всегда совпадающих с регламентными требованиями, со стороны оператора – сварщика или инженерно-технического персонала. Такие действия отмечались, например, на ПО «Атоммаш» при манипуляциях персонала с установкой местного нагрева, которой оснащён стенд ЭШС, при выполнении протяжённых швов толстолистовых заготовок, что приводило к повышенной дефектности изделий.

С учётом вышесказанного предлагается следующая уточняющая формализация обсуждаемого понятия для атомной отрасли: свариваемость – способность металлических материалов в изделии (конструкции) в условиях технологического процесса сварки образовывать целостное соединение, соответствующее отраслевым нормам оценки качества и эксплуатационным требованиям на всех стадиях жизненного цикла изделия (конструкции).

Данная формулировка полностью соответствует принципиальной концепции обновлённого международного стандарта ISO/TR 581: 2005 «Свариваемость. Материалы металлические. Общие принципы». Краткая суть этой концепции заключается в следующем тезисе – сварке подвергаются не металлические материалы, а изделия из металлических материалов в конкретных условиях. Кроме европейских норм (EN – European Norm) аналогичный подход применён в AWS (American Welding Society`s Standard), JIS (Japanese Industrial Standard), ASME (American Society of Mechanical Engineer`s Standard) и других национальных стандартах.

Следует отметить, что в настоящее время стандарты серии ISO в промышленном производстве и эксплуатации тесно взаимосвязаны между собой стандартизированными и унифицированными процедурами обеспечения жизненного цикла изделий (конструкций) логистической поддержкой. В соответствии с ГОСТ Р53393-2009 [4] «интегрированная логистическая поддержка промышленных изделий – совокупность видов инженерной деятельности, реализуемых управленческих, инженерных и информационных технологий, ориентированных на обеспечение высокого уровня готовности изделий ... при одновременном снижении затрат, связанных с эксплуатационным обслуживанием». Следовательно, вопросы свариваемости изделий должны рассматриваться в контексте современных информационных производственных стратегий (создание баз данных и знаний, электронный документооборот, программное обеспечение логистики технологических процессов сварки и т.п.), но это отдельная тема.

ВЫВОДЫ

- 1) Существует необходимость обновления формализации понятия свариваемости в атомной отрасли с целью разработки современной нормативной базы.
- 2) Предложена формулировка свариваемости, концептуально совпадающая с аналогичным понятием в международных стандартах.
- 3) Влияние технологических факторов на свариваемость изделий необходимо анализировать на всех стадиях жизненного цикла изделия (конструкции) ответственного назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ПН АЭ Г-7-008-89 Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок [Электронный ресурс] // Электронная

- библиотека ГОСТов и нормативов OHRANATRUDA.RU – 2014. – Режим доступа: URL: http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/42/42048 – 18.07.2014.
2. Сварка в машиностроении: Справочник в 4-х т. [Текст] / Редкол.: Г.А. Николаев и др. Под ред. Н.А. Ольшанского – М.: Машиностроение, 1978 – Т.1. – С. 504.
 3. *Потапов, Н.Н. и др.* О металлургической роли глинозёма в малоактивных флюсах при автоматической сварке [Текст] / Н.Н. Потапов, К.В. Любавский // Сварочное производство.- 1972.- № 10.- С. 5-8.
 4. ГОСТ Р 53394 – 2009 Интегрированная логистическая поддержка. Основные положения [Электронный ресурс]/Нормативные документы по вопросам ИЛП. Базовый комплекс 1. – 2014. – Режим доступа: URL: <http://www.cals.ru/information/standards/> - 16.07.2014.

The Necessity of Formalization of Weldability Conception in the NPP Goods Manufacturing

Y.V. Doronin *, N.N. Podrezov **

** LTD «Certification Center of municipal services»,
47A Izmajlovskoe St.(schosse), Moscow, Russia 105187,
e-mail: bekkenbauer@yandex.ru ;

*** Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,
73/94 Lenin St., Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360,
e-mail: p1n2f@rambler.ru*

Abstract – In the article an attempt is made to justify the formalization of the notion of weldability applied to the processes of welding products NPP. Highlighted a number of technological factors that directly affect the quality of welded joints and, ultimately, on weldability. The proposed extended formulation of the term “weldability” use of normative documents in the nuclear industry.

Keywords: weldability, technological welding, welding joint, the technological factor, steel weldability, the life cycle of products.

ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ,
СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ АЭС

УДК 620.174.2;539.4

ДИНАМИЧЕСКИЙ КРИТЕРИЙ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ
КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ
ПРИ КВАЗИХРУПКОМ РАЗРУШЕНИИ

© 2014 г. Е.И. Колоколов

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

В статье показано, что трещиностойкость конструкционных сталей при квазихрупком разрушении можно определить путем анализа диаграмм нагрузка-деформация и фрактографического анализа излома цилиндрических образцов с острым кольцевым надрезом, испытанных на растяжение. Полученный динамический критерий трещиностойкости (ДКТ) – G соответствует критическому сопротивлению продвижения трещины G_c , вычисляемому через коэффициент интенсивности напряжений K_c согласно концепции линейной механики разрушения. Использование ДКТ является наиболее корректным способом определения работы развития трещины, определяемой в настоящее время путем испытаний на ударную вязкость призматических образцов с предварительно нанесенной усталостной трещиной.

Ключевые слова: трещиностойкость, Гриффитс, критерии разрушения, квазихрупкое разрушение, вязко-хрупкий переход (ВХП), пластическая деформация, упругая энергия, фрактография.

Поступила в редакцию 15.07.2014 г.

Проблема обеспечения надежности конструкционных сталей, работающих в сосудах под давлением и других ответственных металлоконструкциях, уже давно является актуальной для специалистов в области прочности и материаловедения. Разработаны и широко применяются концепции трещиностойкости, разработанные на основе линейной механики разрушения [1, 2]. Рассчитаны критические длины трещин, коэффициенты интенсивности напряжений для конструкций, испытывающих эксплуатационные нагрузки в разных условиях.

Развитие механики разрушения началось с пионерной работы Гриффитса [по 1–3], изучавшего причины очень низкой прочности хрупких материалов (стекло) по сравнению с теоретической ($\sigma_c \approx 0.1E$), рассчитанной на основе физической модели разрушения тела, в котором внешняя сила преодолевает силы межатомной связи двух параллельно расположенных слоев атомов (рис. 1). Гриффитс показал, что низкая прочность стекла обусловлена наличием трещин, приводящим к значительной концентрации напряжений. Для тонкой пластины с трещиной, находящейся в условиях плосконапряженного состояния (рис. 2), растягиваемой напряжением p , он получил соотношение: $(W = -\pi l^2 p^2 / E)$, где W характеризует работу, которая может быть получена из системы при образовании трещины. Если нагруженные границы тела зафиксированы, то величина W равна освобождающейся при разрушении упругой энергии. Для расширения трещины нужно преодолеть силы взаимодействия соседних атомных слоев, т.е. затратить некоторую работу. Для образования единицы свободной поверхности необходима работа γ . Величину γ , называемую плотностью поверхностной энергии, можно считать константой, характерной для материала в данных условиях (температура, внешняя среда и т.д.). Закон сохранения энергии по

Гриффитсу: $-dW = d\varepsilon$, где $-dW$ – уменьшение упругой энергии напряженного образца в процессе его разгрузки при росте трещины, равное увеличению свободной поверхностной энергии $d\varepsilon$. Плотность поверхностной энергии можно оценить, произведя расчеты по кривой, приведенной на рисунке 1б. Опустив соответствующие выкладки, приведенные, например, в монографии Л.М. Качанова [1], приведем конечную формулу Гриффитса: $p^2 = 2E\gamma/\pi l$. Эта формула при заданной длине l определяет критическое напряжение $p = p^*$, приводящее к расширению трещины. В этом случае размер l является критическим (l_c). Так как с увеличением длины l критическое напряжение уменьшается, далее происходит быстрое (лавинное) разрушение. Из последней формулы вытекает, что для данного материала $p\sqrt{\pi l} = \sqrt{2E\gamma} = \text{const}$. Для хрупких материалов это соотношение качественно подтверждается (т.е. $p^* \sim 1/\sqrt{l}$), например, опытами Гриффитса со стеклом. Следует отметить, что ввиду обратимости упругих деформаций, небольшие трещины могут залечиваться. Критическая длина трещины в стекле согласно критерию Гриффитса составляет всего несколько микрон. Для материалов, разрушение которых сопровождается большой пластической деформацией, например, конструкционных сталей, наблюдаются большие количественные отклонения и формула Гриффитса неприменима.

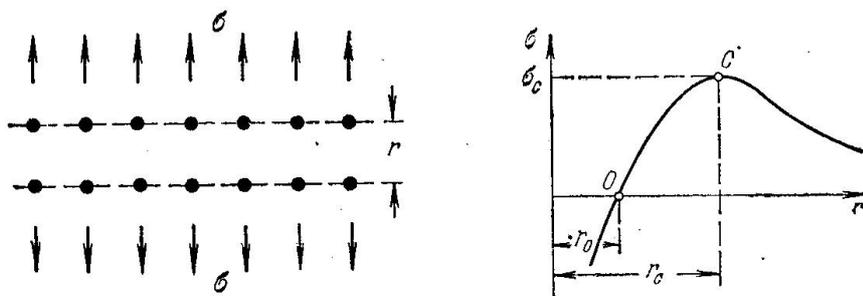


Рис. 1. – Физическая модель твердого тела в условиях механического нагружения. Справа – график зависимости разрушающих напряжений в функции расстояния между атомами

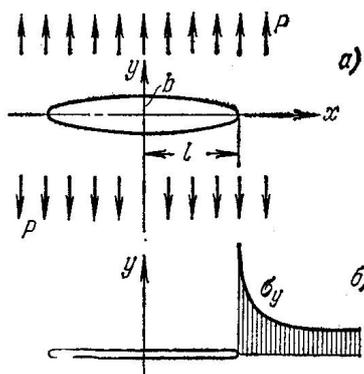


Рис. 2. – Модель тонкой пластины с трещиной в поле напряжений p

Процесс разрушения складывается из двух стадий – зарождения трещины и ее распространения, причем каждая из них подчиняется своим закономерностям. Среди критериев прочности одни описывают условия зарождения трещины, другие – ее распространения. Первые – фактически есть критерии наступления опасного состояния в точке в рассматриваемый момент. Вторые – исходят из наличия в теле трещины и фактически являются критерием начала распространения трещины. Предельное состояние равновесия считается достигнутым, если трещиноподобный разрез получил возможность распространяться, т.е. становится трещиной. Этот критерий может быть

получен как на основе энергетических соображений, так и силовых. Концепция Гриффитса носит название энергетической. Роль энергии согласно этой концепции состоит в следующем: Одной концентрации напряжений у вершины трещины мало для того, чтобы разрушить тело. Если не обеспечить подвода достаточной энергии к ее вершине, то разрушение прекратится. Этой энергией является W – освобождающаяся при разрушении упругая энергия. Проведение расчетов на прочность тел с трещинами по Гриффитсу, исходя из расчета энергии деформации всего тела, очень сложны и фактически не выполнялись, так как уже в 1957 г. Дж. Р. Ирвин сформулировал другую, более удобную для вычислений силовую концепцию в механике хрупкого разрушения и показал, что оба подхода эквивалентны [4]. Он же вычислил этот поток через работу сил сцепления у вершины трещины [4], т.е. применил силовой подход к данной задаче. В результате этого решения получилась новая характеристика трещиностойкости $K = \sigma\sqrt{\pi l}$ – коэффициент интенсивности напряжений, характеризующий локальные упругие напряжения, развивающиеся в области вершины трещины. Ирвин ввел параметр G , характеризующий сопротивление продвижению трещины. Согласно решению Ирвина для плоского напряженного состояния $G = K^2/E$.

Таким образом, согласно концепции Ирвина трещина получает возможность распространяться в том случае, когда:

- 1) интенсивность освобождающейся энергии G достигает критической величины $G_c = \delta\Gamma/\delta S = \text{const}$ (энергетический критерий);
- 2) коэффициент интенсивности напряжений K достигает критической величины $K_c = \text{const}$ (силовой критерий).

Ирвин же ввел и пластическую поправку к длине трещины, увеличив ее на величину рассчитанного им размера зоны пластической деформации $r_y = K^2/2\pi\sigma_t^2$, где σ_t – предел текучести. Формула приведена для плоского напряженного состояния. Плоская деформация при объемном напряженном состоянии уменьшает размер пластической зоны (в этом случае ей можно пренебречь), разрушение становится более хрупким, а напряжения разрушения – более низкими.

Венгерский ученый Е.О. Орован в 1952 г., проводя эксперименты на плитах из малоуглеродистой стали с искусственно нанесенными трещинами, обратил внимание, что в области кончика таких трещин происходят необратимые пластические деформации. После разрушения искаженная пластической деформацией зона сосредотачивается в тонком слое вблизи поверхности трещины. Такое разрушение было названо квазихрупким. Был сделан вывод, что затраты энергии в процессе создания новых поверхностей при развитии трещины связаны, главным образом, с работой пластической деформации объемов материала, расположенных перед фронтом трещины. Если линейные размеры этих объемов малы по сравнению с длиной трещины, то поток упругой энергии по-прежнему можно вычислить, сообразуясь с упругим решением, а затраты энергии на разрушение относить к работе пластической деформации. На основе этой концепции квазихрупкого разрушения Орован скорректировал схему Гриффитса применительно к металлам [5], приписав поверхностной энергии γ более широкий смысл и заменив ее в формуле Гриффитса суммой $(\gamma + \gamma_p)$, где γ_p – работа пластической деформации при образовании единицы поверхности. Так как для металлов $\gamma_p \gg \gamma$ (например, для малоуглеродистой стали $\gamma_p \approx 10^3 \gamma$), столь значительная пластическая работа обеспечивает их хорошее сопротивление хрупкому разрушению по сравнению со стеклами [2, 9]. Величиной γ в формуле Гриффитса можно пренебречь. В этом случае $\rho\sqrt{\pi l} = \sqrt{2E\gamma_p} = \text{const}$. Критический размер трещины в металлах согласно данной модели составит уже несколько мм.

Расчеты на прочность материалов с трещиноподобными дефектами с

применением вышеприведенной формулы получили название расчетов на трещиностойкость (в английской терминологии «fracture toughness» – буквальный перевод «вязкость разрушения»). Интенсивность напряжений в вершине трещины характеризуется множителем $\sigma\sqrt{\pi l}$ и существенна не только при статическом нагружении, но и при циклическом нагружении, коррозии под напряжением, при быстром лавинном распространении трещин в крупных металлоконструкциях. В сущности же понятие «трещиностойкость» объединяет разнообразные свойства металлов, связанные с их механическим нагружением и определяемые микроструктурой и способностью к пластической деформации. Эта характеристика важна и приобретает все более широкое использование при оценке свойств высокопрочных материалов, для которых концентрация напряжений имеет первостепенное значение. В конструкциях из высокопрочных материалов аккумулируется большая потенциальная энергия и при образовании в них трещин даже небольшого размера может произойти быстрое разрушение.

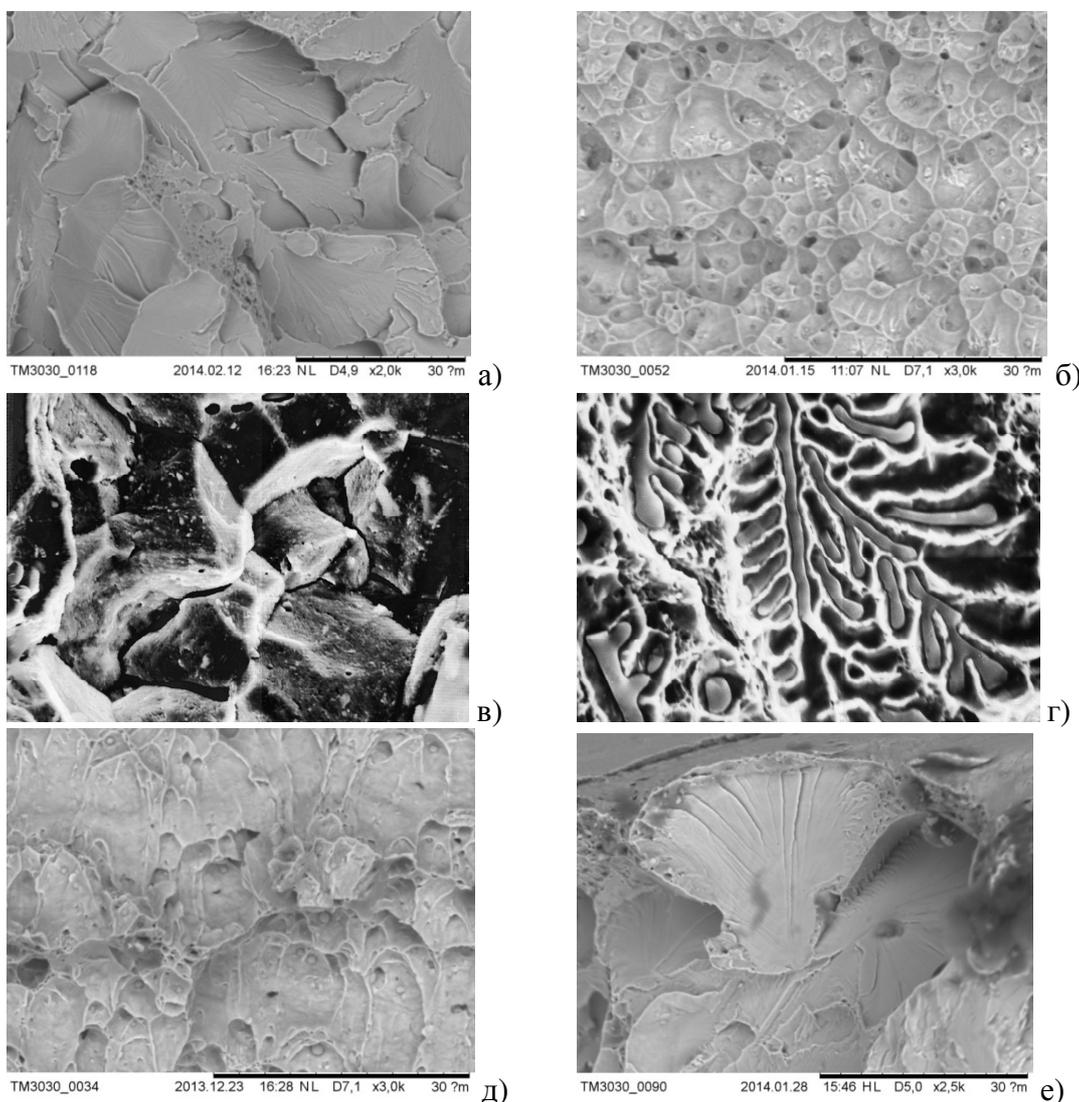


Рис. 3. – Характерный вид микрофрактограмм, полученных на растровом электронном микроскопе: а – скол по плоскостям спайности, малоуглеродистой стали; в центре – перемычка между трещинами скола, распространяющимися в разных плоскостях, разрушенная срезом; б – вязкое разрушение высокопрочной стали с малой энергоемкостью – плоские ямки со скоплением включений на дне; в – межзеренное разрушение (камневидный излом); г – вязкое межзеренное разрушение по вырожденной сульфидной эвтектике; д – разрушение срезом – вытянутые ямки; е – участок трещины скола, распространявшейся в направлении надреза (вверху).

Следует отметить, что в основе концепции хрупкого разрушения Гриффитса лежит простая физическая модель, согласно которой происходит разделение тела между двумя соседними слоями атомов, расположенными перпендикулярно направлению растяжения (рис. 1). Механизмом такого разрушения является скол по плоскостям спайности. Модель квазихрупкого разрушения Орована – Ирвина, разработанная и опробованная на малоуглеродистых сталях, опирается на разрушение сколом по плоскостям спайности, сопровождаемого пластической деформацией (рис. 3а). Все расчеты и прикидки, осуществляемые в рамках этих концепций, осуществлялись в рамках теории сплошных сред. В дальнейшем концепция Ирвина была распространена и на другие материалы, в которых квазихрупкое атермическое разрушение сколом не происходит: алюминиевые и титановые сплавы, нержавеющие аустенитные стали, высокопрочные сплавы на никелевой основе и др. В них действуют термически активируемые процессы разрушения: ямочное по границам (рис. 3г), или внутри зерен (рис. 3б), межзеренный камневидный излом (рис. 3в) и др. Такое расширительное толкование квазихрупкого разрушения требует дополнительных обоснований.

Наши работы посвящены исследованию процессов развития разрушения в конструкционных сталях с ОЦК-структурой, испытывающих вязко-хрупкий переход (ВХП). В них осуществляется механизм хрупкого атермического разрушения сколом, заложенный в концепции Гриффитса-Орована. Общие закономерности разрушения в интервале ВХП изложены в работах [6, 7]. Отличительной особенностью такого разрушения в полосе разброса данных испытаний является медленное докритическое подрастание трещины по вязкому ямочному механизму, прерывающееся быстрым нестабильным разрушением, сопровождаемым резким звуковым эффектом. На кривых нагрузка – деформация надрезанных образцов при растяжении (рис. 4) и изгибе (рис. 5) видны участки роста и спада нагрузки при подрастании трещины и участки резкого спада нагрузки, сопровождающие быстрое разрушение. На изломе образцов видны темные участки подрастания трещины с вязким ямочным рельефом разрушения и блестящие участки макроскопически хрупкого излома (рис. 6) с ярко выраженными признаками квазихрупкого разрушения (рис. 3а, 3д, 3е), содержащие, в основном, элементы разрушения сколом, а также перемычки с ямочным изломом между участками скола, элементы межзеренного разрушения, разрушения неметаллических включений, расслоения и др.

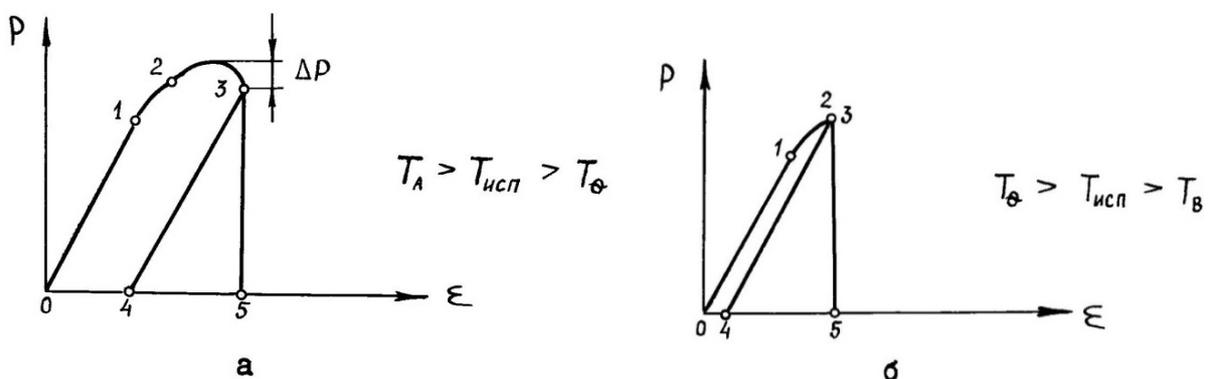


Рис. 4. – Схематическое изображение кривых нагрузка-деформация при растяжении цилиндрических образцов с острым кольцевым надрезом в интервале ВХП; а) верхний участок ВХП, б) нижний участок ВХП. Точка 2 соответствует началу появления вязкого излома в вершине концентратора. Треугольник 3-4-5 соответствует упругой энергии выделившейся в процессе хрупкого разрушения

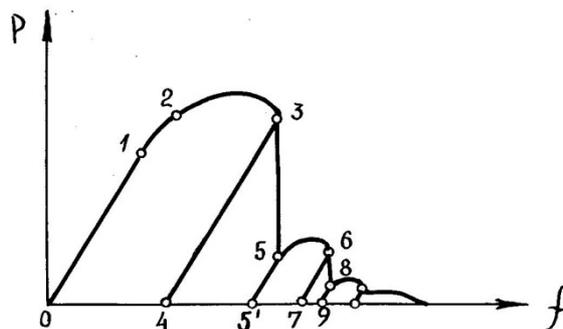


Рис. 5. – Схематическое изображение кривых нагрузка-прогиб при статическом или ударном изгибе призматических образцов с острым надрезом в верхней части интервала ВХП. Точка 2 соответствует появлению участка вязкого разрушения под надрезом. Трапеция 3-4-5-5' соответствует упругой энергии выделившейся в процессе хрупкого разрушения при первом скачке трещины; участок 5-5'-6-7 соответствует вторичному подрастанию вязкой трещины; трапеция 6-7-8-9 соответствует упругой энергии выделившейся в процессе хрупкого разрушения при втором скачке трещины; участок правее линии 8-9 соответствует энергоемкости зоны сжатия



Рис. 6. – Вид излома образцов с острым надрезом из стали 10ГН2МФА, испытанных на ударный изгиб при комнатной температуре в полосе разброса в верхней части интервала ВХП. Вверху под надрезом видна зона подрастания вязкой трещины, различающаяся для всех приведенных образцов; в центре – блестящая зона макроскопически хрупкого разрушения; по бокам участки среза; внизу – вязкая зона сжатия. Профиль излома имеет искаженную деформацией форму

Разрушение в интервале ВХП вне зависимости от скорости нагружения, типа и размера образцов или изделий имеет динамический характер. Этот фактор в концепциях Гриффитса и Ирвина учтен не был. Фактически в уравнении сохранения должен присутствовать еще один член dQ – механические потери при разрушении. В результате, уравнение приобретает вид: $-dW = d\varepsilon + dQ$ [3]. Различают механические потери трех видов:

1) Так называемые деформационные потери, особенно выраженные в областях концентрации напряжений (в основном, эти потери были учтены Орованом и Ирвином введением соответствующих поправок).

2) Рассеяние упругой энергии при разрыве связей в вершине растущей трещины. Эта составляющая играет роль при оценке поведения материалов на уровне микромеханизмов разрушения.

3) Динамические механические потери – переход части упругой энергии в кинетическую энергию раздвижения стенок быстро растущей хрупкой трещины и кинетическую энергию разлетающихся осколков.

Динамическая природа хрупкого разрушения проявляется следующим образом. Упругая энергия, запасаемая в системе образец-машина при механическом нагружении образца с надрезом, сосредотачивается, в основном, в образце – в плоскости, содержащей концентратор напряжений (рис. 2). Часть этой энергии расходуется на пластическую деформацию, упрочнение и вязкое ямочное разрушение материала в пластической зоне перед концентратором напряжений. Фактически, вязкое разрушение – это заключительная стадия пластической деформации в упрочняющихся материалах, содержащих включения. В процессе пластической деформации пик напряжений перед концентратором в области пластической зоны уменьшается за счет их релаксации (рис. 7а). Другая часть упругой энергии приводит к росту внутренних напряжений в недеформированном участке впереди пластической зоны, где релаксация напряжений незначительна. Если эти напряжения не превышают критической величины σ_k , при которой происходит хрупкое разрушение, пластическая зона будет перемещаться вперед (рис. 7а), увеличивая уровень действующих напряжений в оставшемся сечении. Пока осуществляется подвод упругой энергии в зону концентратора напряжений, происходит стабильный, докритический рост вязкой трещины, который может привести к конечному разделению образца на две части. Если напряжения достигают критической величины σ_k , впереди пластической зоны происходит взрывное хрупкое разрушение в плоскости, перпендикулярной направлению действия растягивающих напряжений. Очагом хрупкого разрушения (рис. 7б) обычно является какое-либо неметаллическое включение, расположенное в зоне наибольших напряжений на расстоянии l_0 (рис. 7б) от границы зоны подрастания.

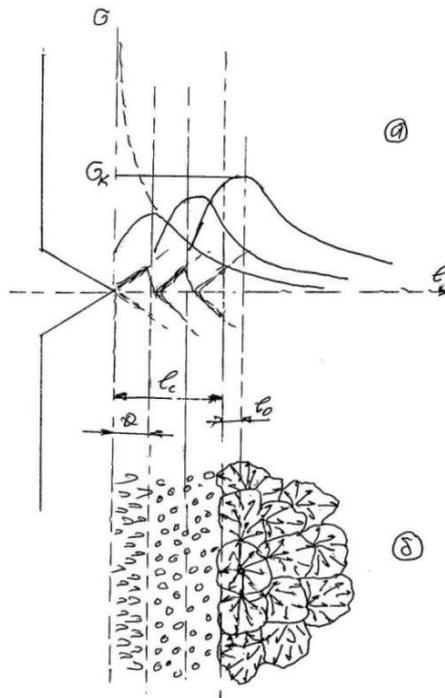


Рис. 7. – Схема продвижения докритической вязкой трещины и перехода к хрупкому разрушению сколом (а). Схема строения излома в интервале ВХП для малоуглеродистых сталей. σ_k – критическое напряжение, при котором образуется первая фасетка скола; Θ – ширина зоны среза; l_c – критический размер зоны подрастания вязкой трещины; l_0 – расстояние от очага разрушения до границы зоны подрастания

Размер зоны макроскопически хрупкого (квазихрупкого) разрушения в изломе образца определяется имеющимся запасом упругой энергии. В процессе развития хрупкого разрушения упругая энергия расходуется на преодоление сил связи и образование трещины скола по плоскостям спайности, разрыв перемычек между соседними участками трещины скола, преодоление границ зерен и других дефектов микроструктуры (рис. 3а,е). Так как скорость роста трещины скола сопоставима со скоростью звука в металле [8], часть упругой энергии идет также на распространение волн напряжений и кинетическую энергию перемещения частей разрушившегося образца или изделия.

В верхней части интервала ВХП (между точками T_a и T_θ на рис. 8 и рис. 9) наблюдается разброс как значений суммарной энергии деформации и разрушения (характерный вид этих диаграмм показан на рис. 4 и рис. 5, соответственно), так и размера участков докритического подрастания трещины и макроскопически хрупкой зоны в изломе (рис.6), определяемых запасом упругой энергии в системе. На диаграммах нагрузка-деформация образцов с надрезом, испытанных на растяжение и трехточечный изгиб были выделены зоны (участки ограниченные точками 3-4-5 на рис. 4 и 3-4-5' на рис.5), соответствующие работе, совершаемой при образовании участков макроскопически хрупкого (квазихрупкого) разрушения. Был проведен подсчет соответствующей этим участкам упругой энергии ($A_{упр}$) и фрактографическое определение площадей участков макроскопически хрупкого разрушения ($S_{хр}$). Из рисунка 10 на примере испытаний на растяжение при комнатной температуре цилиндрических образцов с надрезом из мартенситных сталей 12Х13 и 12Х13Ш видно, что площадь участков хрупкого разрушения ($S_{хр}$) пропорциональна величине соответствующей $A_{упр}$.

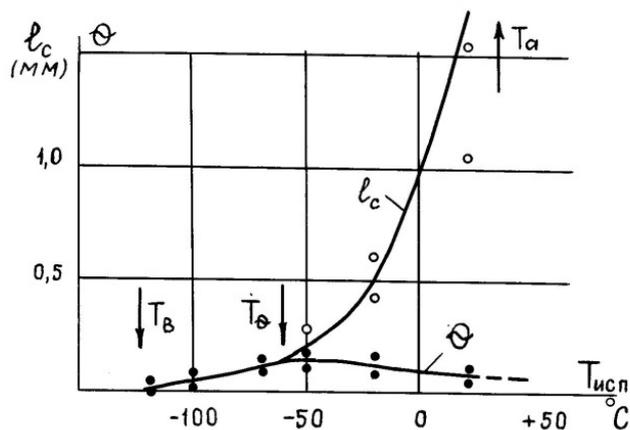


Рис. 8. – Температурная зависимость зоны подрастания вязкой трещины l_c в цилиндрическом образце с острым кольцевым надрезом; Θ - ширина зоны среза под надрезом

Химический состав сталей и режим их термической обработки приведен в таблице 1.

Таблица 1. – Химический состав сталей и режим их термической обработки

Материал	Химический состав %								Термообработка
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	
12X13	0.11	0.35	0.37	0.016	0.017	13.37	0.18	0.08	Отжиг 860 ⁰ С; закалка 1000-1050 ⁰ С, масло; отпуск 700-740 ⁰ С.
12X13Ш	0.12	0.30	0.30	0.011	0.012	12.45	0.26	0.07	

Получена эмпирическая зависимость:

$$A_{упр} = G S_{хр} , \tag{1}$$

в которой коэффициент пропорциональности G (кГм/мм²) является мерой энергоемкости квазихрупкого разрушения, приходящейся на единицу площади хрупкого излома, и определенный фрактографическим методом, т.е. анализом излома после разрушения образца. G является структурно-чувствительной характеристикой. Например, из рисунка 10 видно, что ее значение выше в более чистой стали (для стали 12Х13Ш тангенс угла наклона больше).

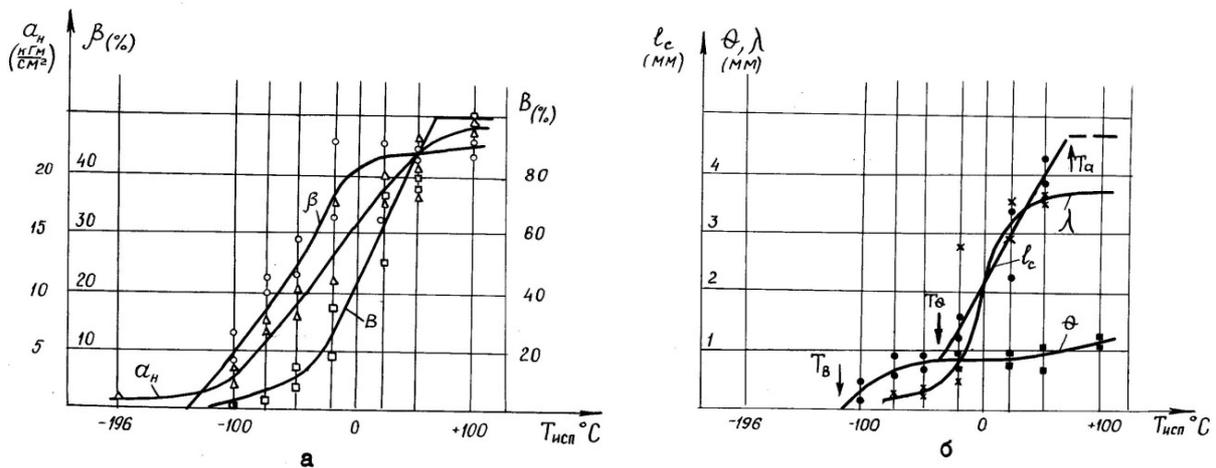


Рис. 9. – Температурные зависимости параметров излома призматических образцов, испытанных на ударный изгиб в интервале ВХП

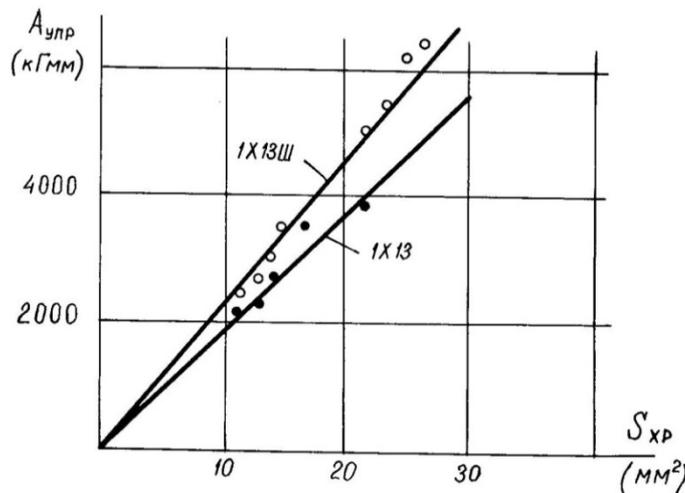


Рис. 10. – Экспериментальная зависимость работы, совершенной источником нагружения, затраченной на образование поверхности макроскопически хрупкого излома ($S_{хр}$) и равной запасу упругой энергии ($A_{упр}$), накопленной в системе образец-машина к моменту начала катастрофического хрупкого разрушения

Ниже точки T_0 на рисунке 8 докритического подрастания трещины в вершине надреза не наблюдается. Здесь вязкое разрушение сосредоточено в пределах участка среза, по одной из ветвей зоны пластической деформации (рис. 7). Ширина участка среза при снижении температуры испытаний уменьшается до нуля при полностью хрупком изломе (в точке T_B). При этих температурах размер $S_{хр}$ определяется с учетом наличия зоны разрушения срезом.

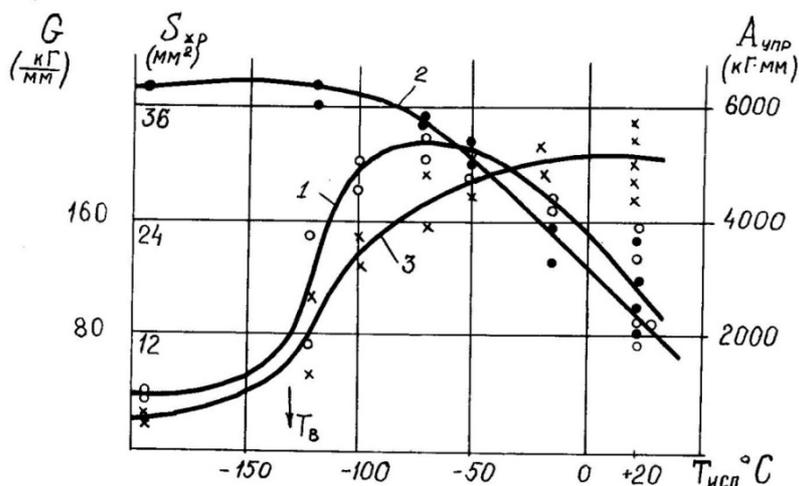


Рис. 11. – Температурная зависимость характеристики трещиностойкости G (1), площади зоны макроскопически хрупкого разрушения S_{xp} (2) и запаса упругой энергии в момент начала катастрофического хрупкого разрушения $A_{чпp}$. В точке, соответствующей испытанию при температуре жидкого азота, S_{xp} соответствует площади сечения образца под надрезом, $A_{чпp}$ – энергии хрупкого разрушения образца без признаков предшествующей пластической деформации

На рисунке 11 показана температурная зависимость характеристики энергоемкости квазихрупкого разрушения G (кривая 1) для высокоотпущенной мартенситной стали 12X13. Из кривой видно, что наибольшая энергоемкость наблюдается в области температуры T_0 . При понижении температуры энергоемкость падает, ввиду уменьшения доли элементов вязкого разрушения на фоне участков разрушения сколом. При повышении температуры наблюдается снижение, обусловленное облегчением условий пластической деформации при снижении предела текучести.

Характеристика G , определенная по формуле (1), – это характеристика трещиностойкости, так как определяет энергоемкость квазихрупкого разрушения, определенную при измерении параметров именно этого разрушения. Данная характеристика, получена фрактографическим методом и имеет динамическую природу, так как ее определение связано с изменением упругой энергии в системе, ростом напряжений до критического уровня и возникновением критической ситуации, обусловленной неожиданным лавинообразным хрупким разрушением, имеющим динамический характер.

Можно ли связать эту эмпирически полученную характеристику с трещиностойкостью, теоретическое обоснование которой осуществлено в рамках концепций Гриффитса-Орована-Ирвина? Интуитивно – да, так как очевидно, что характеристика G – это характеристика квазихрупкого разрушения, основным элементом которого является скол, что фактически и предполагается в вышеуказанных концепциях. Вернемся к их сущности [1, 2, 4]. Предельное состояние равновесия тела с трещиной считается достигнутым, когда трещиноподобный разрез получил возможность распространяться, и тогда разрез становится трещиной. Чтобы он стал распространяться, увеличивая свою поверхность, требуется израсходовать энергию, равную по величине работе, которую надо произвести, чтобы обеспечить целостность материала перед кромкой разреза. Эту работу (конечно же, с обратным знаком) можно назвать работой разрушения. Одновременно с образованием новой поверхности, которая становится свободной от нагрузок, в прилегающем к этой поверхности объеме резко снижается деформация. Это приводит к соответствующему выделению из тела

упругой энергии. На основании закона сохранения энергии при развитии трещины на величину δS соблюдается энергетическое условие вида:

$$\delta G = G \delta S, \quad (2)$$

где δG – работа разрушения необходимая для образования новой поверхности разрыва площадью δS ,

G – поток энергии в вершину трещины, отнесенный к единице площади трещины (интенсивность освобождающейся упругой энергии), другими словами сопротивление продвижению трещины [2].

Так как непосредственное вычисление потока энергии, идущего в вершину трещины, – очень трудная математическая задача даже в рассмотрении Гриффитса, непосредственному анализу этого соотношения исследователи не уделяли достаточного внимания, сосредоточившись на результатах силового подхода Ирвина.

Рассмотрим условия энергетического равновесия в момент начала движения трещины согласно формуле (2) с учетом закономерностей разрушения сталей в интервале ВХП и сравним эту формулу с эмпирически полученной нами формулой (1), оценивающей энергоёмкость квазихрупкого разрушения. Можно показать, что выражения в формулах (1) и (2), которые внешне подобны, практически идентичны.

– Формула (2) показывает, что энергетический баланс тела с трещиноподобным дефектом при начале движения трещины должен определяться работой разрушения δG , необходимой для образования новой поверхности разрыва площадью δS .

– Формула (1) показывает, какие затраты упругой энергии ($A_{упр}$) были произведены источником механического нагружения при образовании трещины макроскопически хрупкого разрушения ($S_{хр}$), определенной после разрушения образца фрактографическим методом.

Можно считать очевидным, что в условиях квазихрупкого разрушения начало движения трещины соответствует моменту срыва на диаграмме нагрузка – деформация. В любые предшествующие моменты докритического подрастания трещины по вязкому механизму квазихрупкого разрушения нет по определению, а само вязкое разрушение нельзя отделить от предшествующей пластической деформации, так как фактически – это стадия зарождения трещины, а не ее распространения.

С учетом этого разъяснения новая поверхность разрыва площадью δS из формулы (2) соответствует площади трещины макроскопически хрупкого разрушения $S_{хр}$ из формулы (1). Работа разрушения δG , необходимая для образования новой поверхности разрыва, из формулы (2) – равна затратам упругой энергии ($A_{упр}$), которые были произведены источником механического нагружения при образовании трещины макроскопически хрупкого разрушения из формулы (1).

Отсюда следует, что характеристика G – мера энергоёмкости квазихрупкого разрушения из формулы (1) идентична параметру G – интенсивности освобождающейся упругой энергии или сопротивлению продвижения трещины из формулы (2). Эта характеристика соответствует значению G_c – критическому сопротивлению продвижения трещины по Ирвину, который, таким образом, легко определяется экспериментально. Так как определение параметра G осуществляется нами для динамической системы образец – машина в критический момент наступления хрупкого разрушения, осуществляющегося под действием накопленной в этой системе упругой энергии, мы обозначили эту характеристику термином «Динамический критерий трещиностойкости» (ДКТ). Характеристики трещиностойкости, определенные в рамках линейной механики разрушения, используют статический

подход к разрушению. Для рассмотренных выше сталей 12Х13 и 12Х13Ш при комнатной температуре G_c равно 91 и 118 кГ/мм соответственно.

ДКТ G можно использовать для определения работы развития трещины, определяемой в настоящее время путем испытаний на ударную вязкость призматических образцов с предварительно нанесенной усталостной трещиной.

При ударном изгибе надрезанных образцов на изломе кроме зоны докритического подрастания трещины выявляются губы среза по бокам образцов, зона вязкого разрушения в месте удара молота маятникового копра (рис. 12а). Трещина хрупкого разрушения движется в уже продеформированном на предшествующей стадии образце (степень деформации характеризуется степенью искажения формы излома – β). Все эти факторы завышают и искажают полученные значения работы развития трещины. Температурные зависимости этих параметров излома значительно отличаются (рис. 9). Более корректным способом является использование данных испытаний цилиндрических образцов с острым кольцевым надрезом, где эти факторы отсутствуют (рис. 12б). Фактически G соответствует истинным значениям работы развития трещины.

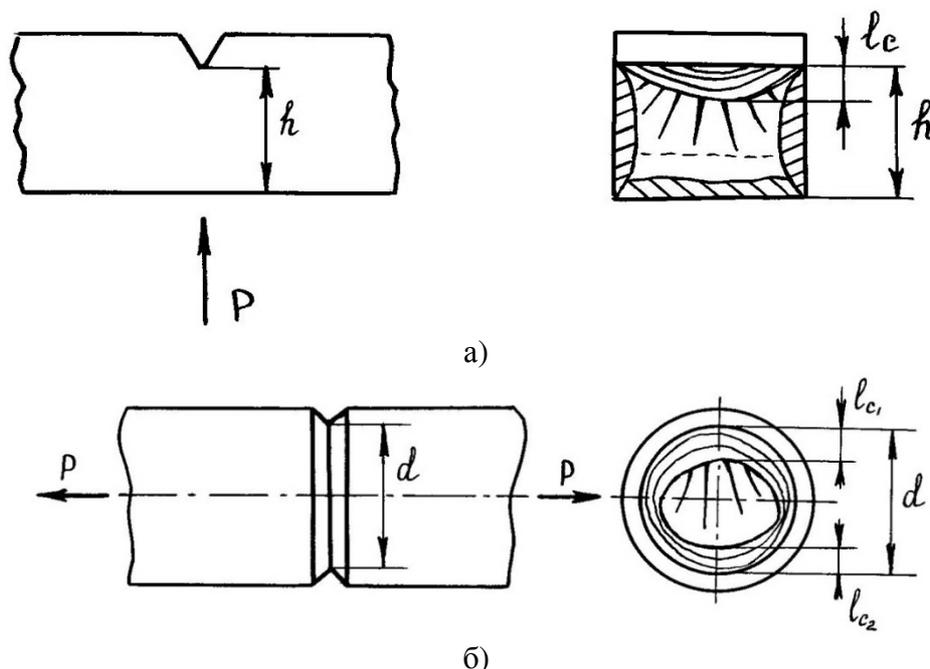


Рис. 12. – Схематическое изображение вида излома образцов, испытанных в верхней части интервала температур ВХП:

а) призматических образцов с острым надрезом при испытаниях на ударную вязкость:

- a_n – ударная вязкость;
- B – доля вязкой составляющей;
- β – деформационная характеристика (искажение формы излома).

б) цилиндрических образцов с острым кольцевым надрезом:

- l_c – критический (максимальный) размер зоны подрастания вязкой трещины;
- Θ – ширина зоны среза под надрезом;
- λ – ширина губ среза по краям излома.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Качанов, Л.М. Основы механики разрушения [Текст] / Л.М. Качанов. – М. : Наука, 1974.
2. Партон, В.З. Механика разрушения от теории к практике [Текст] / В.З. Партон. – М. : Наука, 1990.
3. Бартнев, Г.М. Сверхпрочные и высокопрочные неорганические стекла [Текст] / Г.М. Бартнев. – М. : Стройиздат, 1974.

4. Ирвин, Дж. и др. Основы теории роста трещин и разрушения. Разрушение [Текст] / Дж. Ирвин, П. Парис. – Т. 3. – М. : Мир, 1976.
5. Orowan E. Proseedings of the Symposium on Fatigue and Fracture of Metals. Wiley, N.F., 1952. P. 139.
6. Колоколов, Е.И. Исследование особенностей разрушения конструкционных сталей в интервале вязко-хрупкого перехода при различных условиях разрушения : автореф. дис. канд. техн. наук [Текст] / Е.И. Колоколов. – 1979. – 26 с.
7. Ботвина, Л.Р. и др. [Текст] / Л.Р. Ботвина, Е.И. Колоколов // ФХММ. – 1976. – С. 23–26.
8. Финкель, В.М. Физика разрушения. Металлургия [Текст] / В.М. Финкель. – М., 1970.
9. Вигли, Д.А. Механические свойства материалов при низких температурах [Текст] / Д.А. Вигли. М. : Мир, 1974.

Dynamic Criterion of Crack Resistance of Structural Steels at Quasi-fragile Destruction

E.I. Kolokolov

*Volgodonsk Engineering Technical Institute
the Branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,
73/94 Lenin St., Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360
e-mail: VITkafMPM@mephi.ru*

Abstract – In article it is shown that the fracture toughness of structural steels with quasigroups destruction can be determined by analyzing the charts load-deformation and fractographic analysis of fracture cylindrical samples with sharp ring cut tested on strength. Retrieved dynamic criterion of fracture toughness (VCT) - G corresponds to the critical resistance promotion cracks GC , calculated through the stress intensity factor KS according to the concept of linear fracture mechanics. The use of VCT is the most correct way to determine the work of development of cracks, determined at present by testing for impact strength prismatic samples with pre-applied fatigue crack.

Keywords: crack resistance, Griffiths, criteria of destruction, quasigroups destruction, visco-brittle transition (VHP), plastic deformation, elastic energy, fractography.

**ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ,
СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ АЭС**

УДК 621.311.4:621.382

**ВЛИЯНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ СВЯЗИ В ЗАЗЕМЛЯЮЩЕМ
УСТРОЙСТВЕ НА ПОВРЕЖДЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ
АППАРАТУРЫ**

© 2014 г. О.В. Фоменко, М.А. Костенко, А.О. Новикова

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

В статье представлена экспериментально-расчётная оценка электромагнитной обстановки по условиям защиты микропроцессорной аппаратуры и вторичных цепей на ОРУ 220 кВ и разработаны мероприятия по обеспечению электромагнитной совместимости размещаемой на ней микропроцессорной аппаратуры и ее вторичных цепей с учетом состояния заземляющего устройства.

Ключевые слова: электромагнитная обстановка, электромагнитная совместимость, открытое распределительное устройство, заземляющее устройство, микропроцессорная аппаратура, сопротивление связи.

Поступила в редакцию 10.07.2014 г.

Обеспечение электромагнитной совместимости (ЭМС) является одной из актуальных проблем при внедрении микропроцессорной (МП) аппаратуры РЗА, АСУ, АСКУЭ, связи и т.п. на объектах электроэнергетики. В настоящее время термин «электромагнитная совместимость» все чаще употребляется в связи с проблемой обеспечения надежности систем контроля, управления и связи, реализованных на базе цифровой техники и работающих в условиях реальных объектов [1]. Для этих объектов характерно неидеальное качество систем питания и заземления, высокая вероятность воздействия значительных электромагнитных помех (например, различные виды коротких замыканий, молниевый разряд, ВЧ-поля и т.д.). Вопросы перевооружения подстанций (ПС) высокого напряжения в настоящий момент должны в первую очередь рассматривать анализ ЭМС всех технических средств (ТС), в частности и МП, поскольку должна учитываться способность используемого оборудования нормально работать в ЭМО на объекте, где оно размещается.

Задача по улучшению ЭМО и снижению уровня существующих на объекте помех должна решаться в процессе не только перевооружения, но и реконструкции и модернизации объекта. Поэтому основной целью ставится экспериментально-расчетная оценка электромагнитной обстановки (ЭМО) по условиям защиты электронной аппаратуры. В данной работе представлена оценка ЭМО относительно заземляющего устройства (ЗУ) на ОРУ-220 кВ, по результатам которой можно предложить мероприятия по обеспечению ЭМС и размещаемой на ней микропроцессорной аппаратуры и ее вторичных цепей с учетом состояния заземляющего устройства.

На данный момент существует два основных пути улучшения ЭМО при использовании МП средств в условиях крупных промышленных объектов: оценка уровней импульсных помех и состояния заземляющего устройства (ЗУ). Поэтому для решения задачи требуется проведение комплекса работ, включающего оценку ЭМО на объекте, получение достоверных данных о помехоустойчивости используемой аппаратуры, сопоставление полученных данных, разработку мероприятий по обеспечению ЭМС, реализацию разработанных мероприятий и итоговый контроль.

Оценку уровней импульсных помех необходимо проводить не только при

коммутациях, но и возможных возникающих аварийных режимах. При этом характерными источниками электромагнитных воздействий как в нормальных, так и в аварийных режимах принято считать (рис.1): напряжения и токи промышленной частоты при КЗ на землю в распределительных устройствах напряжением выше 1 кВ; импульсные помехи при коммутациях и КЗ в распределительных устройствах; электромагнитные поля радиочастотного диапазона; разряды статического электричества; магнитные поля промышленной частоты; импульсные магнитные поля; помехи, связанные с возмущениями в цепях питания АСТУ постоянного и переменного токов.

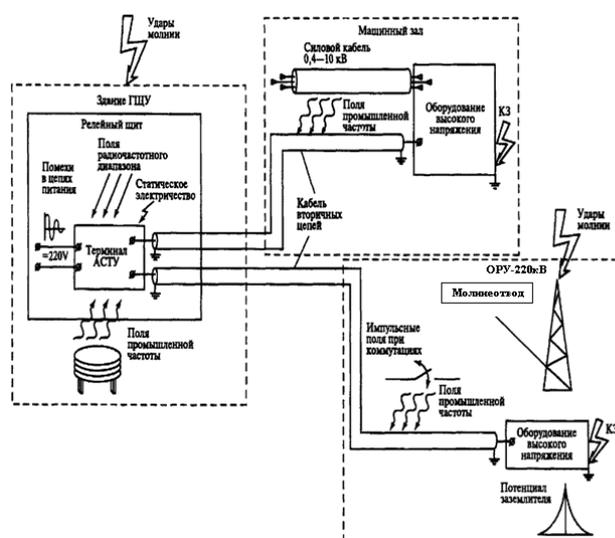


Рис. 1. – Источники электромагнитных помех на ЭС: ГЩУ – главный щит управления; ОРУ – открытое распределительное устройство

Наиболее трудоемкой частью оценки ЭМО на существующих объектах является оценка состояния заземляющего устройства (ЗУ) [2] на ОРУ ЭС и ПС. В работе О.В. Фоменко уже имел место анализ влияния на МП аппаратуру магнитных полей промышленной частоты [3]. Вместе с этим необходима также оценка ЗУ, поскольку неудовлетворительное состояние ЗУ влияет на работу всей системы: может вызывать сбои, ложные срабатывания, необоснованные включения и выключения систем защиты, противоаварийной автоматики, пожаротушения и т.д. Поэтому роль ЗУ в обеспечении надежной и безопасной работы электроустановок еще больше возрастает в связи с расширяющимся внедрением современных средств защиты, автоматического управления, телемеханики и связи, собранных на новой элементной базе. На действующих ОРУ ЗУ электроустановок выполнены по старым нормам, в большинстве случаев не соответствуют современным требованиям.

Анализ эксплуатационного состояния ЗУ включает оценку качества электрической связи ЗУ как ОРУ, так и конструкций и сооружений на всей станции. При этом немаловажно предварительно оценить удельное сопротивление грунта и коррозионное состояние существующего ЗУ. По предоставленным данным электроцеха энергообъекта было установлено, что проложенные в грунте заземлители подвержены коррозии, (их разрушение могло быть вызвано строительными работами и т.п.). Следовательно, в этих условиях заземляющий проводник или заземлитель, связь с которым проверяется, может сам оказаться не связанным с основной частью ЗУ объекта. Также выявлено, что целые ячейки ОРУ практически не связаны заземлителями с ЗУ основной части подстанции. Следовательно, проводить оценку коррозионного состояния существующего ЗУ – важно и необходимо для правильной работы станции.

В соответствие с техническим заданием на реконструкцию, МП аппаратура, обслуживающая ОРУ 220 кВ, должна размещаться в помещении релейного щита (рис.1). Значит, определение ЭМО может быть проведено методами как прямого измерения, так и имитационного моделирования. Предлагается оценку сопротивления связи осуществлять методом имитационного моделирования с использованием программы *Multisim*. Для этого имеет место рассмотреть два канала передачи информации, связанных общим обратным проводом (рис.2), роль которого выполняет сопротивление связи ЗУ. В каждом канале действуют ЭДС сигнала E_{c1} и E_{c2} , которые через соответствующие сопротивления проводов каналов связи Z_{np1} и Z_{np2} связаны с сопротивлениями нагрузки Z_{H1} и Z_{H2} , имеющими общую точку «0».

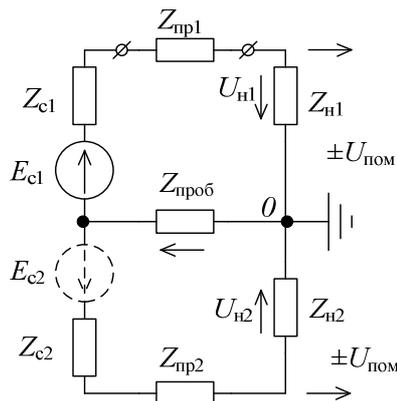


Рис. 2. – Поясняющая схема с общим обратным проводом

В этом случае из-за наличия общего сопротивления обратного провода $Z_{об.пр.}$ напряжения на нагрузках будут отличаться от истинного U_c на определенную величину напряжения помехи $U_{пом}$, т.е. $U_H = U_c + U_{пом}$.

Для получения качественной и количественной оценки влияния обратного провода упрощенная схема механизма гальванической связи на примере схемы (рис.2), позволяет считать, что в первом канале действует один источник сигнала ЭДС E_{c1} с внутренним сопротивлением источника Z_{c1} . Во втором контуре сигнал отсутствует ($E_{c2} = 0$): его источник представлен своим внутренним сопротивлением. Тогда, при наличии E_{c1} на сопротивлении нагрузки Z_{H2} будет возникать напряжение помехи $U_{пом}$, величина которой, в общем случае, зависит от соотношения параметров величин всех элементов данной схемы (E_{c1} , Z_{np} , Z_H , $Z_{об.пр.}$).

Для упрощения анализа можно использовать электрическую схему с активными сопротивлениями всех элементов, работающую от источника переменного напряжения E_c . Обозначим $Z_c + Z_{np} = Z_1 \approx R_1$, $Z_H = R_H$, $Z_{об.пр.} = R_0$, тогда схема по рисунку 2 примет вид, приведенный на рисунке 3. Примем положительное направление токов (I_1 , I_2 , I_0) в контурах.

Напряжение помехи на сопротивлении нагрузки R_H равно:

$$U_{пом} = U_0 = I_2 \cdot R_{H2} = U_2.$$

Можно показать, что в этом случае:

$$U_2 = \frac{E_c \cdot R_0 \cdot R_{H2}}{R_0 \cdot R_{\Sigma 1} + R_0 \cdot R_{\Sigma 2} + R_{\Sigma 1} \cdot R_{\Sigma 2}}, \quad (1)$$

где $R_{\Sigma 1} = R_1 + R_{H1}$, $R_{\Sigma 2} = R_2 + R_{H2}$ – эквивалентные сопротивления независимых частей контуров.

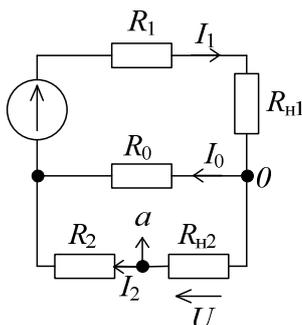


Рис. 3. – Эквивалентная схема гальванически связанных контуров с использованием активной составляющей сопротивлений

На основании изложенного, исследуемая лабораторная установка для оценки влияния гальванических связей и влияния общего обратного провода на уровень помех в гальванически связанных электрических цепях имеет вид (рис.4). Она подключается к регулируемому источнику постоянного напряжения в диапазоне от 0 до 60 В частотой 50 Гц.

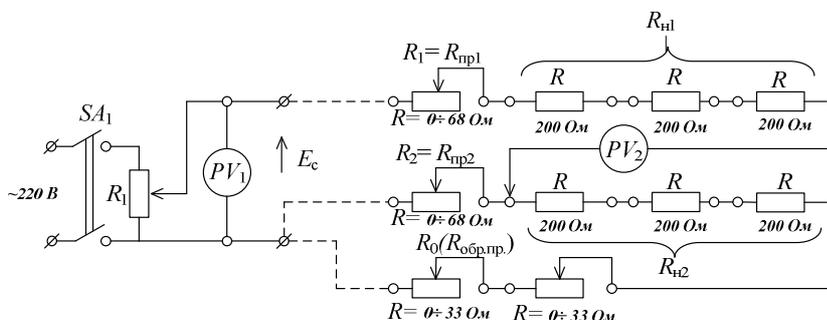


Рис. 4. – Электрическая схема установки для исследования влияния гальванических связей

Цепь состоит из набора независимых регулируемых наборов активных сопротивлений, из которых набираются два канала, соединяемых обратным проводом. Контроль E_c осуществляется вольтметром $PV1$, а напряжение помехи (наводки) – вольтметром $PV2$. Используя схему (рис.4), расчетно-экспериментальная оценка сопротивления связи ЗУ с использованием схемы замещения (рис.5), собранная в программе Multisim с одним источником сигнала и произвольным набором сопротивлений $R_c + R_{пр}$, R_0 , R_n . позволяет провести необходимое количество измерений и соответствующие расчеты по формуле (1).

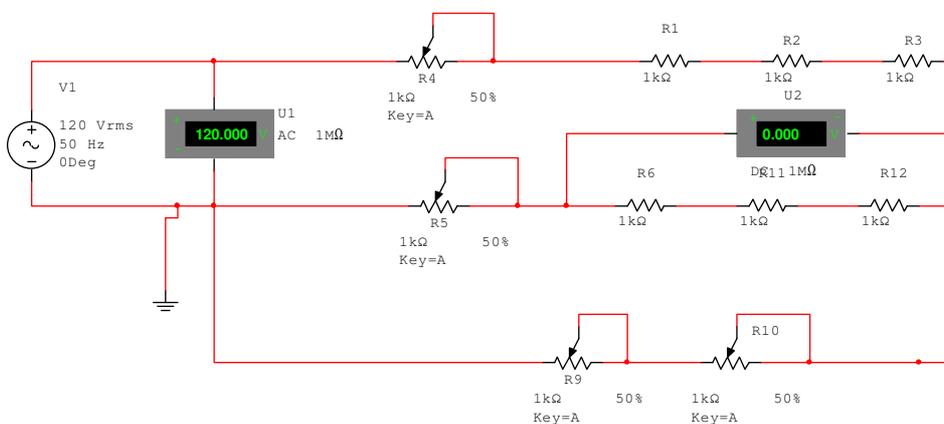


Рис. 5. – Схема замещения

Произведя несколько замеров напряжений помехи при различных сочетаниях E_c и сопротивлений $R_{c1} + R_{пр1}$, $R_{c2} + R_{пр2}$, $R_{н1}$, $R_{н2}$, R_0 , для частного случая ($R_{пр1} = R_{пр2} = R_0$; $R_{н1} = R_{н2} = R_n$), а также при $R_0 \rightarrow 0$ (устранение обратного провода) и сравнив полученные значения с расчетными по формуле (1) убедились, что наиболее эффективным является именно устранение обратного провода. Это значит, что сопротивление связи ЗУ должно быть как можно меньше, т.е. $R_0 \rightarrow 0$.

Следовательно, для устранения гальванических связей обратный провод должен иметь по возможности малое сопротивление или выполняться отдельно для каждого контура. Тогда даже при наличии гальванической связи между каналами (общая точка) взаимное влияние будет сведено к минимуму.

ВЫВОДЫ

1) При строительстве новых и реконструкции существующих ЭС и ПС необходимо уделять внимание решению проблем ЭМС размещаемой на них МП аппаратуры РЗА, АСУ, АСКУЭ, связи и т.п.

2) Имеющиеся типовые проектные решения следует, по возможности, приводить в соответствие требованиям ЭМС ТС.

3) Все мероприятия по определению и улучшению ЭМО не дадут необходимого эффекта, если применяемая на ЭС и ПС электронная аппаратура не будет удовлетворять минимальным требованиям устойчивости к помехам, а значит и совершенствованию нормативно-технической документации, позволяющей осуществлять решение проблемы ЭМС параллельно процессу реконструкции ЭС и ПС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дьяков, А.Ф. и др. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике и электротехнике [Текст] / А.Ф. Дьяков, Б.К. Максимов и др. Под ред. А.Ф. Дьякова. – М. : Энергоатомиздат, 2003. – 768 с.
2. СО 34.35.311-2004 (РАО ЕЭС России). Методические указания по определению электромагнитной обстановки на электрических станциях и подстанциях [Текст]. – М. : Издательство МЭИ, 2004.
3. Фоменко, О.В. и др. Защита микропроцессорной аппаратуры и ее цепей от внешних электромагнитных воздействий естественного и искусственного происхождения [Текст] / О.В. Фоменко, А.В. Пашковский // Глобальная ядерная безопасность. – 2013. – №3(8). – С. 65–68.

Influence of Communication Resistance on Damage of the Electronic Equipment in the Grounding Device

O.V. Fomenko*, M.A. Kostenko**, A.O. Novikova***

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

* e-mail: olvikfomenko@mail.ru, ** e-mail: privet.4321@mail.ru ; *** e-mail: novikova.9309@mail.ru

Abstract – In the article the experimental and settlement assessment of an electromagnetic situation is presented under the terms of protection of microprocessor equipment and secondary circuits on the open distributing device 220kV. In addition, actions for providing electromagnetic compatibility placed on it microprocessor equipment and its secondary circuits taking into account a condition of the grounding device are developed.

Keywords: electromagnetic situation, electromagnetic compatibility, open distributing device, grounding device, microprocessor equipment, resistance of communication.

**ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ,
СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ АЭС**

УДК 621.791.73.07

**О СВАРИВАЕМОСТИ ТЕПЛОУСТОЙЧИВЫХ СТАЛЕЙ РАЗНОЙ
ВЫПЛАВКИ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ**

© 2014 г. Н.Н. Подрезов*, Ю.В. Доронин**, Л.С. Хегай*

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

** *ООО «Аттестационный центр городского хозяйства», Москва*

В статье даны результаты исследования свариваемости корпусных сталей бейнитного класса 15X2НМФА и 10ГН2МФА, прошедших дополнительную обработку на УВРВ. Сделан вывод о влиянии способа выплавки основного металла на пластичность исследованных сталей в интервале температур существования аустенита.

Ключевые слова: свариваемость, теплоустойчивые корпусные стали, УВРВ (установка внепечного рафинирования и вакуумирования), аустенитный интервал, высокотемпературная пластичность.

Поступила в редакцию 24.07.2014 г.

Начиная с 1973 г. и по настоящее время в производстве сосудов давления АЭУ основными конструкционными материалами являются теплоустойчивые легированные стали бейнитного класса 15X2НМФА и 10ГН2МФА. Установлено, что на свариваемость этих сталей оказывает сильное влияние технология выплавки основного металла.

Не смотря на низкое содержание углерода, данные материалы изначально относились к ограниченно свариваемым по результатам аттестационных испытаний [1]. В начальный период времени эффективные меры и приёмы для повышения их свариваемости были отработаны в НПО ЦНИИТМАШ и внедрены на заготовках основного металла, выплавляемого по традиционным технологиям в мартеновских, электродуговых печах.

Однако при промышленном изготовлении оборудования АЭУ на отраслевых предприятиях в 1975-1980 г.г. практически сразу была установлена следующая особенность получения основного металла мартеновским и электродуговым способом. Приходилось часто применять дорогостоящую дополнительную термообработку для обеспечения сдаточного комплекса механических свойств изделий на разных стадиях их изготовления, что касалось и сварных соединений.

По этой причине, а также для обеспечения конструкционной хрупкой прочности в ОАО НПО «ЦНИИТМАШ» были выполнены успешные работы по переводу сталей 15X2НМФА и 10ГН2МФА на передовые технологии выплавки [2]. В 80-х годах на Ижорских заводах для корпусных сталей начали применять выплавку в основных мартеновских и электродуговых печах с последующей обработкой металла на установке внепечного рафинирования и вакуумирования (УВРВ) производства шведской фирмы ASEA [3]. Из-за достигнутого заметного улучшения механических характеристик, практически вся корпусная сталь к 1995 г. поставлялась только после дополнительной обработки на УВРВ.

Возникает вопрос, какое влияние оказывает введение обязательной дополнительной обработки на УВРВ на свариваемость корпусных сталей.

Изучалась высокотемпературная пластичность сталей 15Х2НМФА и 10ГН2МФА, таблице 1, в аустенитном интервале температур.

Таблица 1. – Химический состав исследованных промышленных сталей

N п/п	Химический состав, % вес									Способ выплавки
	C	Si	Cr	Ni	Mn	Mo	V	S	P	
10ГН2МФА										
1	0,10	0,26	0,19	2,24	0,85	0,46	0,03	0,015	0,010	УВРВ
2	0,10	0,26	0,26	2,25	0,95	0,47	0,04	0,013	0,009	ЭШП
3	0,11	0,27	0,13	2,05	0,90	0,54	0,02	0,016	0,012	ВДП
15Х2НМФА										
4	0,16	0,20	2,07	1,38	0,38	0,56	0,12	0,016	0,008	УВРВ
5	0,16	0,24	2,05	1,16	0,47	0,52	0,11	0,014	0,007	ОМП

Обозначения: ВДП – вакуумно-дуговая плавка, ОМП – основная мартеновская плавка, УВРВ – ОМП + обработка на установке внепечного рафинирования и вакуумирования.

Образцы (рис. 1) перегревали в область аустенита вплоть до солидуса, далее подстуживали и механически испытывали выше и около A_{C3} на установке ИМАШ-20-75 («Ала-Тоо»).

Радиационный нагрев осуществлялся молибденовыми нагревателями шириной 35 мм толщиной 0,25 мм в камере, где создавался вакуум порядка $10^{-4} \dots 10^{-5}$ атм. Среднюю часть образца размечали через семь мм на длине 20 мм и приваривали три термопары типа W – (W-Re) толщиной 0,3 мм. Нагрев и подстуживание образца проводился по термопаре, показывающей максимальную температуру. На среднем участке образца длиной 20 мм достигалась сравнительно равномерная температура прогрева, расчётная длина L_0 прогретого на заданную температуру участка принималась равной 10 мм.

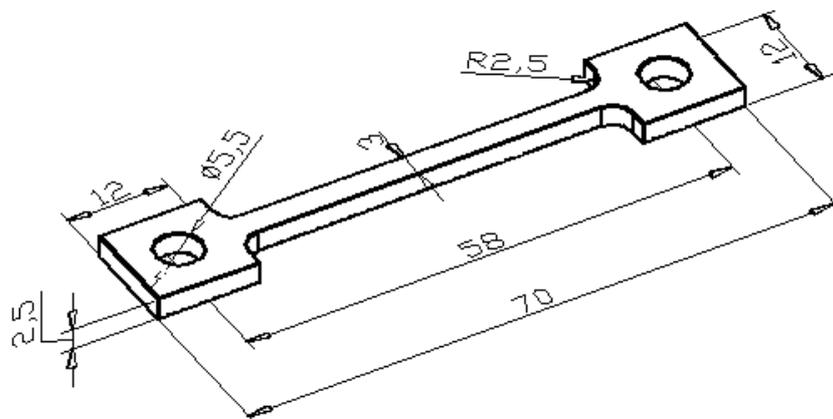


Рис. 1. – Образец для испытаний на установке ИМАШ – 20 – 78 «Ала-Тоо»

Незашемлённый в захватах машины образец нагревали до заданной температуры подстуживали до температур испытаний, изотермически выдерживали, растягивали.

Испытания проводили при скоростях растяжения 2; 0,16, 0,01 мм/мин, что соответствовало скоростям деформации в 10-ти миллиметровом участке образца $\sim 3 \cdot 10^3$; $\sim 3 \cdot 10^4$; $\sim 1,5 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$.

Результаты испытаний представлены на рисунке 2. Сталь 10ГН2МФА на ветви охлаждения после подстуживания от 1150 °С на разные температуры имеет минимум пластических свойств между 800...900 °С. Относительное сужение уменьшается от 95 до 40%, а относительное удлинение – от 115 до 55%. После выхода из минимума пластичности значения указанных характеристик возрастают до 80...85% и 75% соответственно.

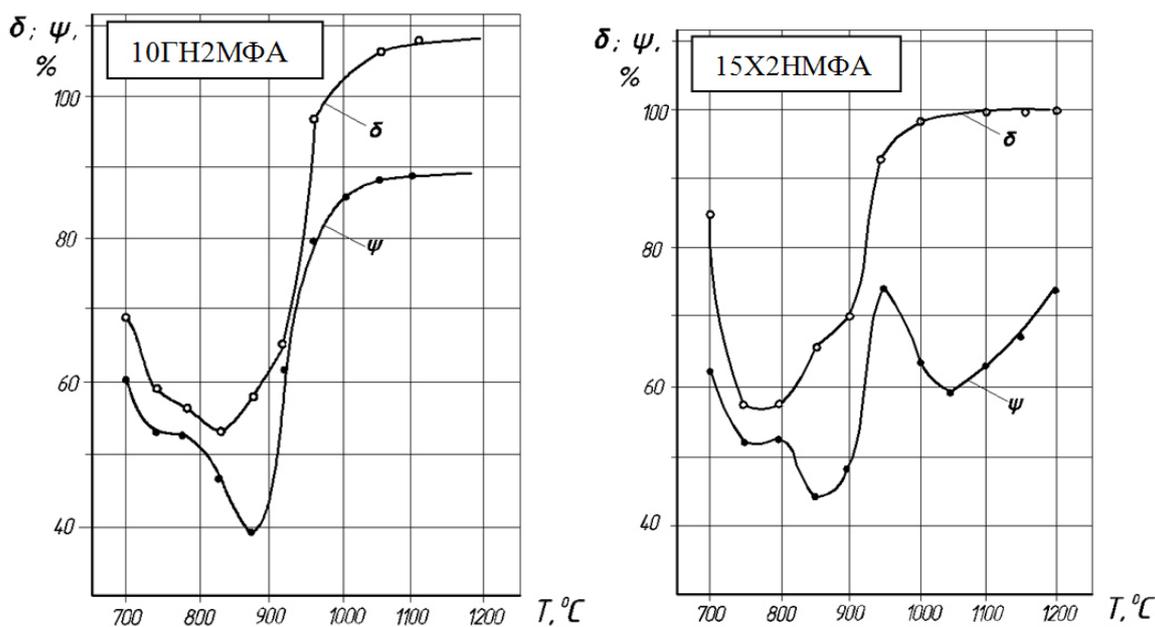


Рис. 2. – Пластичность корпусных сталей (табл. 1: №1, №4) после подстуживания от 1150 °С до $T_{исп}$, $V_p = 2$ мм/мин; δ – относительное удлинение; ψ – относительное сужение

Аналогичный провал пластичности установлен у стали 15X2НМФА. Важно отметить, что в ходе многочисленных экспериментов по средне-температурному интервалу хрупкости постоянно выявлялось большое сходство в результатах испытаний для обеих корпусных сталей. Как следует из анализа марочных полос по химическому составу [4] корпусные стали примерно одинаково сбалансированы по феррито- и аустенитообразующим легирующим элементам с учётом разницы по содержанию углерода.

Изучение влияния способа выплавки проводили на всех приведённых в таблице 1 сталях. Результаты испытаний образцов из промышленных плавок стали 15X2НМФА приведены в таблице 2. Образцы последовательно перегревались в аустенитную область на температуры 1150, 1200, 1250, 1300, 1350 °С, гомогенизировались, подстуживались до $T_{исп} = 850$ °С и после небольшой выдержки растягивались до разрушения. Скорость растяжения составляла 0,1...0,2 мм/мин, что соответствовало скорости деформации $\sim 3 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$ в равномерно нагреваемой зоне образца.

По результатам испытаний впервые было установлено влияние технологии выплавки стали 15X2НМФА на 850-градусную хрупкость. При $T_{II} = 1350$ °С наблюдали падение значений ψ до 15% ещё при сравнительно высокой скорости растяжения $V_p = 0,1...0,2$ мм/мин. При этом для «смягчения» имитационного термоцикла на ветви охлаждения под ТЦС электрошлаковой сварки металл до начала охлаждения выдерживался при T_{II} в течение 2 мин.

Таблица 2. – Влияние T_{II} на Ψ стали 15X2НМФА разной выплавки при подстуживании до $T_{исп.} = 850$ °С, $V_p = 0,1 \dots 0,2$ мм/мин

№№ по табл.1	Температура перегрева T_{II} , °С				
	1150	1200	1250	1300	1350
	Ψ , % при $T_{исп.} = 850$ °С				
УВРВ, №4	67	53	46	42	15
ОМП, №5	97	71	56	55	45

В целом из анализа данных таблицы 2 следует, что в аустенитной области перегретый мартеновский металл охрупчивается значительно меньше. Так, для мартеновской стали отношения $\psi_{1150} / \psi_{1250} = 1,76$, $\psi_{1300} / \psi_{1350} = 1,08$, для вакуумированной - $\psi_{1150} / \psi_{1250} = 1,46$, $\psi_{1300} / \psi_{1350} = 2,80$.

Можно предполагать усиление охрупчивания по мере дальнейшего уменьшения V_p вплоть до значений, соответствующих ползучести, т.е. при испытаниях образцов в условиях, приближенных к реальным процессам деформирования металла в сварном соединении. Эта тенденция прослеживается при испытаниях перегретой на 1350 °С стали 10ГН2МФА (пл. №№1-3, табл.1) при $V_p = 0,01$ мм/мин (рис.3). Для электродугового металла ψ составило 20% (кривая 2), электрошлакового переплава (кривая 1) ~ в два с половиной раза меньше, УВРВ (кривая 3) – 10%.

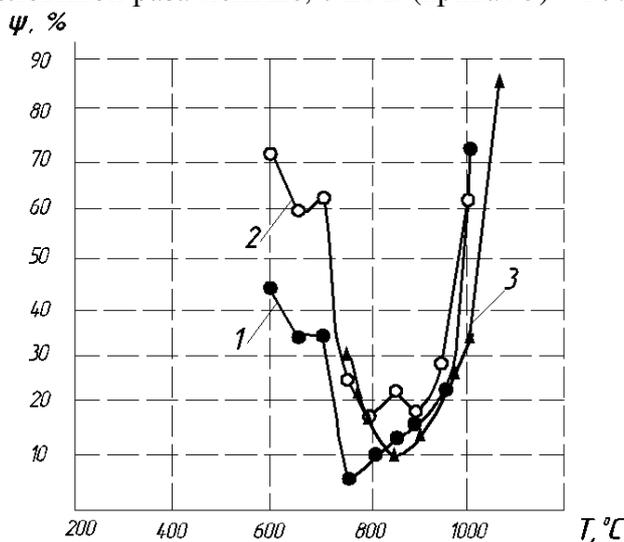


Рис. 3. – Пластичность стали 10ГН2МФА различной выплавки в аустенитной области после перегрева на 1350 °С. $V_p = 0,01$ мм/мин; 1 – ЭШП; 2 – ВДП; 3 – УВРВ

Ранее интервал пониженной пластичности аустенита при 700-850 °С был обнаружен Х. Сузуки с соавторами [5] применительно к процессам непрерывной разливки слябовых заготовок из обычных углеродистых хорошо раскисленных и рафинированных сталей.

В настоящей работе исследовались корпусные легированные стали, применяемые для сварки изделий АЭУ. Для температурного интервала 800...900 °С получен аналогичный результат: впервые установлен минимум пластичности, кроме того установлена его зависимость по критерию ψ от технологии выплавки основного металла при снижении скорости деформации растяжения до значений, возникающих при термомеханических циклах сварки. Например, скорость деформации металла шва и ОШЗ электрошлаковых сварных соединений находится в пределах $\sim 10^{-4} \dots 10^{-5}$ с⁻¹ [1].

ВЫВОДЫ

1) Легированные корпусные стали 10ГН2МФА и 15Х2НМФА с дополнительной обработкой в УВРВ имеют минимум пластичности в аустенитной области в диапазоне температур 800...900 °С.

2) Пластичность в обнаруженном снижении по критерию ψ зависит от:

– технологии выплавки основного металла. Чем более дегазированная и рафинированная сталь применяется, тем ниже её пластичность при 800...900 °С;

– температуры перегрева. Чем выше перегрев в аустенитной области, тем ниже пластичность;

– скорости деформации. Максимальное охрупчивание наблюдалось при $\sim 10^{-4} \dots 10^{-5} \text{ с}^{-1}$.

3) При исчерпании деформационной способности сварных соединений из сталей 10ГН2МФА и 15Х2НМФА в диапазоне 800...900 °С на ветви охлаждения ТЦС возможна потеря технологической прочности с образованием «тёплых» трещин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разработка, исследование и комплексная оценка свойств технологичных сталей перлитного класса, соответствующих требованиям международных стандартов, и разработка технологии производства с оформлением для применения в реакторостроении (отчёт по комплексной теме А-62) [Текст] / рук. Зорев Н.Н., Астафьев А.А., Тимофеев М.М., Дуб В.С. – М.: НПО ЦНИИТМаш, 1973. - С. 358.
2. Дуб, А.В. Развитие основных конструкционных материалов для изготовления реакторов ВВЭР [Электронный ресурс] / А.В Дуб // Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР: материалы VIII междунар. научно-технической конф., Подольск, 28-31 мая 2013 г. / ОКБ «Гидропресс». - Режим доступа: URL: <http://www.gidropress.podolsk.ru/files/proceedings/mntk2013/autorun/index-ru.htm>. – 15.07.2014.
3. Горынин, И.В. и др. Вероятностный анализ механических свойств материалов корпусов реакторов ВВЭР-1000 [Текст] / И.В. Горынин, Б.Т. Тимофеев, А.А. Сорокин // Проблемы прочности. – 2006. – №2. – С. 15–28.
4. Марочник сталей и сплавов [Текст] / А.С. Зубченко, М.М. Колосков, Ю.В. Каширский и др. Под общей ред. А.С. Зубченко. – М.: Машиностроение, 2003. – С. 784.
5. Сузуки, Х. и др. Зависимость между хрупкостью стали при высокой температуре и растрескивании непрерывнолитых заготовок [Текст] / Х. Сузуки // Тэцу то хаганэ.– 1981. – 67. – №4. – С. 171.

About Weldability of Heat-Resistant Steels of Different Smelting Used in the Nuclear Power Industry

N.N. Podrezov*, Y.V. Doronin**, L.S. Hegaj*

* Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,
73/94 Lenin St., Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360,
e-mail: p1n2f@rambler.ru ;

** LTD «Certification Center of municipal services», 47A Izmajlovskoe St.(schosse), Moscow, Russia 105187,
e-mail: beckenbauer@yandex.ru

Abstract – The paper presents results of investigation of weldability of the reactor and steam steel bainite class 15X2НМФА and 10ГН2МФА held for more processing in installation of secondary refining and vacuum. The conclusion about influence of metallurgical background base metal on plastic deformation is investigated in austenitic steels temperature range.

Keywords: welding, heat-resistant steel hull, installation of secondary refining and vacuum, austenitic interval, high-temperature ductility.

**ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ,
СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ АЭС**

УДК 621.791.01

**ПОДБОР ПАРАМЕТРОВ ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКЕ
ТРУБОПРОВОДОВ РЕАКТОРОВ АЭС**

© 2014 г. Д.В. Могилевский, Р.В. Пирожков, Т.А. Литвинова

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

Подобраны оптимальные сварочные параметры, которые позволяют добиться стабильного получения качественного сварного соединения. Приведена методика расчета сварочных параметров в зависимости от пространственного положения сварочной ванны.

Ключевые слова: сварные соединения, сварочная ванна, трубопроводы.

Поступила в редакцию 08.07.2014 г.

Для сварки в условиях ремонта и монтажа трубопроводов в основном применяются дуговые способы сварки, причем ручная сварка (аргонодуговая, покрытыми электродами) позволяет в отдельных случаях получать сварные соединения высокого качества. Однако при крупномасштабном и высокоответственном производстве ручные способы сварки не обеспечивают строгого соблюдения технологического процесса и контроля его параметров и, как следствие, – стабильности качества сварных соединений. При наличии вредного воздействия окружающей среды или опасных условий проведения работ на качество сварного соединения весьма негативное влияние оказывает психологическое состояние персонала, ограниченность средств и контроля. Необходимость устранения указанных недостатков, повышенные требования к надежности и качеству сварных соединений трубопроводов, улучшения условий труда одной из наиболее вредных производственных профессий определяют необходимость использования автоматизированной аргонодуговой орбитальной сварки (сварки неповоротных стыков труб). Применение защитной аргоновой среды позволяет получить более качественный сварной шов, позволяя предотвратить химические изменения в металле соединения [1].

Однако при использовании сварочных автоматов существует проблема сложности обеспечения стабильности получения качественных соединений. В частности, эта проблема встала при сварке корневых швов трубопроводов системы охлаждения атомного реактора, где до 30% сваренных швов не соответствуют требованиям НТД и нуждается в повторной пересварке. Поэтому актуальной задачей является разработка таких средств, которые позволили добиться стабильного получения качественных сварных соединений. В частности данные исследования направлены на подбор оптимальных и необходимых сварочных параметров.

Закономерности формирования проплава при сварке неповоротных стыков труб.

Для выявления особенностей формирования проплава при сварке неповоротных стыков труб, был проведен расчет высоты обратного валика h .

Основными геометрическими параметрами зоны проплава являются ширина шва B и высота проплава H , называемая в дальнейшем просто проплавом (рис. 1).

Ширина шва рассчитывается по формулам, основанным на теории

теплопроводности [2].

При данной ширине шва величина h может быть найдена по известному радиусу кривизны поверхности R .

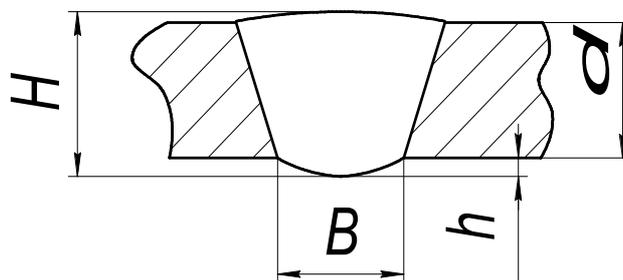


Рис. 1. – Геометрические параметры зоны проплава

Кривизну поверхности сварочной ванны определяли равновесием внешних сил (рис. 2) и силы поверхностного натяжения, описываемым уравнением Лапласа.

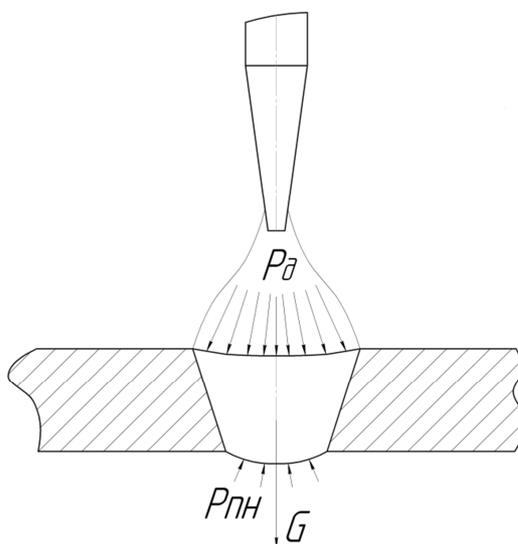


Рис. 2. – Силы, действующие на сварочную ванну

При применении уравнения Лапласа к сварочной ванне, во-первых, необходимо учитывать поправку на неизотермические условия на границе металл-газ (со стороны, противоположной сварочной дуге) и, во-вторых, можно пренебречь силой поверхностного натяжения, вызываемой кривизной верхней поверхности ванны. При этом условие равновесия и запишется в виде:

$$G + P_d - N = P_{пн}$$

где G – вес ванны;
 P_d – давление дуги;
 N – поправка на неизотермические условия;
 $P_{пн}$ – сила поверхностного натяжения, связанная с кривизной нижней поверхности.

По опытным данным, $N=0,23G$ [2], и тогда:

$$0,77G + P_d = P_{пн}$$

Это уравнение, строго говоря, справедливо лишь для случая ванны с осевой симметрией относительно дуги, т.е. при неподвижной дуге, но для простоты расчетов мы воспользуемся им и для перемещающейся дуги применительно к аргонно-дуговой сварке материала толщиной до 6 мм, когда отношение ширины ванны B к ее длине L , обычно более 0,6.

Для упрощения расчета примем, что поверхность ванны является поверхностью с кривизной в одном направлении (т.е. $R_1=R$, а $R_2=\infty$). Тогда разность давлений, возникающая на искривленной границе раздела в любой точке:

$$p = \frac{\sigma}{R}$$

где σ – поверхностное натяжение.

При этом опытные значения полученных h при сварке других типоразмеров труб больше расчетных. Расхождения вызываются, очевидно, деформацией поверхности ванны вследствие текучести металла, не учитываемой расчетной схемой. Характер и величина деформации зависят от наклона ванны в силу различного расположения дуги то отношению к направлению течения металла и различного гидростатического давления металла вследствие разного наклона кромок ванны.

В большинстве случаев одностороннюю сварку кольцевых стыков трубопроводов приходится выполнять без применения подкладок (медных, флюсовых и др.), поэтому при сварке металла толщиной более 3-4 мм применяют специальную (рис. 3) разделку кромок.

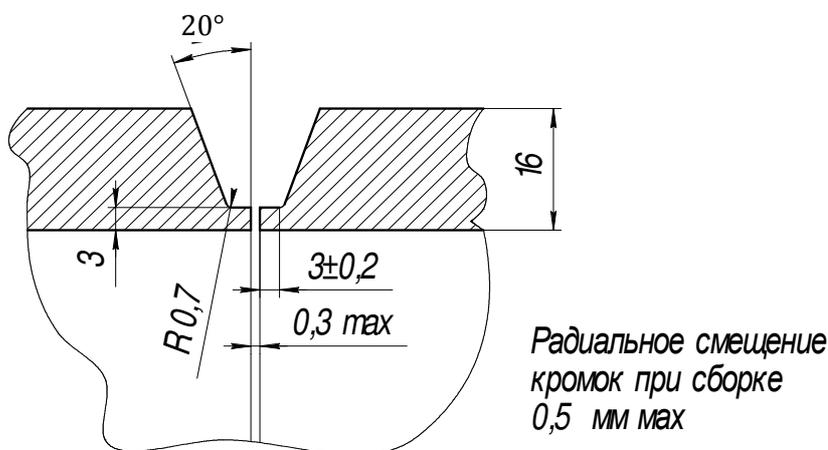


Рис. 3. – Схема разделки кромок при сварке металла толщиной более 3 мм

В этом случае предусматривают определенные размеры притупления кромки: ширину и толщину образовавшейся полки и величину зазора в корневой части стыка при сварке корневого шва (ПН АЭ Г-7-009 - 89. ОП). Ширина полки позволяет управлять силой поверхностного натяжения наружной поверхности ванны на границе фаз "жидкий металл – газ", а толщина притупления δ_{II} определяет массу ванны, удерживаемой силой поверхностного натяжения поверхности проплава с поверхностью, обеспечивающей требуемую величину выпуклости при сварке в нижнем положении и на подъем. При этом ширина полки и толщина притупления ее в корневой части стыка обеспечивают также возможность воздействия на наружную поверхность ванны, что позволяет дополнительно управлять формированием корневого слоя при сварке в потолочном положении. При определенной ширине полки наружная поверхность ванны за счет смачивания кромок разделки жидким металлом приобретает

кривизну, которая вместе с массой ванны уменьшает вогнутость шва при сварке в потолочном положении и на спуск, удерживая сварочную ванну от провисания и образования вогнутости.

Ориентировочные значения допускаемых размеров в собираемых стыках, а также выпуклости или вогнутости корневого шва в зависимости от толщины стенки свариваемых труб при TIG- и MIG/MAG-сварке. Смещение кромок (несовпадение торцовых поверхностей собираемых трубопроводов), как правило, не должно превышать 12 % толщины стенки, но не более 0,5 мм.

Для расчетов режимов орбитальной сварки неповоротных стыков воспользуемся «моделью управления дуговой сваркой неплавящимся электродом без присадочной проволоки» [3].

По ней известно, что:

$$G + P_{\partial} = P_{\text{пн}}, \quad (1)$$

$$P_{\partial} = 1,27 \cdot 10^{-5} \cdot I^2, \quad (2)$$

$$G_{\partial} = \frac{0,121\gamma\eta^2}{4\lambda(c\gamma)^2 T_{\text{пл}}^2} \cdot \frac{q_0^3}{V_{\text{св}}^2 \delta^2}, \quad (3)$$

$$P_{\text{пн}} = 19,5\sigma H, \quad (4)$$

где $c, \gamma, \lambda, T_{\text{пл}}$ – теплофизические свойства (теплопроводность, плотность, теплопроводность, температура плавления, соответственно) основного металла,

σ – коэффициент поверхностного натяжения,

H – величина проплава.

Данная модель действительна для нижнего положения.

Для расчета при сварке в положении, отличного от нижнего, уравнения требуют корректировки, так как направление силы тяжести не совпадает с направлением нормали к поверхности свариваемого металла. Ввиду этого введем в эти уравнения вместо веса ванны G его проекцию на направление нормали к поверхности металла ($G \cdot \cos \alpha$). Угол α отсчитывается от зенита против часовой стрелки (рис. 4).

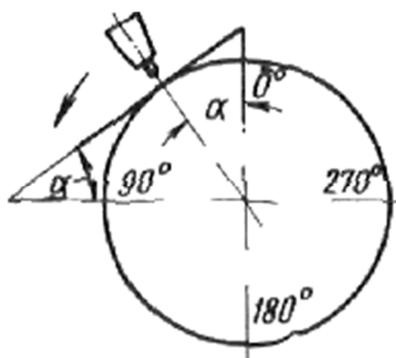


Рис. 4. – Схема для расчета при положениях, отличных от нижнего

Сопоставив уравнение (2), (3) и (4) получим следующее:

$$\frac{0,121\gamma\eta^3}{4\lambda(c\gamma)^2 T_{\text{пл}}^2} \cos \alpha \cdot \frac{q_0^3}{V_{\text{св}}^2 \delta^2} + 1,27 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 = 19,5\sigma H$$

где q_0 – полная мощность дуги, $q_0 = 0,24UI$.

Значение ширины проплава B для нижнего положения рассчитываем по следующей формуле:

$$B = \frac{0,484\eta_u}{V_{св}c\gamma\delta 2y_0} \quad (5)$$

В других положениях рассчитывается по формуле:

$$G = \frac{\pi}{4}BL_6H\gamma, \quad (6)$$

где L_6 – длина сварочной ванны.

Надтекание и подтекание металла предлагается моделировать изменением толщины δ . При определении величины изменения толщины в зависимости от пространственного положения исходили из прямой зависимости изменения ширины шва B от изменения толщины δ . Полученные значения отображены на графике (рис. 5).

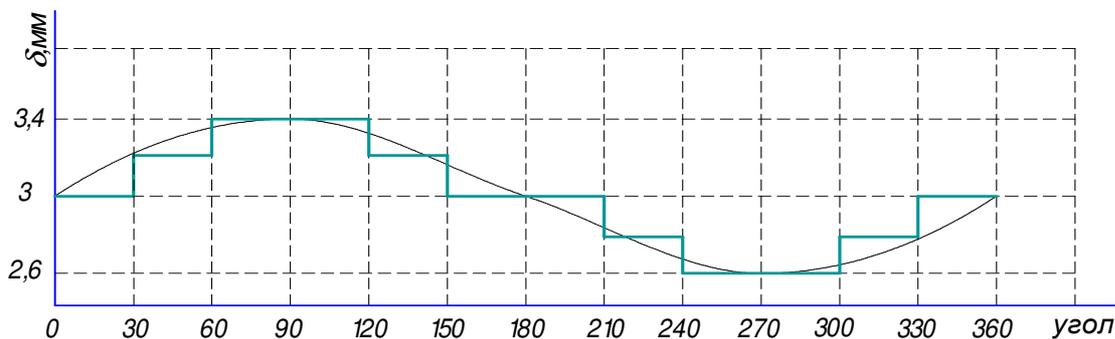


Рис. 5. – Изменение толщины в зависимости от пространственного положения

С учетом значения δ и решая полученное уравнение, при различных пространственных положениях определяем размеры шва.

Выпуклость шва находим как разность между высотой проплава H и толщиной материала δ :

$$h = H - \delta.$$

Согласно приведенной методике был проведен расчет режимов для сварки труб из стали 08X18N10 ($T_{пл} = 1470^\circ$, $\gamma = 7,9$ кг/м³, $\lambda = 16$ Вт/м·°C, $c = 504$ Дж/кг·°C). В качестве вероятных режимов были выбраны и использованы в расчетах параметры сварки по штатной технологии ($V_{св} = 3,7$ м/ч, $U = 8$ В, $I = 110$ А). Выходными параметрами расчета являются значения высоты обратного валика h и ширины шва B , к которым предъявлялся допуск соответствия ПН АЭ Г-7-009-89 по длине всего стыкового шва.

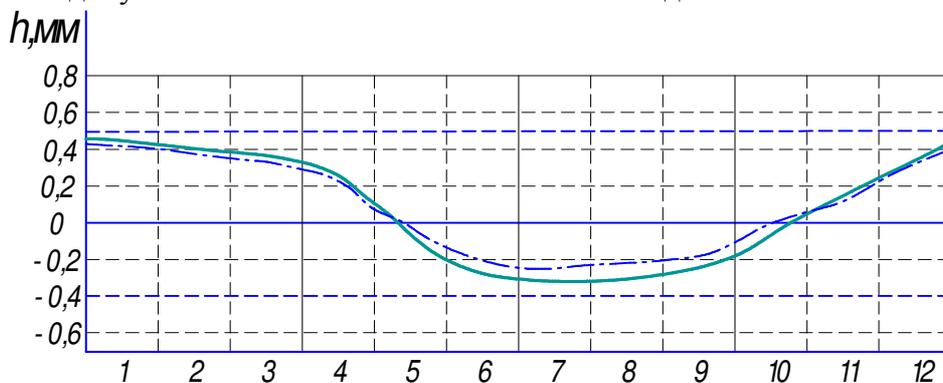


Рис. 6. – Изменение величины обратного валика в зависимости от пространственного положения, без зазора, с зазором $z = 0,3$ мм

В результате анализа полученных данных был составлен вариант программы изменения режимов сварки корневого шва (табл. 1).

Таблица 1. – Программа изменения режимов сварки корневого шва

Участок (интервал α), $^{\circ}$	Ток I, А	Скорость сварки $V_{св}$, м/ч	Напряжение U, В
0-15	110	3,8	8
15-45	115	3,8	8
45-75	120	3,8	8
75-105	125	3,8	8
105-135	120	3,9	8
135-165	115	4	8
165-195	115	4	8
195-225	118	4,1	8
225-255	128	4,2	8
255-285	132	4,2	8
285-315	120	4,2	8
315-345	118	3,9	8
345-0	110	3,8	8

При использовании данной программы изменений режимов получили следующие показатели величин обратного валика и ширины проплава шва (рис. 6, 7).

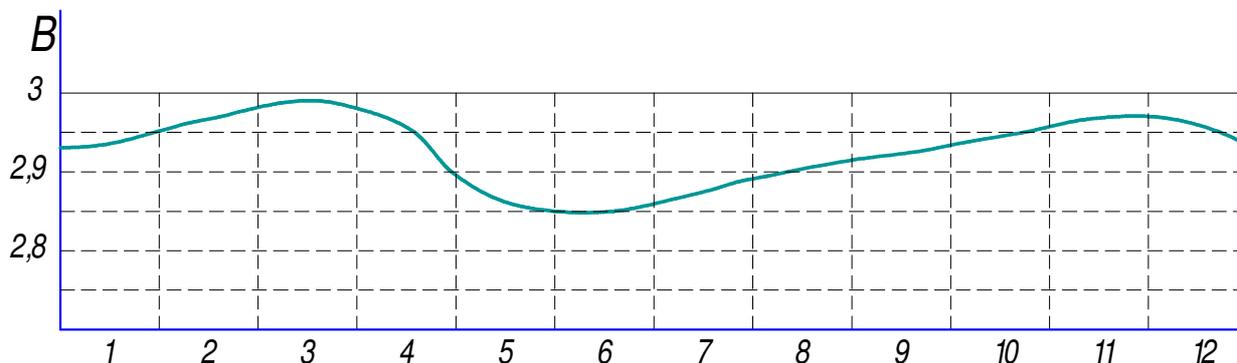


Рис. 7. – Изменение ширины проплава в зависимости от пространственного положения в условиях сборки с зазором $z=0,3$ мм

Подобная программа может быть применена и для прямолинейного шва. Однако не всегда можно обойтись условием постоянства основных параметров режима сварки на рабочем участке программы.

Температурное поле сварочной ванны изменяется по двум причинам: вследствие нестационарного теплового состояния ванны (что вызвано холодным металлом трубы в начале сварки) и вследствие встречного потока теплоты от дуги, который в зависимости от длины периметра стыка и мощности дуги подогревает сварочную ванну.

Начальную нестационарность теплового поля при сварке многих деталей можно ликвидировать вводом планки, на которой возбуждается дуга, но для стыка труб это неосуществимо. Можно применять начальный подогрев, задерживая дугу несколько секунд на месте. Такой прием не всегда дает хороший результат, так как ширина и

глубина кольцевого шва трубы изменяются по длине стыка, сваренного на постоянном режиме.

Более целесообразно корректировать тепловой режим в соответствии с изменением коэффициента теплонасыщения путем программного регулирования скорости сварки или тока дуги.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пирожков, Р.В. и др. Получение структуры стали 110Г13 методом электроконтактного уплотнения [Текст] / Р.В. Пирожков, Т.А. Литвинова, С.А. Томилин // Глобальная ядерная безопасность. – 2012. – № 4 (5). – С. 49–53.
2. Лыков, А.В. Теория теплопроводности [Текст] / А.В. Лыков. – М. : Высшая школа, 1967. – 600с.
3. Волченко, В.Н. Контроль качества сварных конструкций [Текст] / В.Н. Волченко – СПб. : Машиностроение, 1986. – 152 с.

Selection of Parameters for Automatic Welding of the Nuclear Reactors Pipelines

D.V. Mogilevsky*, R.V. Pirozhkov, T.A. Litvinova*****

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

** e-mail: tvand@mail.ru; ** e-mail: roman-3.14@yandex.ru; *** e-mail: bratsk_tanja@mail.ru*

Abstract – Optimal welding parameters admitting to achieve stable obtaining of qualitative joint weld were selected. Methods of calculation of welding parameters in relation to space attitude of welding pool are cited.

Keywords: joint welds, welding pool, pipings.

**ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ,
СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ АЭС**

УДК 621.791

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ,
ВЫПОЛНЕННЫХ МЕТОДОМ СВЕРХЗВУКОВОЙ
ГАЗОПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКИ**

© 2014 г. Т.А. Литвинова, Д.В. Могилевский, Е.И. Колоколов,
А.А. Мецлер, Н.Н. Подрезов

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

Проведено комплексное металлографическое исследование структуры защитных покрытий, выполненных методом сверхзвуковой газопорошковой наплавки. Выполнен фазовый рентгеноструктурный анализ структурных составляющих для определения внутреннего состояния покрытия. Был проведен анализ представленных дифрактограмм и микроструктур.

Ключевые слова: сверхзвуковая газопорошковая наплавка, порошковая сталь, микроструктура, защитные покрытия.

Поступила в редакцию 08.07.2014 г.

Как известно, одним из эффективных путей решения проблемы повышения долговечности деталей машин является использование современных технологических процессов создания защитных и упрочняющих покрытий. Следует отметить, что восстановление деталей практически всегда экономически выгоднее, чем приобретение новых, поскольку затраты составляют около 30% от стоимости новых деталей [1]. Существуют различные способы восстановления, многие из которых являются эффективными, но несмотря на это не находят широкого применения в промышленности из-за дороговизны и сложности аппаратуры, трудности её мобильного использования. Одним из методов, который сочетает в себе компактность, дешевизну и высокую мобильность оборудования, является метод сверхзвуковой газопорошковой наплавки (СГПН). В серийном производстве технология наплавки достаточно проста, затраты на эксплуатацию невысоки (в 3-5 раз ниже, чем при плазменном способе наплавки аналогичных покрытий) [2].

Целью настоящей работы является проведение комплексного исследования структуры защитных покрытий, выполненных методом СГПН. Для этого был проведен комплекс металлографических исследований структуры: микроструктурный анализ и фазовый рентгеноструктурный анализ структурных составляющих. В качестве исходных материалов использовали основной материал – порошковую сталь, химический состав представлен в [3] и наплавочного материала – порошковый самофлюсующийся сплав ПГ-СРЗ, химический состав приведен в таблице 1. Основной материал был получен методом электроконтактного уплотнения [4-7].

Таблица 1. – Состав порошкового самофлюсующегося сплава ПГ-СРЗ производства НПО «Тулачермет»

Материал	C	B	Si	Ni	Cr	Fe	Твердость HRC
ПГ-СРЗ	0,4-0,7	2,0-2,8	2,5-3,5	основа	13,5-16,5	5,0	48-52

Для исследований была подготовлена серия образцов (рис. 1) с различной толщиной ($h_{1,2} = 1,0-1,2$ мм; $h_{3,4} = 1,5-1,7$ мм) покрытия, выполненных сверхзвуковой газопорошковой наплавкой. Технология СГПН приведена в работе [8].

Для объяснения формирования прочности соединения покрытия с основным материалом было проведено микроструктурное исследование образцов, полученных сверхзвуковой газопорошковой наплавкой.



Рис. 1. – Образцы для исследования
(высота защитного покрытия образцов: а) $h = 1,0-1,2$ мм, б) $h = 1,5-1,7$ мм)

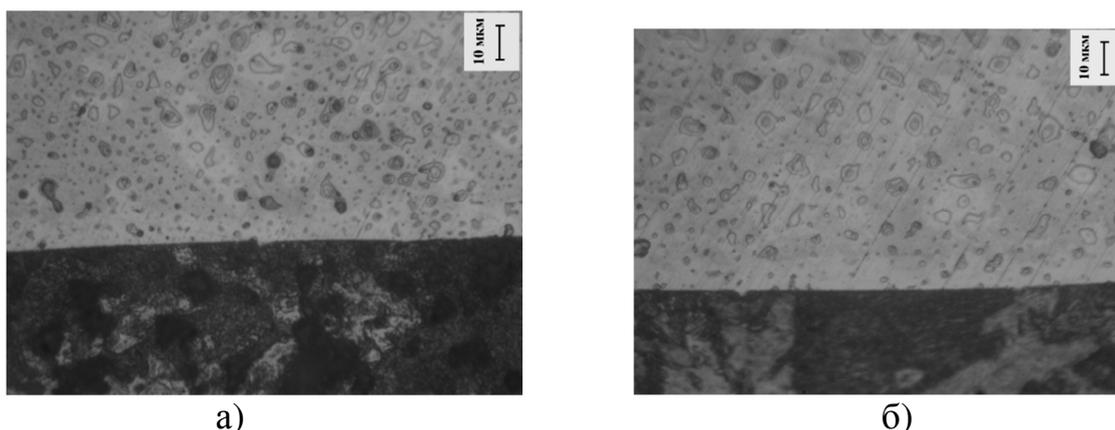


Рис. 2. – Распределение карбидных составляющих и граница сплавления защитного покрытия и основного металла (высота защитного покрытия образцов: а) $h = 1,0-1,2$ мм, б) $h = 1,5-1,7$ мм)

Микроструктурное исследование проводилось с использованием микроскопа МИМ-8. Из рисунка 2 видно, что в покрытиях полученных СГПН преобладают включения среднего размера, округлой формы, размер, которых однороден во всем объеме от границ сплавления до поверхности, не зависимо от высоты защитного покрытия. Следует отметить хорошую адгезию покрытия с основным металлом, о чем свидетельствует отсутствие на линии сплавления пленок, окислов, пор. Поры отсутствуют и в самом покрытии. Отсутствие пор и равномерно – упорядоченное расположение включений свидетельствует об оплавлении и кристаллизации с образованием эвтектики, характерной для формирования структуры самофлюсующихся сплавов.

С целью подтверждения данных микроструктурного анализа о наличии карбидов в составе покрытий проводили фазовый рентгеноструктурный анализ с используемым оборудованием, описанного [9]. Рентгеноструктурный анализ является основным методом определения фазового состава материалов и позволяет получать разностороннюю информацию из дифракционной картины.

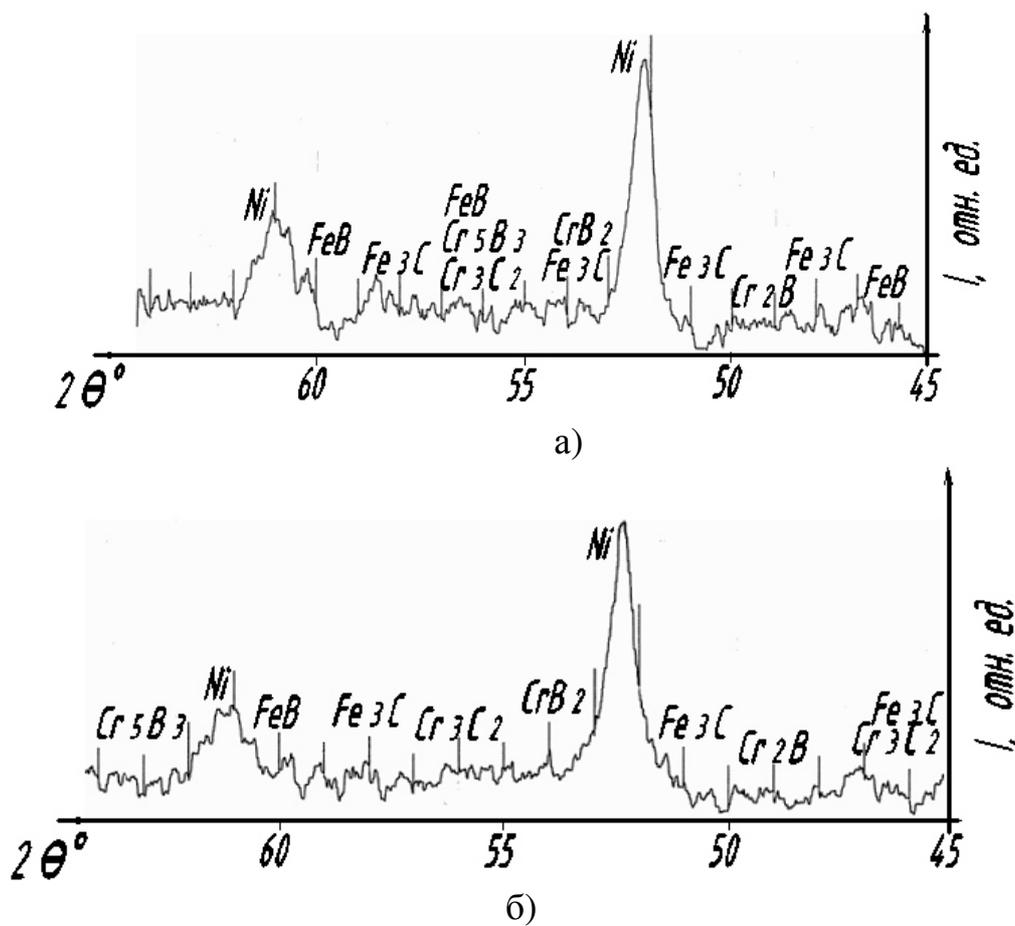


Рис. 3. – Фазовый состав защитных покрытий образцов
(высота защитного покрытия образцов: а) $h = 1,0-1,2$ мм, б) $h = 1,5-1,7$ мм)

Дифрактограмма покрытия, полученного методом сверхзвуковой газопорошковой наплавки, позволяет говорить о том, что в защитном покрытии основной составляющей является Ni с ГЦК решеткой. Присутствуют также бориды FeB, Cr_5B_3 , CrB_2 и карбиды: Fe_3C , Cr_3C_2 , Cr_7C_3 .

Исходя из химического и фазового состава покрытия и отсутствия его перемешивания с основным металлом, о чем свидетельствует состояние границы основной металл – покрытие, большая часть кремния, хрома и железа входит в ГЦК – матрицу никеля в виде твердого раствора замещения, это существенно упрочняет матрицу, вместе с наличием боридов повышает эксплуатационно-механические свойства композиции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радченко, М.В. Разработка технологической аппаратуры для сверхзвуковой газопорошковой наплавки [Текст] М.В. Радченко // Обработка металлов, 2007. – №1(34). – С.19 – 23.
2. Борисов, Ю.С. Использование сверхзвуковых струй в технологии газотермического напыления [Текст] / Ю.С. Борисов // Автоматическая сварка. – 1995. – № 1. – С. 41–44.
3. Литвинова, Т.А. и др. Закономерности формирования порошковой стали при электроконтактном уплотнении [Текст] / Т.А. Литвинова, С.Н. Егоров // Металлург. – 2013. – № 4. – С. 94–97.
4. Litvinova T.A., Egorov S.N. Powder steel formation under conditions of electric contact compaction // Russian Journal of Non – Ferrous Metals, 2009. – Т.50, № 5. – С. 522–524.
5. Litvinova T.A., Egorov S.N. The influence of production modes of the electrocontact compaction on the porosity of the powder steel [Текст] // Russian Journal of Non – Ferrous Metals, 2011. – Т. 52, №

1. – С. 101–102.
6. Литвинова, Т.А. Получение высокоплотного порошкового материала методом электроконтактного уплотнения [Текст] / Т.А. Литвинова // *Металлург.* – 2009. – №7. – С. 67–68.
7. Литвинова, Т.А. и др. Механические свойства порошковой стали, полученной методом электроконтактного уплотнения [Текст] / Т.А. Литвинова, С.Н. Егоров // *Металлург.* – 2010. – №1. – С. 65–67.
8. Радченко, М.В. и др. Современные технологии сварки и наплавки защитных покрытий на предприятиях Алтайского края [Текст] / М.В. Радченко, В.Г. Радченко, Ю.О. Шевцов, Т.Б. Радченко, С.А. Маньковский, Д.А. Нагорный // *Вестник алтайской науки.* – 2008. – №2. – С. 62–70.
9. Бойко Н.И., Фисенко К.С. Исследование качества поверхности наплавленного металла цилиндрической детали обработанной в горячем состоянии [Электронный ресурс] / Н.И. Бойко, К.С. Фисенко // *Инженерный вестник Дона.* – 2012. – №2. – Режим доступа: URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/746> – 10.07.2014.

Research of Protective Coatings Structure Made by the Method of a Supersonic Gas-Powder Overlaying Welding

T.A. Litvinova, D.V. Mogilevsky, E.I. Kolokolov, A.A. Metzler, N.N. Podrezov

*Volgodonsk Engineering Technical Institute
the Branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,
73/94 Lenin St., Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360
e-mail: VITkafMPM@mephi.ru*

Abstract – A comprehensive study of metallographic structure and properties of coatings made by the method of supersonic gas-powder surfacing. Phase analysis was carried out to determine the structural components of the internal condition of the coating. Conducted an analysis of the diffraction patterns and microstructures.

Keywords: supersonic gaspowder welding, powder steel, microstructure, and protective coatings.

**ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ,
СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ АЭС**

УДК 378.1:159.9

**ПРИМЕНЕНИЕ НЕПРЕРЫВНОГО ВЕЙВЛЕТ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ
ДЛЯ ОБРАБОТКИ ВИБРАЦИОННОГО СИГНАЛА**

© 2014 г. И.И. Лебедев*, В.И. Лебедев**, А.В. Чернов***

** Ростоватомтехэнерго, г. Волгодонск, Ростовская обл.*

*** Ростовская АЭС, г. Волгодонск, Ростовская обл.*

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

В статье рассматривается применение спектрального и непрерывного вейвлет-преобразования вибрационных сигналов с низким уровнем стационарности, полученных при виброобследовании центробежного насосного агрегата спецбытового энергоблока №4 Белоярской АЭС.

Ключевые слова: вибродиагностика, спектральный анализ, непрерывное вейвлет преобразование, дефект монтажа.

Поступила в редакцию 30.05.2014 г.

В настоящее время значительное количество работ в области вибродиагностики, основаны на использовании спектрального анализа диагностических сигналов. Определены диагностические признаки дефектов для тех или иных элементов машины, рассчитаны их характерные частоты, составлены диагностические таблицы.

Но наряду с неоспоримыми достоинствами преобразование Фурье обладает и определенными недостатками: а) исходный сигнал заменяется на периодический; б) при фурье-преобразовании изменяющихся параметров процесса со временем (нестационарных процессов) для всего исследуемого сигнала получаются усредненные коэффициенты. При этом теряется информация динамики развития процесса, и как следствие, теряется информация сигнала, отличающегося от стационарного. Поэтому методы, основанные на спектральном анализе, не позволяют на сегодняшний момент производить всесторонний анализ вибросигнала, что приводит к общим характерным погрешностям при проведении вибродиагностических обследований.

Для того, чтобы однозначно идентифицировать какой-либо дефект, необходимо применение дополнительных операций по обработке вибросигнала, как, например, анализ временной реализации, или проведение дополнительных замеров при различных режимах работы исследуемого агрегата, что не всегда является приемлемым в условиях производства.

При проведении пуско-наладочных работ на 4 энергоблоке Белоярской АЭС выполнено виброобследование насосного агрегата системы сбора «грязных» душевых вод. Результаты виброобследования приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Результаты первичного виброобследования, мм/с

Направление измерений	Место измерения			
	Электродвигатель		Насос	
	Подшипник 1	Подшипник 2	Подшипник 3	Подшипник 4
<i>B</i>	1,6	1,9	1,8	1,5
<i>П</i>	4,1	4,6	2,3	1,6
<i>О</i>	1,7	1,8	1,5	1,3

Для анализа работы агрегата снят спектр виброскорости, который представлен на рисунке 1.

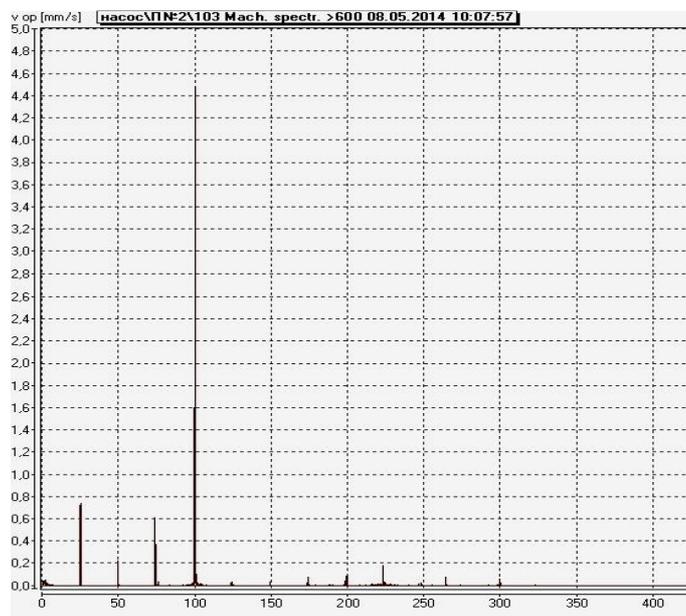


Рис. 1. – Спектр виброскорости

При проведении спектрального анализа наиболее вероятным дефектом будет являться асимметрия напряжения питания, диагностическим признаком которого является 100Гц составляющая спектра. Источником вибрации в этом случае является $2f_n$ – из-за появления поля с реверсивным вращением, где f_n – частота напряжения сети и равна 50Гц.

Наличие гармоник кратных частоте вращения говорит о биении (вала, ротора, муфты и т.д.).

Разница уровня вибрации в двух направлениях в 2 и более раза говорит о недостаточной жесткости опорных элементов конструкции насосного агрегата.

Проведенными исследованиями особенностей монтажа электротехнического оборудования атомных электрических станций, установлено: нарушение геометрии опорных поверхностей электропривода насосного агрегата приводит к появлению вибрационных процессов с недостаточной степенью стационарности, что делает проблематичным использование методов вибро-акустической диагностики, основанной на использовании спектрального анализа вибро-акустического сигнала. Указанная проблема может быть решена за счет использования непрерывного вейвлет преобразования вибро-акустических сигналов.

Как видно на рисунке 2 в области больших масштабов, соответствующей низким частотам, энергия сигнала периодически увеличивается, а затем уменьшается. Периодичность видна на протяжении всего участка сигнала.

Данное явление вызвано неравномерным прилеганием лап электродвигателя к опорной поверхности, причиной которого является неправильная центровка валов электродвигателя и насоса, а именно появление «мягкой лапы» электродвигателя.

При затяжке «мягкой лапы» создаются дополнительные напряжения на станине и корпусе электродвигателя, вследствие чего собственные частоты электродвигателя смещаются в область частот кратных частоте вращения. При появлении такого резонанса уровень вибрации увеличивается в 2-3 раза. Для снижения общего уровня вибрации агрегата достаточно найти «мягкую лапу» и отпустить её крепление.

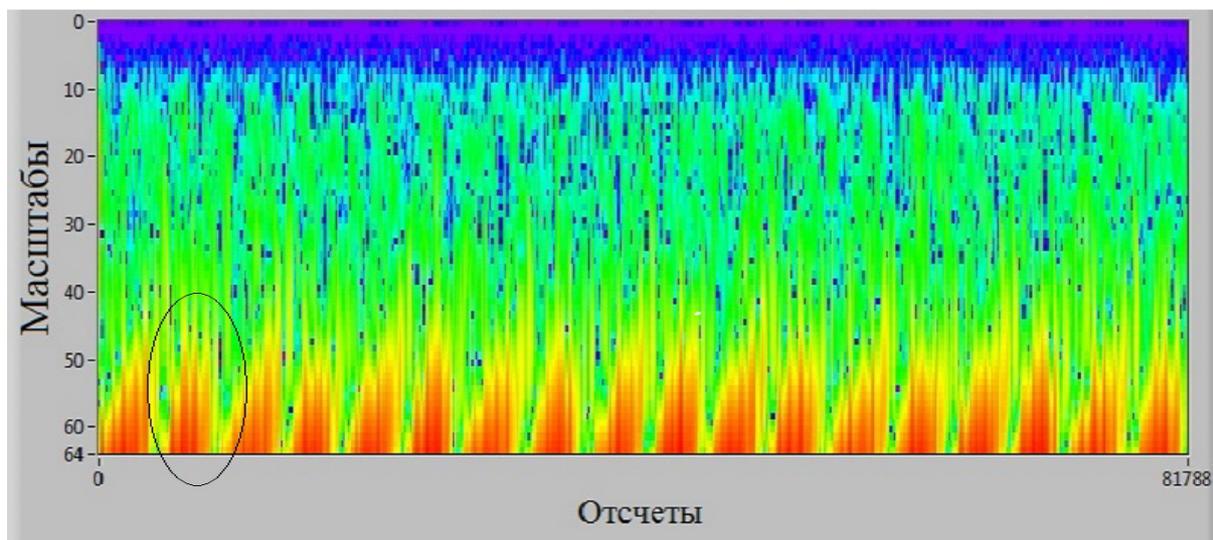


Рис. 2. – Непрерывное вейвлет-преобразование сигнала дефектного агрегата

Результаты, полученные после ослабления крепления, приведены в таблице 2.

Таблица 2. – Результаты повторного виброобследования, мм/с.

Направление измерений	Место измерения			
	Электродвигатель		Насос	
	Подшипник 1	Подшипник 2	Подшипник 3	Подшипник 4
<i>B</i>	0,7	0,9	0,9	0,7
<i>П</i>	0,6	1,0	0,9	0,8
<i>О</i>	0,5	0,5	0,4	0,3

На рисунке 3 представлена скейлограмма непрерывного вейвлет-преобразования сигнала агрегата после устранения дефекта.

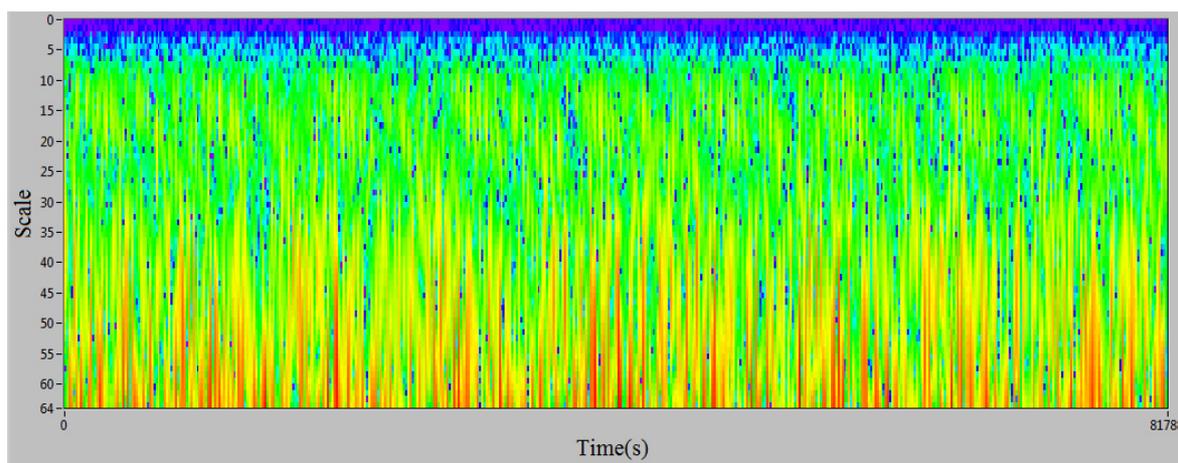


Рис. 3. – Непрерывное вейвлет-преобразование сигнала агрегата после устранения дефекта

Учитывая, что при снятии спектра сигнал усредняется, как правило, 3-4 раза, увидеть изменение энергии сигнала во времени не представляется возможным.

ВЫВОД

Использование непрерывного вейвлет-преобразования при обработке вибрационного сигнала позволяет создать частотно-временное представление при низком уровне стационарности, что может быть использовано при оценке качества монтажа оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барков, А.В. и др. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации [Текст] / А.В. Барков, Н.А. Баркова, А.Ю. Азовцев: учебн. пособие. – СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 2000. – 159 с.
2. Солодовников, Д.С. Новые подходы к первичной обработке вибросигналов роторных агрегатов [Текст] / Д.С. Солодовников // Мировое сообщество: проблемы и пути решения: Сб. науч. ст. – №6. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2000.
3. Яковлев, А.Н. Введение в вейвлет преобразования [Текст] / А.Н. Яковлев: учебное пособие. – СибНГТУ–НГТУ, 2003. – С. 104.
4. Синельщиков, П.В. и др. Особенности использования методов анализа частотных составляющих токового сигнала [Текст] / П.В. Синельщиков, А.В. Чернов // Глобальная ядерная безопасность. – 2012. – №1. – С. 109–112.

Continuous Wavelet-Transform Use for Vibration Signal Processing**I.I. Lebedev*, V.I. Lebedev**, A.V. Chernov*****

* *Rostovatomtechenenergo, Volgodonsk-28, Rostov region, Russia 347388,
e-mail: ilebedev161@gmail.com*

** *Rostov Nuclear Power Plant, Volgodonsk-28, Rostov region, Russia 347388,
e-mail: vi_lebedev_1985@mail.ru*

*** *Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of national Research Nuclear University
«MEPhI», 73/94 Lenin St., Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360
e-mail: viti@mephe.ru, avchernov@mephe.ru*

Abstract – The article discusses the use of spectral analysis and continuous wavelet transform vibration signals with low steady-state optioned by the centrifugal pump unit vibration inspection unit №4 Beloyarsk Nuclear Power Plant.

Keywords: vibrodiagnostics, spectral analysis, continuous wavelet transform, assembly defect.

**ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ,
СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ АЭС**

УДК 621.791.3:621.3.049.77

**ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПАЙКИ ЭКРАНИРУЮЩИХ
ПЕРЕГОРОДОК ДЛЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ**

© 2014 г. Н.В. Ермолаева, А.Н. Соромотин

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

В работе разработан технологический маршрут пайки экрана к печатной плате с применением технологии поверхностного монтажа. Осуществлен подбор паяльной пасты и метод ее нанесения, экспериментальным образом получен оптимальный режим пайки для конвекционной печи.

Ключевые слова: технология поверхностного монтажа, экранирующая перегородка, пайка, паяльная паста.

Поступила в редакцию 01.09.2014 г.

К печатным платам, применяемым в оборудовании и аппаратуре для атомных электрических станций, предъявляется ряд жестких требований к надежности, защите от воздействий электрических и магнитных полей, обеспечению теплового режима, быстрого доступа для настройки и замены неисправных элементов. Таким образом, обеспечение надежного и качественного теплоотвода для печатных плат является важной и актуальной технологической задачей.

На практике для обеспечения эффективной теплоотдачи широко применяются экранирующие металлические перегородки. Целью настоящей работы является оптимизация технологии пайки экранирующих перегородок для печатной платы для улучшения электрических характеристик, снижения стоимости приборов, повышения их ремонтпригодности. Для реализации поставленной цели было предложено применить технологию поверхностного монтажа для групповой пайки экранирующих перегородок.

Следует отметить, что поверхностный монтаж по сравнению с монтажом в отверстия имеет ряд преимуществ: микроминиатюризация аппаратуры при одновременном росте ее функциональной сложности, улучшение электрических характеристик, снижение стоимости приборов. Однако данная технология характеризуется повышенными требованиями к точности температуры пайки, ее зависимостью от времени, поскольку при групповой пайке нагреву подвергается весь компонент [1, 2].

Экранирующие перегородки представляли собой пластины из алюминия Д16 высотой 1,5 см и толщиной 3 мм покрытые слоем олово-висмут. Геометрия расположения экранирующих перегородок соответствовала топологии печатной платы. Внешний вид экрана представлен на рисунке 1, его расположение на плате показано на рисунке 2.

В существующий технологический маршрут сборки печатной платы были внесены изменения, соответствующие этапам сборки и пайки экранирующих перегородок к печатной плате. В частности, в данный маршрут были внесены следующие этапы:

- пайка частей экрана в единую экранирующую перегородку;
- нанесение паяльной пасты методом дозирования;
- установка экранирующих перегородок на печатную плату;
- пайка в конвекционной печи.



Рис. 1. – Внешний вид экранирующих перегородок

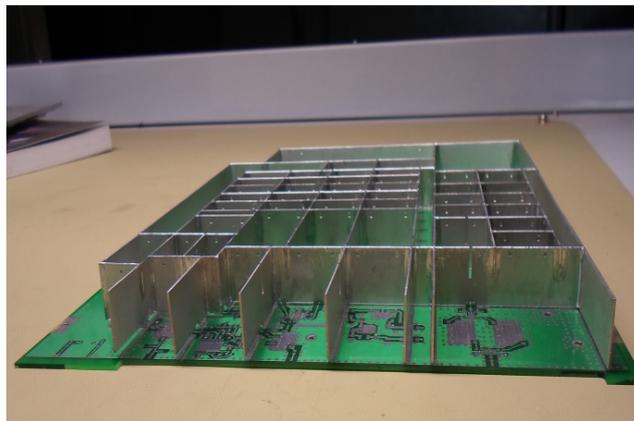


Рис. 2. – Расположение экранирующих перегородок на плате

Следует подчеркнуть, что экранирующая перегородка припаивалась к плате после установки основных элементов. Согласно технической документации на печатную плату были установлены высокотемпературные элементы. Таким образом, процесс пайки экрана в конвекционной печи не привел к деградации характеристик данных элементов.

Пайка деталей экрана между собой осуществлялась с применением припоя ПОС 61 ГОСТ 21931-76 методом ручной пайки.

Следующим этапом технологического процесса было нанесение паяльной пасты на плату. Поскольку на плату уже были установлены элементы, то нанесение методом трафаретной печати могло повредить элементы. Поэтому для нанесения паяльной пасты мы использовали нанесение с помощью дозирования с применением настольной системы дозирования WR300.

Так как на плате уже напаяны элементы с использованием паяльной пасты на основе Sn62/Pb36/Ag2, у которой температура оплавления составляет 183°C, то для пайки экранов требовалось подобрать паяльную пасту, у которой температура оплавления ниже, чтобы не произошла распайка элементов, установленных на плату. Нами был проведен анализ характеристик ряда паяльных паст. Было принято решение использовать паяльную пасту ТВ48-M742 [3]. Безотмывочная низкотемпературная паяльная паста КОКИ ТВ48-M742 D (точка плавления 138°C) предназначена для дозаторов, для бессвинцовой технологии.

Был проведен ряд экспериментов для подбора оптимального режима пайки. Пайка осуществлялась в конвекционной печи RO400FC. Данная печь оплавления представляет собой современную систему для пайки электронных узлов на печатных платах, а также для выполнения отверждения материалов. Печь имеет четыре зоны нагрева, которые представлены в таблице 1.

Выявлены пределы изменения скорости движения конвейера, позволяющие обеспечить доступ необходимого для расплавления пасты количества тепла (таблица 2).

При скорости конвейера 280 мм/мин и температуре в зоне пайки 165°C паста не расплавилась. При повышении температуры во всех зонах печи на 5°C паста начала

расплавляться, но оплавление произошло не полностью. При дальнейшем повышении температуры во всех зонах печи еще на 5° паяное соединение характеризовалось недостаточным смачиванием и серой пористой структурой. Поскольку более низкая температура пайки в нашем случае имеет принципиальное значение, так как необходимо, чтобы не произошла распайка ранее припаянных компонентов, то существенное увеличение температуры недопустимо. В ходе экспериментов было выяснено, что уменьшение скорости конвейера позволяет увеличить количество тепла, переданного пасте, и соответственно, улучшить качество пайки, не увеличивая температуру.

Таблица 1. – Зоны нагрева паяльной печи

Зона	Процесс
1	Предварительный нагрев (подъем температуры платы)
2	Зона активации (начало активации флюса и дополнительный предварительный нагрев платы)
3	Зона активации (активация флюса и дополнительный предварительный нагрев платы)
4	Зона пайки (камера двойного нагрева сверху и снизу)

Таблица 2. – Подбор режимов пайки оплавлением

Номер режима	Температура, °C				Скорость конвейера, мм/мин	Результат
	1 зона	2 зона	3 зона	4 зона		
1	80	120	150	180	280	Паста не расплавилась, некачественная пайка
2	90	135	160	185	280	Паста частично расплавилась, некачественная пайка
3	100	150	175	185	280	Паяное соединение характеризуется недостаточным смачиванием и серой пористой структурой, пайка плохого качества
4	100	150	175	185	270	Паста расплавилась, но оплавление произошло не полностью.
5	100	150	175	185	260	Паяльная паста расплавилась, пайка недостаточно хорошего качества
6	100	150	175	185	250	Качественная пайка
7	100	150	175	185	240	Структура пайки неровная и бугристая, некачественная пайка

Скорость конвейера варьировалась в пределах 270 – 240 мм/мин. Температура в зонах печи оставалась неизменной. При скорости конвейера 270 мм/мин паяльная паста расплавилась, но оплавление произошло не полностью. При скорости конвейера 240 мм/мин наблюдались следы перегрева (пайка потемнела, внешний вид пайки неровный и бугристый), в целом пайка была некачественной.

Расплавление паяльной пасты и ее полное оплавление было достигнуто при скорости конвейера 250мм/мин. В таблице 3 приведен оптимальный режим пайки оплавлением. При данных параметрах режима пайки произошла пайка экрана к печатной плате и не произошла распайка элементов, ранее установленных на плату.

Таблица 3. – Оптимальный режим пайки оплавлением

Температура, °С				Скорость конвейера, мм/мин
1 зона	2 зона	3 зона	4 зона	
100	150	175	185	250

В целом, применение технологии поверхностного монтажа для групповой пайки экрана позволило значительно облегчить процесс пайки, сократить время, затрачиваемое на пайку экрана к печатной плате, повысить автоматизацию производства, уменьшить трудоёмкость и увеличить продуктивность.

ВЫВОДЫ

В результате проведенной работы в технологический маршрут сборки печатной платы была внедрена технология поверхностного монтажа для групповой пайки экрана, а именно: отработан режим пайки частей экрана в единый экран, осуществлен подбор паяльной пасты и метод ее нанесения, экспериментальным образом получен оптимальный режим пайки для конвекционной печи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сускин, В.В. Основы технологии поверхностного монтажа. [Текст] / В.В. Сускин – Рязань: Узоречье, 2001 – 160 с.
2. Поверхностный монтаж [Электронный ресурс] / Режим доступа: URL: http://www.ostec-materials.ru/tech_lib/technology/poverhnochnyy-montazh.php – 25.05.2014
3. Режимы пайки оплавлением [Электронный ресурс] // Информационный портал по технологиям производства электроники/ – Режим доступа: URL: http://www.elinform.ru/articles_2.htm – 25.05.2014.
4. Паяльная паста КОКИ ТВ48-М742 D [Электронный ресурс] / Режим доступа : URL: <http://www.mettatron.ru/produktsiya/bessvintsovye-payalnye-pasty> – 25.05.2014.
5. Основы технологии и оборудование для поверхностного монтажа. [Электронный ресурс] / Информационный портал по технологиям производства электроники – Режим доступа: URL: <http://www.elinform.ru> – 25.05.2014.

Optimization of the Shielding Walls Soldering Technology for Printed-Circuit Boards

N.V. Ermolaeva*, A.N. Soromotin**

*Volgodonsk Engineering Technical Institute
the Branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,
73/94 Lenin St., Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360
* e-mail: NVErmolayeva@mephi.ru ; ** e-mail: vorped92@yandex.ru*

Abstract – The technological route of the shield soldering for the printed-circuit board is developed by means of the superficial installation technology. Selection of soldering paste and method of its drawing is carried out. The optimum mode of the soldering for the convection furnace is received experimentally.

Keywords: superficial installation technology, shielding wall, soldering, soldering paste printed-circuit board.

**ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ,
СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ АЭС**

УДК 004.825

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УСТРОЙСТВА
КООРДИНАТНОГО СЛЕЖЕНИЯ TRACKIR ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ
КООРДИНАТ ЭЛЕКТРОДА В МУЛЬТИМЕДИЙНОМ
ТРЕНАЖЕРЕ СВАРЩИКА РДС¹**

© 2014 г. **В.В. Кривин, И.О. Ишигов, В.А. Толстов,
А.А. Тямалов, Н.А. Симакова**

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

В статье обосновывается применение в качестве устройства координатного слежения системы TrackIR в мультимедийном тренажёре для обучения сварщиков. На основе метрологического анализа данного устройства и поля погрешностей получено, что устройство пригодно для моделирования процесса ручной дуговой сварки.

Ключевые слова: измерения координат, ручная дуговая сварка, метрологический анализ, математическое моделирование.

Поступила в редакцию 02.09.2014 г.

Требования к качеству выпускаемой продукции постоянно возрастают, поэтому в современных условиях должен совершенствоваться и процесс обучения сварщиков. Система обучения сварщиков в основном заключается в формировании у обучаемых программных моторных навыков путем проведения множества реальных процессов. При обучении корректировка движений ученика затруднительна, так как он не видит траекторию своих движений, а все действия обсуждаются после проведения процесса сварки. Такой способ сопровождается необъективностью оценки и потерей информации. Для повышения качества процесса обучения навыкам РДС разрабатываются тренажёрные системы. Одним из требований к тренажёрам является как можно более точное воспроизведение РДС. Данная точность зависит от характеристик технических устройств и расчетных алгоритмов в составе тренажёра. В частности, важно знать точность устройства координатного слежения (УКС), так как оно регистрирует действия обучаемого сварщика [1] и предоставляет входные данные математическим моделям тренажёра.

Входными данными для моделирования виртуальной сварки являются координаты торца имитатора электрода и углы его наклона, зарегистрированные с помощью УКС. Выходными данными считаем сварное соединение, наблюдаемое сварщиком с помощью устройства отображения. На рисунке 1 представлена операторная схема преобразований. Рассматривается только визуальный канал как самый важный для сварщика [2].

Каждый из операторов выполняет сложные вычисления, поэтому метрологический анализ схемы проводится следующим образом. Пусть известны

¹ Исследование проведено в рамках выполнения государственного контракта ГК «Росатом» по направлению «Компьютерный тренажер для обучения навыкам сварки при изготовлении и монтаже конструкций энергетического машиностроения».

допустимые погрешности конечного результата, т.е. погрешности геометрических параметров виртуального сварного шва. Исходя из этого, можно по цепочке рассчитать погрешности промежуточных данных. В результате получим требования к погрешности входных данных. С другой стороны, можно провести анализ части операторной схемы. За отправную точку анализа взяты координаты виртуального электрода. Предъявим к ним определённый уровень погрешности. Продвигаясь по схеме в обратном направлении, определим области пространства, в которых погрешность определения декартовых координат отражателей не приводит к превышению требуемого уровня погрешности.



Рис. 1. – Схема преобразования данных

Рассмотрим преобразование координат образов в декартовы координаты отражателей. Введём обозначения: $R_{i,j}$ – i -я координата j -го отражателя в пространстве; $r_{k,j}$ – k -я координата образа j -го отражателя на матрице камеры; L_{mn} – расстояние между m -м и n -м отражателем, которые фиксированы конструкцией системы отражателей. Тогда связь между координатами r и R описывается системой уравнений:

$$\begin{cases} \frac{r_{k,j}}{R_{k,j}} = \frac{f}{R_{3,j}} & k = \{1;2\}, j = \{1;2;3\} \\ \sum_{i=1}^3 (R_{i,1} - R_{i,2})^2 = L_{12}^2 \\ \sum_{i=1}^3 (R_{i,1} - R_{i,3})^2 = L_{13}^2 \\ \sum_{i=1}^3 (R_{i,2} - R_{i,3})^2 = L_{23}^2 \end{cases} \quad (1)$$

Будем упрощенно считать, что отражатели являются точечными объектами. В

реальности этим точкам будут соответствовать геометрические центры реальных отражателей. На рисунке 2 представлено, как формируется образ отражателя на матрице камеры УКС.

Пусть образ j -го отражателя попал на пиксел P_j с координатами левого верхнего угла $(r_{1,j}, r_{2,j})$, выраженными в номерах пикселей в строке и колонке соответственно. Координаты образа отражателя на матрице камеры находятся в пределах прямоугольной области, ограниченной точками $(r_{1,1}, r_{1,2})$, $(r_{1,1}, r_{1,2}+1)$, $(r_{1,1}+1, r_{1,2})$, $(r_{1,1}+1, r_{1,2}+1)$.

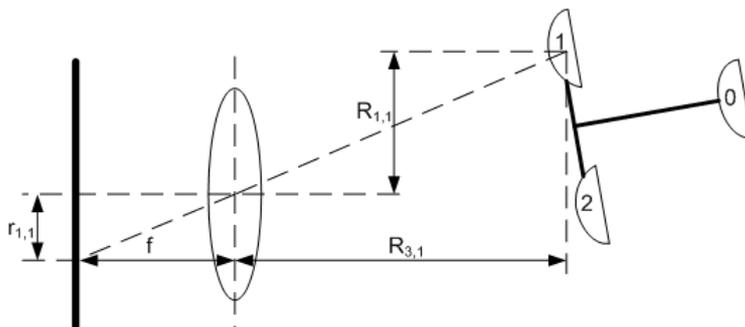


Рис. 2. – Формирование изображения на матрице камеры

Если принять за положение образа центр пиксела, абсолютные погрешности координат образов известны и равны 0,5. Поскольку пиксели малы по геометрическим размерам, заменим неизвестное нелинейное преобразование координат образов r в декартовы координаты R отражателя линейной аппроксимацией в окрестности точки $(r_{1,1}+0,5; r_{1,2}+0,5)$.

Рассчитаем соответствующие им погрешности определения пространственных координат отражателей. Реальные положения образов отражателей при известных пикселах P_i занимают гиперкуб C в шестимерном пространстве с осями $r_{i,j}$. Тогда C отобразится в некоторый выпуклый многогранник с плоскими гранями в 9-ти мерном пространстве с осями $R_{i,j}$. Отображение между пространствами r и R взаимно однозначно. По основной теореме линейного программирования максимум размера этого многогранника по любой из осей (т.е. величина погрешности определения каждой из координат R) достигается на его вершинах. Каждая вершина многогранника – образ вершины исходного гиперкуба C . Вершинам многогранника соответствуют такие положения образов отражателей, которые находятся в углу своего пиксела.

Так как одному образу соответствует 1 пиксел, а у пиксела 4 угла, то у гиперкуба C будет 4^3 , т.е. 64 вершины. Для каждой из этих вершин находим координаты соответствующих пространственных положений отражателей. Используя минимальные и максимальные значения каждой из них, определим погрешность измерения.

Поясним постановку задачи линейного программирования. Примем за начало координат предполагаемое расположение отражателей O (9-тимерная точка, состоящая из 3-х координат 3-х отражателей). Пусть ось x_l направлена в сторону P^{\max} – максимально удаленной точки многогранника, охватывающего область всех возможных положений отражателей при фиксированных положениях образов. Тогда, принимая ограничение, что точка максимума должна быть внутри многогранника (т.е. область поиска ограничена плоскостями, в которых расположены грани многогранника), и $f(x_l)=x_l$ – за оптимизируемую линейную функцию, имеем следующую задачу линейного программирования. Максимум $f(x_l)$ должен достигаться в точке P^{\max} . Но максимум достигается на вершине многогранника, поэтому P^{\max} – его вершина.

Чтобы построить поверхность, на которой выполняется заданная погрешность,

необходима оценка погрешности для всех положений системы отражателей в пространстве, которые возможны при работе УКС. При сильных наклонах вперёд или назад отражённые лучи не попадают в объектив камеры, поэтому такие ситуации в расчётах не рассматривались.

Кроме этого, погрешность нужно определить для каждой из координат R_{ij} . Это требует большого объёма вычислений. Чтобы уменьшить его, задача разбита на две подзадачи. Рассмотрим их на примере декартовой координаты z дальнего отражателя 1 рамки. В расчётной модели ей соответствует переменная $R_{3,1}$. Сначала нужно найти хотя бы одну точку, в которой определение погрешности данной координаты соответствует заданному уровню ε^0 . Будем искать её на луче, направленном через центр линзы по нормали к камере. Задача сводится к решению уравнения:

$$\varepsilon(R_{3,1}) - \varepsilon_{R_{3,1}}^0 = 0. \quad (2)$$

Уравнение решено методом бисекций. Поиск решения осуществляется постепенным сужением области его поиска до величины, определяемой заданной точностью ε^0 , равной 1 мм. На первом шаге поиска область поиска задана, исходя из рекомендаций производителя УКС: отражатели должны находиться на расстоянии не ближе 60 и не дальше 90 см от камеры.

На втором этапе необходимо задать новое положение образов r , и решить систему (1) для всех вершин гиперкуба C , соответствующих этому положению. В результате определяются абсолютные погрешности определения декартовых координат R . Чтобы уменьшить объём вычислений, принято следующее ограничение. Поскольку сварка стыковых швов осуществляется перемещением торца электрода по определённой траектории, то наиболее вероятно его нахождение в окрестности свариваемого стыка. Стык расположен на плоскости, образованной поверхностью свариваемых деталей. Поэтому процесс перебора повторяется, пока не будут определены погрешности во всех точках поверхности.

Расчёт реализован в пакете MATLAB. На рисунке 3 показаны поля погрешности для координат дальнего отражателя 0 по схеме на рисунке 1, поскольку предполагается, что в конструкции тренажёра он расположен близко к торцу электрода. По вертикальной оси e отложена погрешность. Горизонтальные оси x и z на графике соответствуют осям x и z УКС. Координата y была фиксирована.

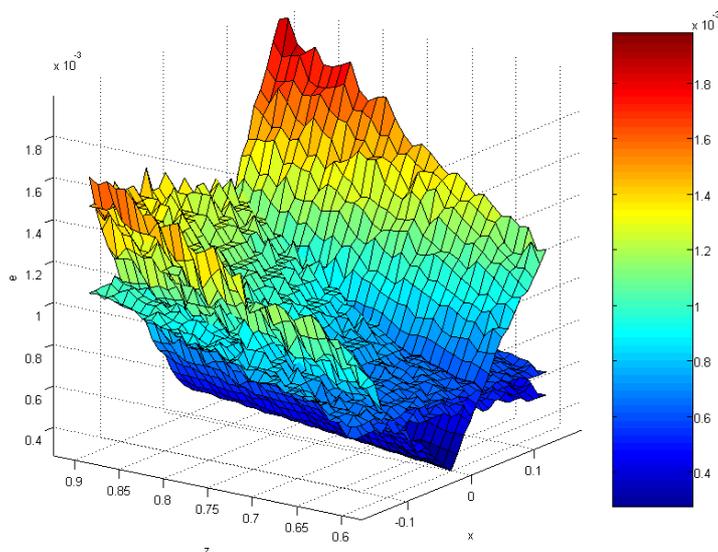


Рис. 3. – Поля погрешности определения координат УКС

Эксперименты показали, что этого достаточно для адекватного моделирования процесса РДС [3]. По представленным полям определено, что отражатель 1 должен находиться на расстоянии 70 см от УКС по оси z , при амплитуде перемещений по оси x не более 10 см.

В результате проведенного исследования установлено, что УКС TrackIR может определять координаты с погрешностью не хуже 1 мм, поэтому его можно применять для регистрации координат при моделировании процесса РДС в мультимедийном тренажере.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кривин В.В. и др.* Мультимедийный тренажер для ручной дуговой сварки [Текст] / В.В. Кривин, А.В. Сас, И.О. Ишигов и др. // Сварочное производство. – 2010. – №5. – С. 57–59.
2. *Сас А.В.* Методы, методика и электронные тренажеры подготовки и аттестации сварщиков //Состояние и основные направления развития неразрушающего контроля сварных соединений объектов транспорта газа: материалы отраслевого совещ. – М. : ООО "ИРЦ Газпром", 2006. – С. 225–232.
3. *Толстов В.А. и др.* Экспериментальное определение ограничений для модели процесса РДС в мультимедийном тренажере [Текст] / В.А. Толстов, Л.О. Ишигова, В.Г. Цуверкалов и др. // Глобальная ядерная безопасность. – 2012. – №4(5). – С.54–59.

The Use Of The Coordinate Tracking Device TRACKIR For Measurement Of Electrode Coordinates In The Multimedia Training System For Manual Arc Welding

V.V. Krivin, I.O. Ishigov, A.A. Tyamalov, V.A. Tolstov, N.A. Simakova

*Volgodonsk Engineering Technical Institute
the Branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,
73/94 Lenin St., Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360
e-mail: VITkafIUS@mephi.ru*

Abstract – The article explains the application of the coordinate tracking device TrackIR for the multimedia training system for welders. The device is concluded to be suitable for modeling of manual arc welding process on the basis of metrological analysis of this device and a field of errors.

Keywords: coordinate measuring, manual arc welding, metrological analysis, mathematical modeling.

УДК 621.039:532:533.6

УПРАВЛЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕНЬЮ НАД БРЫЗГАЛЬНЫМИ БАССЕЙНАМИ АЭС. ГИДРОАЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

© 2014 г. В.Г. Бекетов, О.Л. Кольченко, Г.В. Домрина, Ю.М. Матевосян

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

В статье изложены результаты предварительных исследований простой конструкции плоской решетки, с помощью которой возможно управление скоростной структуры воздушного потока над брызгальными бассейнами АЭС. Рассмотрены вопросы гидроаэродинамического моделирования. Применение конструкции позволит значительно снизить непроизводительные потери воды.

Ключевые слова: воздушный поток, брызгальные бассейны, решетка, гидроаэродинамическое моделирование, аэродинамическая тень, водобойная стенка.

Поступила в редакцию 04.08.2014 г.

При работе многих агрегатов АЭС необходимо отводить в окружающую среду большое количество теплоты. В качестве промежуточной охлаждающей среды для оборудования и помещений главного корпуса используют техническую воду, которую затем охлаждают вне главного корпуса. Для работы АЭС техническое водоснабжение имеет немаловажное значение, во многом определяя надежность и экономичность ее работы. Капиталовложения в систему технического водоснабжения составляют 5-10% (в отдельных случаях и более) от общей стоимости установленного киловатта. Поэтому необходимо уделять большое внимание при обосновании и выборе проектных решений для системы технического водоснабжения.

На Ростовской АЭС для системы охлаждения ответственных потребителей используются брызгальные бассейны (ББ), которые очень эффективны с точки зрения испарительного охлаждения. От потребителей реакторного отделения техническая вода отводится для охлаждения в брызгальные бассейны. Выбор в качестве охладителей был обусловлен требованиями к обеспечению повышенной надежности эксплуатации системы с учетом внешних воздействий. Охлаждение технической воды в брызгальных бассейнах осуществляется путем разбрызгивания ее с помощью сопел.

Охлажденная в брызгальных бассейнах техническая вода по трубопроводу самотеком подводится к водоприемным камерам насосных станций, расположенных в здании РДС, проходит через вращающиеся водоочистные сетки, и далее от насосов вода по трубопроводу с расходом не менее 3000 м³/ч подается в реакторное отделение на его потребители и с расходом около 600 м³/ч на потребители РДС. Брызгальные бассейны имеют огромный недостаток – большие непроизводительные потери воды. Так, при работе блока №1 и №2 Ростовской АЭС, из 38,78 млн. м³/год забираемых из Цимлянского водохранилища, 1,22 млн м³/год уходит на подпитку брызгальных бассейнов, из которых 525 тыс. м³ продуктивно расходуется на дополнительное испарение, а 690 тыс. м³ безвозвратно уносится ветром. Учитывая значительную стоимость 1 м³ технической воды (около 70 руб/м³) экономические потери оказываются очень высокими. В связи с этим, для снижения потерь, предлагается использовать простую конструкцию решетки, состоящей из продольных рабочих

элементов, аналогом которой является полупропускная лесозащитная полоса, а прототипом – конструкция прорезной водобойной стенки.

Обе конструкции выполняют схожие защитные функции:

а) Лесополоса – защитные лесные насаждения в виде рядов деревьев и кустарников, создаваемые среди пахотных земель, на пастбищах, в садах, вдоль оросительных и судоходных каналов, железных и автомобильных дорог. Лесополоса защищает приземную часть от сноса (эрозии) плодородного слоя, а также для защиты железных и автомобильных дорог от снежных и песчаных заносов высокоскоростными порывами ветра. С наветренной стороны происходит торможение воздуха до $V=(0,3\div 0,5) V_0$ и разгон верхних (над лесополосой) слоев среды. С подветренной стороны образуется возвратное вихревое течение с последующим плавным восстановлением исходной скоростной структуры. Защитный эффект лесополосы (зона со скоростями $V \leq 0,4V_0$) оценивается в $5H$ – с наветренной и $20H$ с подветренной сторон. То есть при высоте лесонасаждений $H=10\div 12$ м защитная зона составляет $250\div 300$ м.[1].

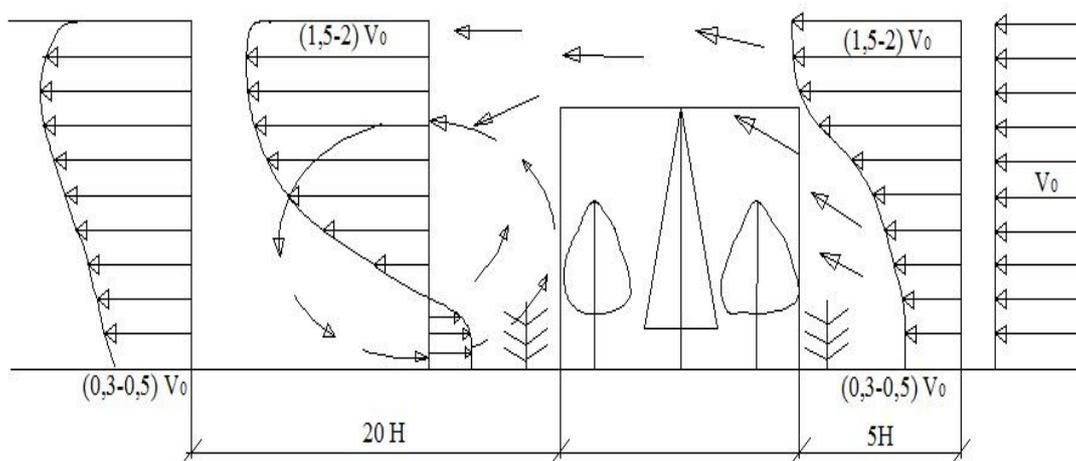


Рис. 2.1 – Лесозащитная полоса и деформация эпюры скорости за ней

б) Прорезная водобойная стенка устраивается в нижних бьефах гидротехнических водосбросных и водопропускных сооружений и предназначена для защиты дна отводящего русла от избыточной кинетической энергии потока. Стенка позволяет на коротком участке перевести поток из бурного состояния в спокойное, снизить скорости и предотвратить размыв дна отводящего русла. Стенка как преграда тормозит нижние слои и ускоряет верхние. Ее затопленные вертикальные элементы расщепляют единый высокоскоростной поток на множество мелких, которые за стеной соударяются, перемешиваются и теряют исходную энергию.

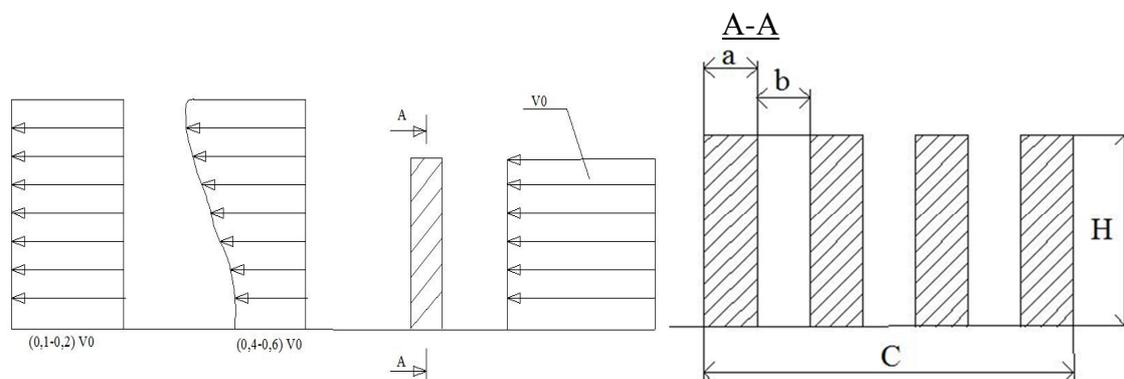


Рис. 2.2. – Прорезная водобойная стенка

Безусловно, самым эффективным способом защиты испарившейся над брызгальными бассейнами воды от сноса ветром, было бы устройство лесонасаждений по всему периметру бассейна. Однако, это идет в разрез требованиям мер по физической безопасности АЭС, что требует дополнительных мероприятий и затрат по защите и очистке ББ от опадающей в осенний период листвы. При этом срок ожидания эффективности (рост лесополосы) составит 5÷8 лет.

Конструкция прорезной водобойной стенки оказалась очень эффективной и вошла в «Каталог типовых сборных железобетонных конструкций для водохозяйственного строительства».

Однако многолетняя эксплуатация и натурные обследования показали ряд ее недостатков:

1) Высокие динамические нагрузки, так как элементы стенки расположены вертикально, то есть нормально к оси высокоскоростного потока и воспринимают максимум нагрузок.

2) Из первого недостатка вытекает и высокий абразивный износ от воздействия вездесущего потока.

3) Частичная забивка элементов стенки плавающим мусором приводит к резкому снижению эффективности работы.

В связи с этим было решено усовершенствовать конструкцию прорезной стенки (установить элементы стенок под углом к потоку), провести ее предварительные исследования и оценить возможность использования полученных результатов, как в водной, так и в воздушной среде.

На первом этапе были выполнены Предварительные гидравлические исследования формирующих характеристик решеток в условиях одномерной (плоской) задачи в горизонтальном прямоугольном стеклянном (0,25x0,50м) лотке с длинной рабочей части 8м.

Изучению трансформирующего воздействия на поток были подвергнуты различные типы решеток. Установлено, что основными факторами, влияющими на формирующее воздействие решетки, является:

– скважность решетки $\Omega = F_{эл}/F_C$; где $F_{эл}$ – суммарная площадь элементов решетки; F_C – площадь всего сечения или $\Omega = a/a+b$ (рис. 2)

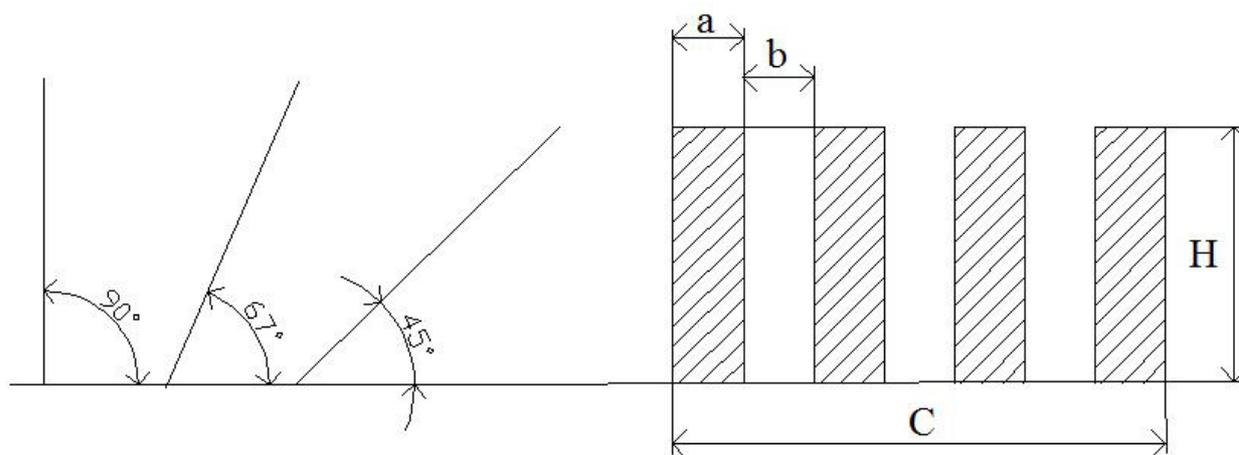


Рис. 3. – Геометрические характеристики решетки

параметр частоты установки решетки $f = c/a+b$

где c – фиксированный единичный размер габаритной ширины решетки (ширина лотка);

- a – ширина рабочего элемента;
 b – ширина зазора между элементами;
 α – угол установки решетки относительно оси потока (дна);
 V – средняя скорость потока перед решеткой.

Скважность Ω изменялась в пределах (30÷70)%, частота f от 12 до 3; угол α от 45° до 90°. Во всех опытах, независимо от угла α рабочая высота решетки устанавливалась равной $H = 15$ см, а глубина подтопления $H_{\text{п}} = 25$ см. Скорости потока по глубине измерялись в шести точках: $V_{\text{пов}}$; $V_{0,2H}$; $V_{0,4H}$; $V_{0,6H}$; $V_{0,8H}$; $V_{\text{дна}}$; в створах на расстоянии равном H от верхнего края решетки.

В настоящей работе рассматриваются результаты исследований, полученные на гидравлической модели, поэтому рассмотрим возможность их применения к аэродинамике.

Точное описание многих аэродинамических явлений сопряжено со значительными математическими трудностями из-за сложности процессов и учета всех факторов, влияющих на них. В таких случаях прибегают к экспериментальным исследованиям на моделях реальных объектов. При этом необходимо четко понимать физическую картину изучаемого явления и правильно определять безразмерные параметры подобия.

Явления механически подобны, если они подобны геометрически, кинематически и динамически; то есть $t_H/t_M = \text{const}$; $t_H/t_M = \text{const}$; $u_H/u_M = \text{const}$;

$$F_H/F_M = \text{const}$$

- где l – длина,
 t – время;
 u – скорость;
 F – сила в подобных точках модели и объекта;
 индексы (н и м) – натура и модель.

Полному гидродинамическому подобию отвечает критерий Ньютона:

$$\frac{F_H}{\rho_H \cdot l_H^2 \cdot U_H^2} = \frac{F_M}{\rho_M \cdot l_M^2 \cdot U_M^2} = \text{idem} \quad (1)$$

Полное гидродинамическое подобие возможно только при соблюдении очень многих безразмерных критериев, вытекающих из критерия Ньютона:

- 1) $\frac{U^2}{gl} = Fr = \text{idem}$ – критерий Фруда, где U – масштаб скорости, g – ускорение;
- 2) $\frac{P}{\rho U^2} = Fu = \text{idem}$ – критерий Эйлера, где P – плотность;
- 3) $\frac{Ul}{\nu} = Re = \text{idem}$ – критерий Рейнольдса, где ν – вязкость;
- 4) $\frac{l}{Ut} = Sh = \text{idem}$ – критерий Струхала, где l – диаметр, t – время процесса.

Однако выполнить полное моделирование невозможно. В этих случаях прибегают к частичному моделированию, когда модель исследуется лишь по основным признакам при преобладающем действии тех или иных сил, например: тяжести, инерции, вязкости, трения, давления и т.д.

Во многих случаях основными критериями при моделировании являются критерии Фруда и Рейнольдса т.к. учитывают взаимосвязь сразу трех основных сил: инерции с силами тяжести и трения (вязкости):

$$Re = \frac{U_H \cdot l_H}{V_H} = \frac{U_M \cdot l_M}{V_M} = idem; \quad (2)$$

$$Fr = \frac{U_H^2}{gl_H} = \frac{U_M^2}{gl_M} = idem \quad (3)$$

Однако, полное гидромеханическое подобие никогда не выполнится, т.к. два определяющих критерия Re и Fr на практике несовместимы.

Определим масштабы скорости:

$$m_u = \frac{U_H}{U_M} \quad (4)$$

Исходя из этих критериев. При $Re_M = Re_H$ и одинаковой жидкости $V_H = V_M = V$

$$\frac{U_H \cdot l_H}{V} = \frac{U_M \cdot l_M}{V} \rightarrow \frac{U_H}{U_M} = \frac{l_M}{l_H} \quad (5)$$

Т.е. при уменьшении линейного масштаба скорость на модели во столько же раз нужно увеличить. При моделировании по Фруду:

$$\frac{U_H^2}{l_H} = \frac{U_M^2}{l_M} \rightarrow \frac{U_H}{U_M} = \sqrt{\frac{l_H}{l_M}} \quad (6)$$

Скорость должна быть уменьшена. В нашем случае если приводить моделирование по Re на воздушной модели, при скорости ветра в натуре:

$$U_H = 5 \text{ м/с и масштабе } me = \frac{l_H}{l_M} \cong 20 \quad U_M = U_H \frac{l_H}{l_M} = 5 \cdot 20 = 100 \text{ м/с}$$

что реально выполнить сложно, а при скорости свыше 70 м/с воздух сжимаем, возникают скачки уплотнения и действуют иные законы термогазодинамики.

Критерием Рейнольдса оценивается качественно характер явления, какие силы преобладают (инерции или трения), при каком режиме происходит процесс (ламинарный или турбулентный). То есть существуют условия движения, независимые от Re , автомодельны по отношению к нему. Иначе говоря, силы вязкости по сравнению с силами инерции не оказывают существенного влияния на механизм явления. $Re_{кр} = 2300$ – критерий перехода от ламинарного движения к турбулентному. При $Re > 4000 \div 5000$ – зона квадратичного турбулентного движения.

Таким образом, область автомодельности определяется по Re , а линейный масштаб моделирования по Fr .

В качестве линейного размера l примем вертикальную проекцию решетки H , т.к. практический интерес представляет краевой эффект обтекания верхней кромки элемента и образование водоворотной зоны. Определим число Re , при котором происходило турбулентное обтекание элемента:

$$Re_M = \frac{U_M \cdot H_M}{V_M} \geq 5000 \quad (7)$$

V_M – вязкость воды при 20°C, $V_M = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$;

$U_M = 0,2 \text{ м/с}$ – минимальная скорость на модели;

$$Re_M = \frac{0,2 \cdot 0,15}{10^{-6}} = 30000 \gg 5000 \text{ Турбулентное обтекание.}$$

При протекании потока между элементами:

$$Re_M = \frac{0,2 \cdot 0,01}{10^{-6}} = 2000 < 5000 \text{ – ламинарный;}$$

$a=0,01$ минимальное расстояние между элементами решетки.

При $V = 0,5 \text{ м/с}$ $Re=5000$ турбулентный,

$V = 0,8 \text{ м/с}$ $Re=8000$ турбулентный.

Т.е. для анализа принимаются опыты со скоростями $U \geq 0,5 \text{ м/с}$

Из критерия Фруда определяем масштаб модели:

$$me = \frac{l_H}{l_M} = \frac{U_H^2}{U_M^2} = \frac{4,5^2}{0,8^2} \approx 30 \quad (8)$$

где U_H – среднегодовая скорость (из ОВОС).

Таким образом, за решеткой с размерами в 30 раз больше модельных и скоростях выше $U_H \geq 4,5 \text{ м/с}$ в натуре, при воздушном потоке, будет наблюдаться явление, подобное, полученному на гидравлической модели. [2].

Для принятия решения по размерам решетки были проанализированы следующие факторы:

1) Скважность. Рассматривались опыты со скважностью 50% (по аналогии с полупропускной лесополосой). При меньшей скважности и малых скоростях будет затруднен доступ свежего воздуха к брызгальным бассейнам, над поверхностью которых происходит тепло-массообмен испарительного охлаждения. При большей скважности за решетками не было отмечено возникновение водоворотной зоны, т.е. эффекта «перевернутой эпюры».

2) Частота установки. Рассматривались результаты с максимальной частотой установки $f=c/a+b$ элементов. В опытах исследовались элементы решетки, изготовленные из деревянных планок, шириной 1; 1,5; 3 см, где $c=25$ см ширина лотка:

$$f = \frac{25}{1+1} \cong 12; \quad f = \frac{25}{1,5+1,5} \cong 8; \quad f = \frac{25}{3+3} \cong 4;$$

За решеткой с высокой частотой элементов происходило быстрое затухание пульсаций скорости, что в натуре соответствует сглаживанию порывов ветра. За редкой решеткой отсутствовал эффект «перевернутой эпюры».

3) Угол установки. Опыты с углом установки элементов $\alpha=90^\circ$ были отброшены, т.к. независимо от частоты f , скважности Ω и скорости V_0 водоворотной зоны не наблюдалось.

4) Скорость потока. Практический интерес представляли опыты с повышенными скоростями $V_0 \geq 0,5 \text{ м/с}$, т.к. при пересчете в натуре давало среднюю V_H воздуха $\geq 4,0 \text{ м/с}$.

Анализируя предварительные опыты можно отметить положительный эффект при обтекании конструкции и сделать следующие выводы:

1) При установке решетки под углом 90° к потоку, в исследованном диапазоне

скважности, частоты элементов и скоростей водоворотной зоны за ними не наблюдалось.

2) При установке решетки под углом $67,5^\circ$ водоворот образовывался только при высокой частоте установке элементов $f = 12$ и скоростях $V = 0.5$ м/с.

3) При угле установки решетки в 45° водоворотная зона всегда образовывалась во всем диапазоне скоростей и частоте установки элементов $f = 12$ и $f = 8$.

4) Минимальный размер водоворотной зоны (горизонтальная проекция) был зафиксирован равным $5H$, что соответствовало предельному углу естественного расширения потока.

5) С увеличением скорости размеры водоворотной зоны возрастают.

6) С физической точки зрения образование гидравлической и аэродинамической тени можно объяснить не только срывом турбулентного пограничного слоя при краевом обтекании плоских элементов решетки, но и эффектом «запирания» зазора между элементами встречными обтекающими потоками. Возникающая «подушка» препятствует свободному проникновению потока между элементами решетки.

На следующем этапе будут выполнены подробные исследования с использованием методов последовательного планирования эксперимента и реализации плана Хартли Н5. Полученные полиномиальные модели будут исследованы на локальные минимумы и максимумы и приняты решения по оптимальным размерам конструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пойкер, Х.* Культурный ландшафт: формирование и уход [Текст] / Х. Пойкер; пер. с нем. В.В. Цветкова. – М.: Агропромиздат, 1987. – С. 176.
2. *Смыслов, В.В.* Гидравлика и аэродинамика [Текст]: Учебник для вузов. – Пер. с укр., перераб. и доп. – Киев: Вища школа, 1979. – С. 322–328.

Control of the Aerodynamic Shadow over Sprinkling Pools of the NPP. Hydroaerodynamic Modeling

V.G. Bekhetov, O.L. Kolchenko, G.V. Domrima, Yu.M. Matevosjan

*Volgodonsk Engineering Technical Institute
the Branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,
73/94 Lenin St., Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360
e-mail: VITIKafTEO@mephi.ru*

Abstract – The results of preliminary researches of a simple design of a flat lattice by means of which you can control the high-speed structure of an air stream over the sprinkling pools of the NPP are stated in the article. Problems of hydroaerodynamic modeling are considered. Application of a design will allow to reduce unproductive losses of water considerably.

Keywords: air stream, sprinkling pools, lattice, hydroaerodynamic modeling, aerodynamic shadow, fountain wall

УДК 621.039

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ ТУРБИННЫХ МАСЕЛ АГРЕГАТОВ АЭС

© 2014 г. К.С. Сидоров, В.В. Шапошников

*Снежинский физико-технический институт – филиал Национального исследовательского
ядерного университета «МИФИ», Снежинск, Челябинская обл.*

В данной работе рассмотрен метод электроимпульсного определения влажности турбинных масел. Описан принцип емкостного измерения влагонасыщения датчиком типа "ЭЛИМ". С помощью секторной диаграммы рассмотрены зоны различных электрических характеристик масла. Использование предложенного метода является важнейшим решением проблемы своевременной непрерывной диагностики элементов конструкций и агрегатов АЭС.

Ключевые слова: агрегаты АЭС, турбины, турбинные масла, повышенное влагосодержание масел, диэлектрическая проницаемость, емкостной метод, пороговый датчик, определение влагосодержания, пробой жидких диэлектриков, электрическая емкость, гетерогенные системы, экспресс-диагностика масел.

Поступила в редакцию 30.05.2014 г.

Известно, что масла помимо смазывающих и охлаждающих свойств, являясь диэлектриками, обладают свойствами изолирующей среды. В электротехнике относительную диэлектрическую проницаемость вещества (ϵ_r) принято определять путем сравнения емкости тестового конденсатора с данным диэлектриком (C_x) и емкости того же конденсатора с вакуумом (C_0)[1]:

$$\epsilon_r = \frac{C_x}{C_0} \quad (1)$$

Так как диэлектрическая проницаемость масла ~ 2.2 , а воды ~ 80 (при $t=20^\circ\text{C}$), то при незначительном обводнении масла его электрофизические свойства, как диэлектрика, изменятся, диэлектрическая проницаемость масла увеличится.

Емкость определяется по выражению:

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{S}{d} \quad (2)$$

где ϵ_r – диэлектрическая проницаемость масла,
 ϵ_0 – диэлектрическая постоянная,
 S – площадь обкладок конденсатора,
 d – расстояние между обкладками.
 ϵ_0 , S , d – в данном случае постоянные величины.

Из выражения (2) следует, что изменение диэлектрической проницаемости масла линейно отражается на емкости.

При использовании в датчике коаксиального измерительного чувствительного элемента (ЧЭ), показанного на рисунке 1 – его емкость необходимо рассчитывать, используя следующее выражение [1]:

$$C = 2\pi\epsilon_0\epsilon_r \frac{l}{\ln(R_2/R_1)} \quad (3)$$

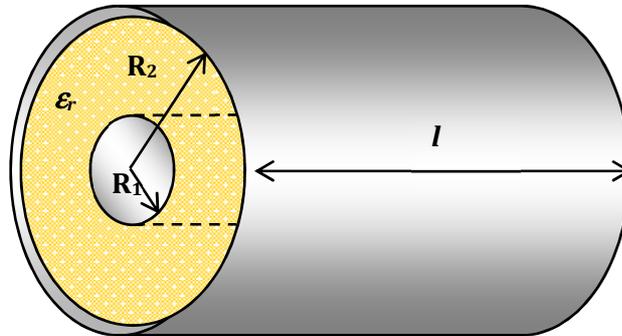


Рис. 1. – Коаксиальный измерительный чувствительный элемент

При повышении значения ϵ_r , концентрация носителей заряда увеличивается, емкость C возрастает, но уменьшается энергия пробивной напряженности диэлектрика.

Соответственно при сравнении емкостным методом масла в состоянии поставки с частично обводненным маслом емкость конденсатора с обводненным диэлектриком ($C_{иссл}$) будет больше емкости конденсатора с «чистым» диэлектриком ($C_{сп}$).

Таким образом, выражение (1) можно преобразовать к следующему виду:

$$\Delta\epsilon = \frac{C_{иссл} - C_{сп}}{C_0} \quad (4)$$

где $C_{иссл}$ – емкость конденсатора, с исследуемым маслом,

$C_{сп}$ – емкость конденсатора, с эталонным маслом в состоянии поставки.

Датчик типа “ЭЛИМ”, внешний вид которого представлен на рисунке 2, описанный в работе [2] патент № 2471178 [3], является основной частью разрабатываемого аппаратно-программного комплекса оперативного определения влагосодержания турбинного масла на агрегатах АЭС.

На практике датчик градуируется однократно. Это значит, что ёмкости конденсаторов, S и d которых конструктивно выполнены одинаково, должны соответствовать друг другу при $\epsilon_r = \text{const}$. По определению прецизионных измерений, для формирования высокой степени сходимости результатов [4], значения сигналов, при использовании одного и того же масла в состоянии поставки, уравнивают.

Градуировка емкостного датчика выполняется с помощью эталонных проб масел, с точным известным влагосодержанием, которое определено титриметрическим методом по К.Фишеру. Емкость конденсатора и соответствующее этой емкости влагосодержание масла становится известным. Таким образом, доступно построение зависимости емкости от влажности $C=f(W)$ на основе экспериментальных данных.



Рис. 2. – Датчик экспресс-контроля влагосодержания турбинного масла

Электрическая прочность турбинного масла характеризуется минимальной напряженностью электрического поля, необходимой для пробоя. Повышенное насыщение масла влагой уменьшает электрическую прочность (рис. 3а). С увеличением влажности масла, резко возрастает количество носителей заряда, таким образом, емкость коаксиального измерительного ЧЭ увеличивается (рис. 3б) до определенного критического значения (рисунок 3в) когда возникает пробой диэлектрика.

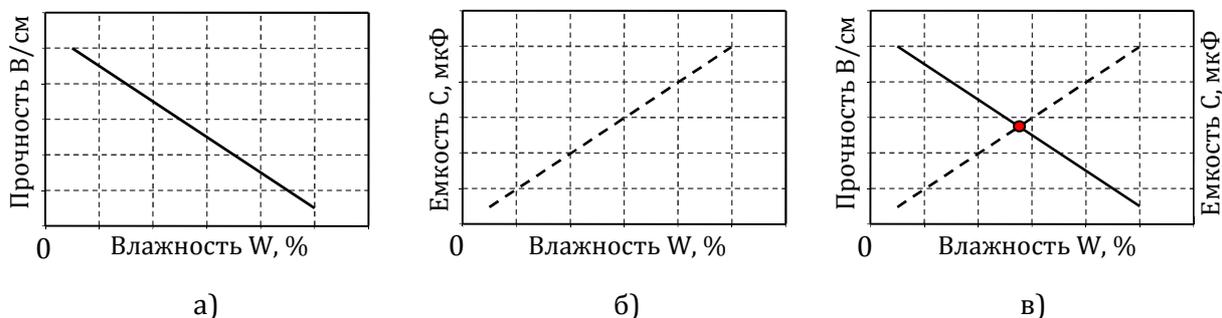


Рис. 3 – Зависимость электрических характеристик масла от влагонасыщения

Исследование комплексной диэлектрической проницаемости обводненных турбинных масел [5] было проведено для анализа корректной установки порога срабатывания датчика при повышении влагонасыщения масла. Порог должен быть установлен в минимально допустимой зоне (рисунок 4).

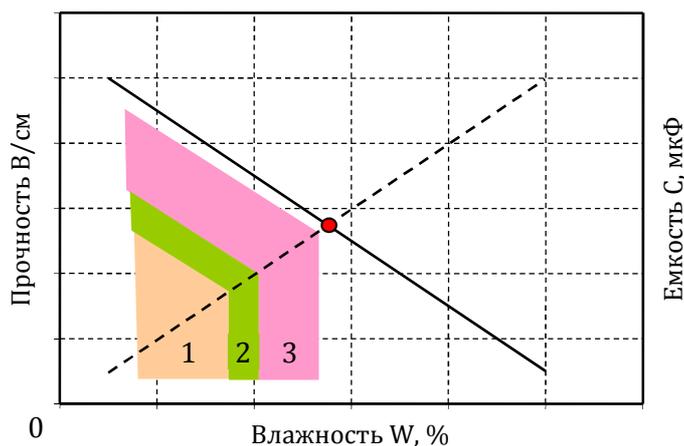


Рис. 4. – Секторная диаграмма

1,2,3 – зоны различных электрических характеристик масла

● – электрический пробой масла

Зона 1 – соответствует характеристике масла в состоянии поставки;

Зона 2 – минимально допустимая зона незначительного насыщения масла влагой, в которой должен быть установлен порог срабатывания датчика типа «ЭЛИМ»;

Зона 3 – критическое состояние масла, возникает риск порчи оборудования.

В процессе измерения на центральные электроды эталонного ЧЭ датчика (который заполнен маслом в состоянии поставки) и измерительного ЧЭ (контактирующего с рабочим маслом) с генератора тестовых сигналов подается импульс специальной формы. Этот импульс снимается с каждого ЧЭ и фиксируется с помощью пиковых детекторов. Выходные сигналы с детекторов подаются на дифференциальный усилитель, который выделяет и усиливает разность между сигналами. Выходной сигнал с дифференциального усилителя подается на вход блока определения влажности.

Описанный процесс повторяется непрерывно.

Амплитуда импульса пропорциональна разности влагосодержания масел, расположенных в герметичном и измерительном ЧЭ.

В данной статье авторы описали основные принципы и подходы емкостного электроимпульсного измерения влагосодержания турбинных масел АЭС. Применение предложенного метода для экспресс-контроля состояния энергетических масел, используемых в ответственных узлах промышленного оборудования, является важнейшим решением проблемы своевременной диагностики элементов конструкций и агрегатов АЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Смиренин, Б.А.* Справочник по радиотехнике [Текст] / Б.А. Смиренин. – М. : «Госэнергоиздат», 1950. – 784 с.
2. *Сидоров, К.С. и др.* Аппаратно-программный комплекс для оперативного определения влагосодержания турбинного масла на агрегатах АЭС [Текст] К.С. Сидоров, В.В. Шапошников // Глобальная ядерная безопасность. – 2013. – №4(9) – С. 40–45.
3. Шапошников В.В., Лебедев А.В., Щербakov В.Н., Гапонов В.Е. Устройство контроля влажности. Патент РФ №2471178. 2011.
4. ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений [Текст].
5. *Шапошников, В.В. и др.* Исследование комплексной диэлектрической проницаемости обводненных турбинных масел агрегатов АЭС [Текст] В.В. Шапошников, К.С. Сидоров // Глобальная ядерная безопасность. – 2014. – №1(10) – С. 59–62.

Basic Principles of Electropulse Moisture Measurement Turbine Oil of NPP Units

K.S. Sidorov, V.V. Shaposhnicov

*Snezhinsk Physisc-Technical Institute the Branch of National Nuclear Research University MEPHI
8 Komsomolsk st., Snezhinsk city, Cheliabinsk reg. 456776
e-mail: k.s.sidorov@bk.ru*

Abstract – This work presents the method of determining moisture content electropulse of turbine oils. It also describes the principle of capacitive sensor measuring moisture saturation of "ELIM". Various electrical characteristics of the oil are considered with the pie chart area. Using the proposed method is an important solution to the problem of timely diagnosis of continuous structural elements and units of nuclear power plants.

Keywords: NPP units, turbines, turbine oils, increasing moisture content oil, permittivity capacitance method, the threshold detector, determination of moisture content, the breakdown of liquid dielectrics, electric capacity, heterogeneous systems, rapid diagnosis oils.

УДК 624.04.45.001.3

НАТУРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ НА ЭТАПЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ ЭНЕРГБЛОКА №3 РОСТОВСКОЙ АЭС

© 2014 г. В.Н. Медведев *, Александр С. Киселев *, Алексей С. Киселев *,
А.Н. Ульянов*, В.Ф. Стрижов*, Е.А. Потапов**

* Институт проблем безопасного развития атомной энергетики, г. Москва
** Ростовская АЭС, г. Волгодонск, Ростовская обл.

В работе рассматриваются особенности напряжённо-деформированного состояния защитной оболочки энергоблока №3 Ростовской АЭС на стадии возведения и преднапряжения.

Ключевые слова: содержание, тяговый трос (арматурный напрягаемый элемент, арматурный пучок (проволок), пучковая арматура), напряжение, усилие (попытки).

Поступила в редакцию 01.07.2014 г.

ВВЕДЕНИЕ

Эксплуатационная пригодность преднапряженных защитных оболочек РО энергоблоков АЭС с ВВЭР-1000 в расчетные периоды строительства и эксплуатации определяется, главным образом, напряженно-деформированным состоянием (НДС) строительных конструкций защитной оболочки и уровнем их преднапряжения.

В соответствии с действующей нормативной документацией контроль НДС защитной оболочки необходимо проводить с момента начала возведения сооружения [Л. 1]. Для этого используется проектная информационно-измерительная система защитной оболочки, включающая: преобразователи силы арматуры струнные (ПСАС), преобразователи линейных деформаций струнные (ПЛДС), преобразователи температуры струнные (ПТС), преобразователи линейных перемещений струнные (ПЛПС). Кроме того, установлены датчики силы ПСИ-01, предназначенные для измерения усилий на тяжных концах арматурных канатов.

В рамках данной работы рассматриваются особенности напряжённо-деформированного состояния защитной оболочки энергоблока № 3 Ростовской АЭС на стадии возведения и преднапряжения.

1. НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ НА СТАДИИ ВОЗВЕДЕНИЯ

Ниже приведены результаты оценки напряженно-деформированного состояния защитной оболочки 3-го энергоблока Ростовской АЭС на стадии возведения, включая период бетонирования.

1.1 НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ В ПЕРИОД БЕТОНИРОВАНИЯ

Изменения напряжений в стержневой арматуре и деформаций в бетоне в период бетонирования обусловлены:

- экзотермией бетона, возникающей после бетонирования;
- колебаниями температуры окружающей среды;
- деформациями усадки бетона.

Оценка НДС защитной оболочки приводится по показаниям датчиков, установленных в защитной оболочке 3-го энергоблока Ростовской АЭС, представленных в виде графиков изменения напряжений в стержневой арматуре, деформаций в бетоне и температуры в зависимости от времени. Для оценки логичности работы датчиков типа ПСАС и ПЛДС использовались показания датчиков температуры, работа которых за период наблюдения показала достаточно стабильные показания.

Оценка логичности работы датчиков типа ПТС выполнялась по очевидным критериям. Во-первых, фиксировался подъем температуры в бетоне от его экзотермии до 55°C и затем снижение до 25-30°C в летний период, подъем температуры до 28°C и последующее снижение до 5°C в зимний период. Во вторых, происходит отслеживание климатических температурных колебаний, что также свидетельствует о работоспособности датчиков типа ПТС.

Например, на представленных на рисунках 1–2 графиках хорошо прослеживается изменение температуры от экзотермии бетона, в первые сутки после бетонирования температура поднимается до 56°C и затем снижается до 25°C в течение 2,5 суток. Напряжения в меридиональной арматуре при этом меняются незначительно. В тоже время в кольцевой арматуре напряжения возрастают до -40 МПа в течение первых суток и затем снижаются до -20 МПа, что связано со стеснением деформаций кольцевого направления при повышении температуры в стенке защитной оболочки.

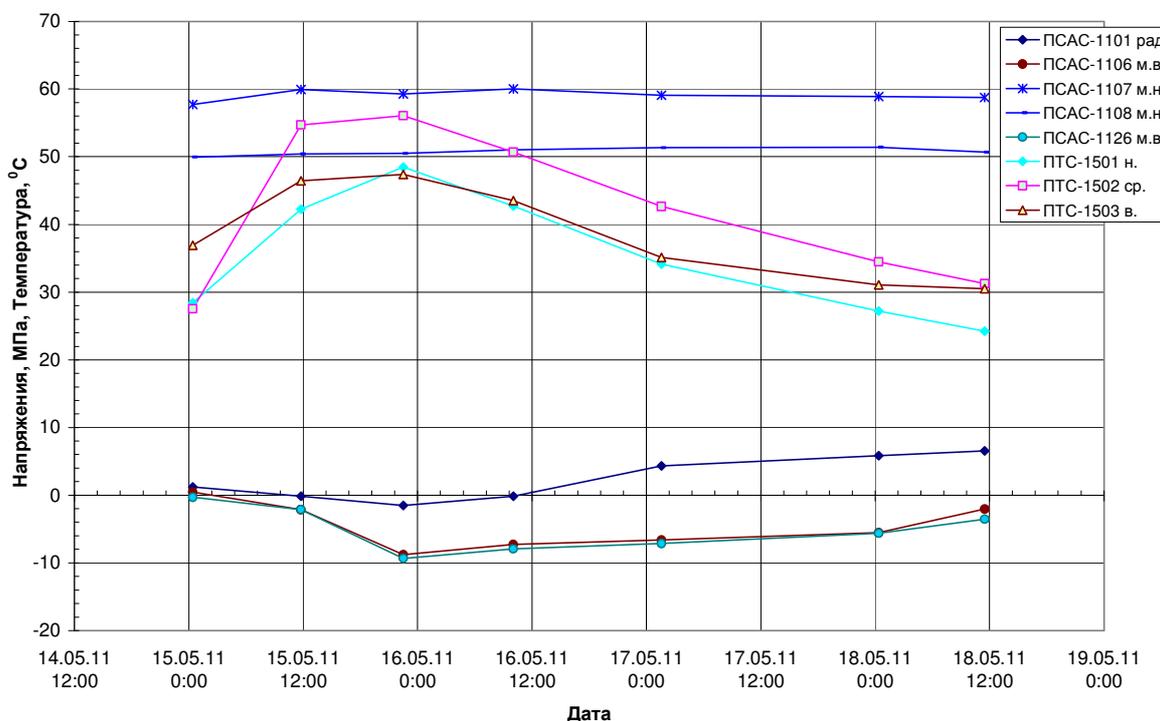


Рис. 1. – Измерение напряжений в меридиональной стержневой арматуре и температуры в бетоне с момента окончания бетонирования захватки оболочки (15.05.2011) по 18.05.2011, 3-й блок РоАЭС, створ №1, отметка 13,2 м

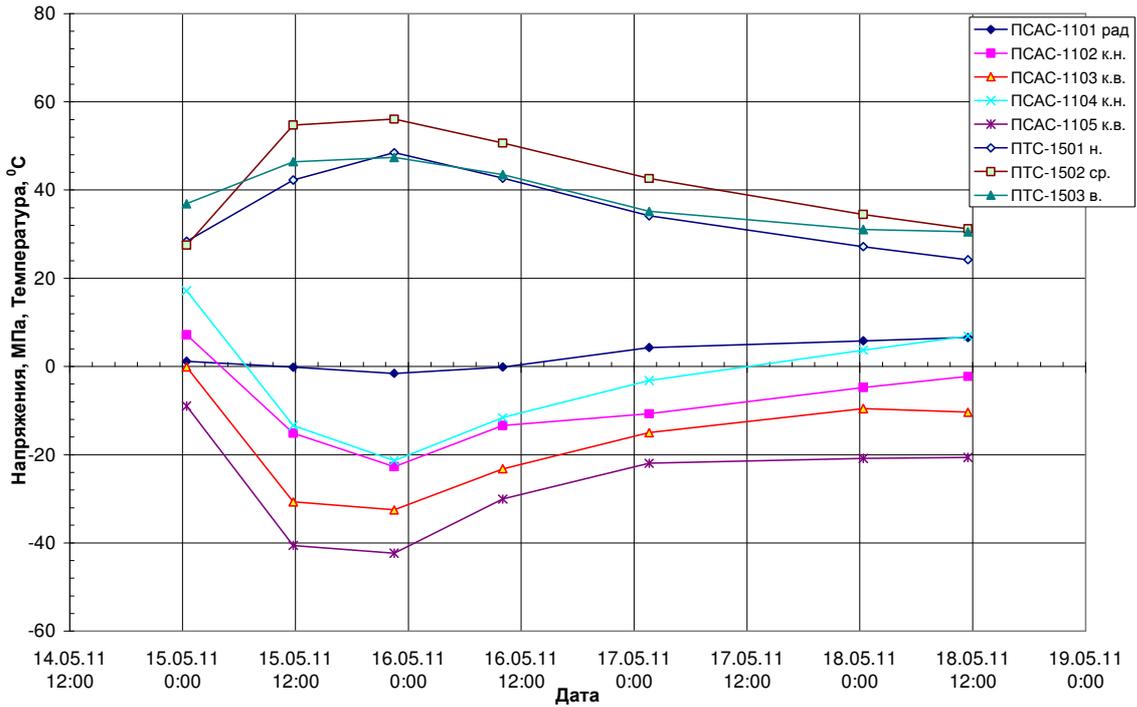


Рис. 2. – Измерение напряжений в кольцевой стержневой арматуре и температуры в бетоне с момента окончания бетонирования захватки оболочки (15.05.2011) по 18.05.2011, 3-й блок РоАЭС, створ №1, отметка 13,2 м

Аналогичный характер наблюдается и при измерении деформаций в бетоне: в меридиональном направлении деформации изменяются незначительно, а в кольцевом направлении увеличение сжимающих деформаций составляет порядка $-125 \cdot 10^{-6}$ (см. рисунок 3).

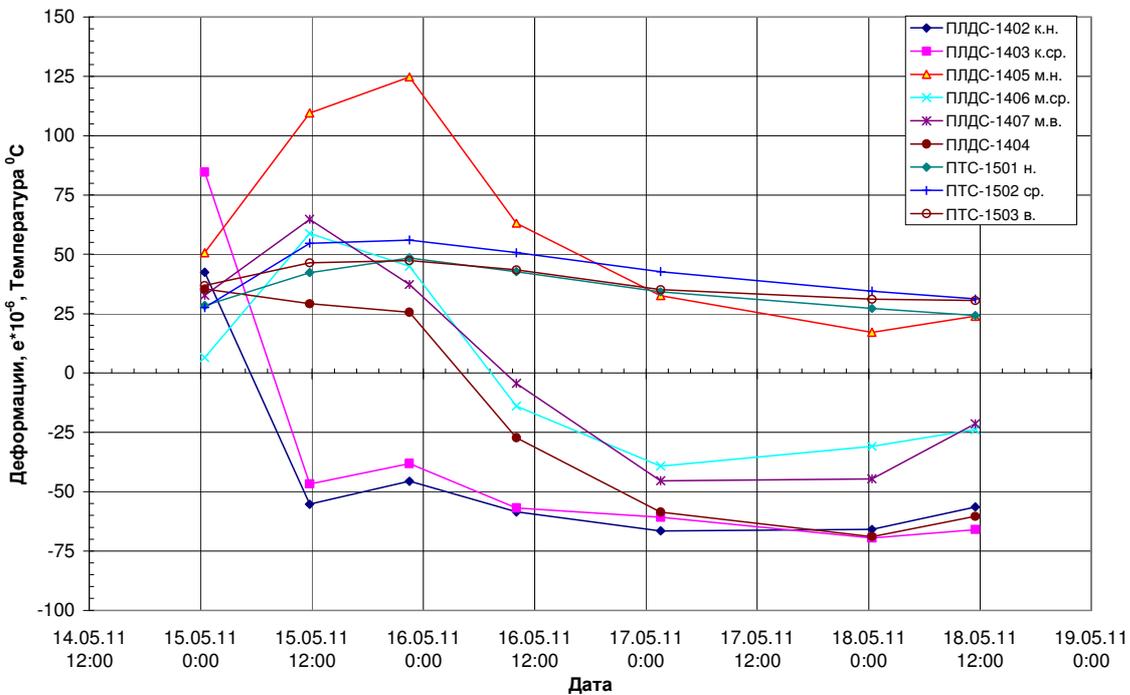


Рис. 3. – Измерения деформаций и температуры в бетоне с момента окончания бетонирования захватки оболочки (15.05.2011) по 18.05.2011, 3-й блок РоАЭС, створ №1, отметка 13,2 м. Показания конуса учтены

Таким образом, результаты измерений показывают, что экзотермия бетона по-разному влияет на деформации и напряжения в кольцевом и меридиональном направлениях. Так, из-за стесненных условий работы оболочки в кольцевом направлении возникают деформации сжатия в бетоне и сжимающие напряжения в стержневой арматуре. В меридиональном направлении от экзотермии сжатие не значительно или вообще отсутствует. Через несколько суток (от 3 до 5) температура в бетоне снижается, и показания датчиков становятся близкими к значениям, действующим перед бетонированием.

1.2 НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ ПОСЛЕ БЕТОНИРОВАНИЯ ДО НАЧАЛА ПРЕДНАПРЯЖЕНИЯ СООРУЖЕНИЯ

В данном разделе приводятся показания датчиков, установленных в защитной оболочке 3-го энергоблока Ростовской АЭС, в виде графиков изменения напряжений в стержневой арматуре, деформаций в бетоне и температуры в зависимости от времени. При этом рассматривается работа приборов с момента окончания бетонирования каждой захватки в местах установки датчиков и по 10.09.2013 г.

Следует отметить, что на показания датчиков КИА в этот период времени оказывают влияние следующие три фактора:

- деформации усадки бетона;
- собственный вес вышележащих конструкций;
- колебания температуры окружающей среды.

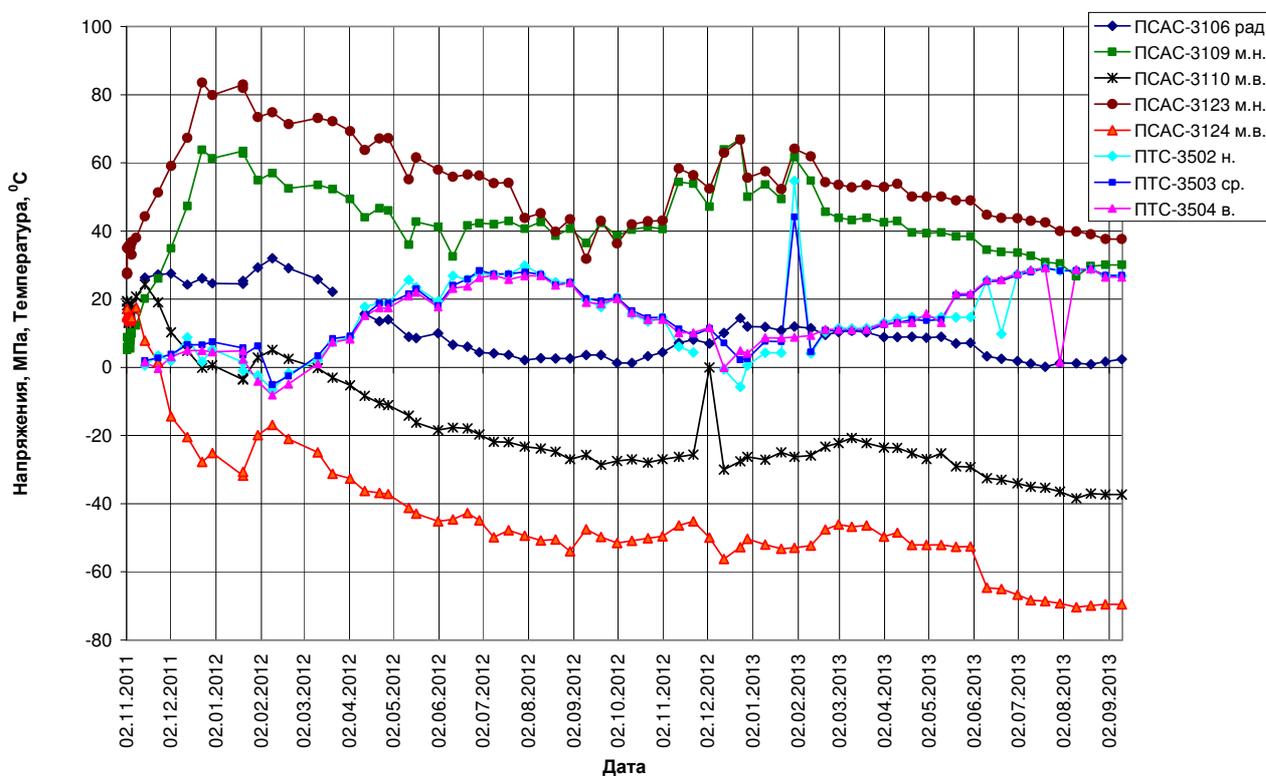


Рис. 4 – Измерение напряжений в меридиональной стержневой арматуре и температуры в бетоне с момента окончания бетонирования захватки оболочки (02.11.2011) по 10.09.2013, 3-й блок РоАЭС, створ №3, отметка 32,6 м.

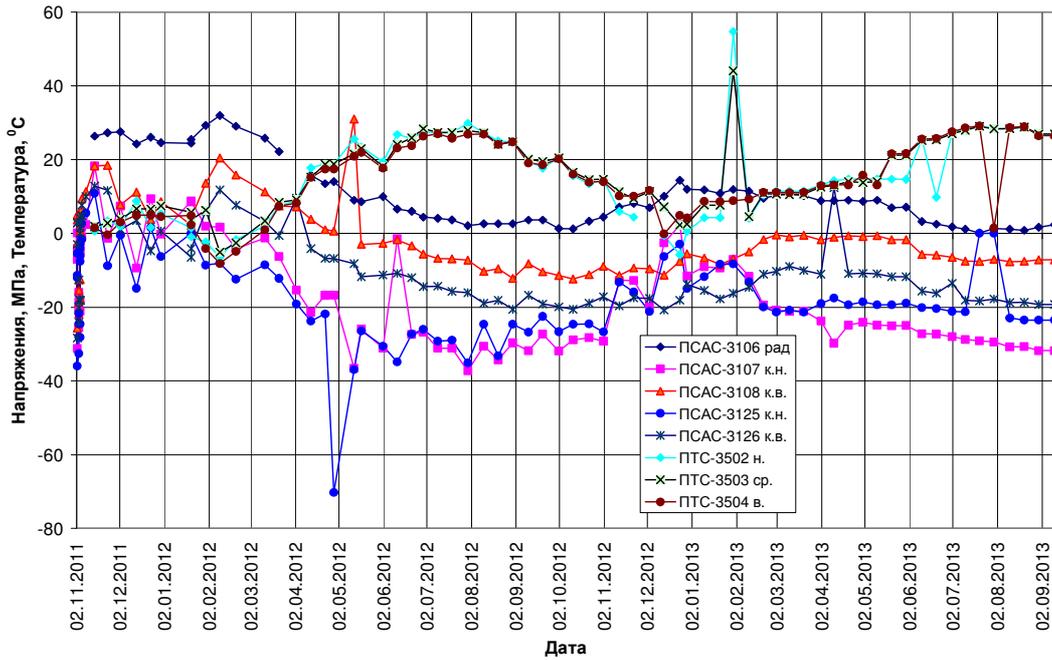


Рис. 5. – Измерение напряжений в кольцевой стержневой арматуре и температуры в бетоне с момента окончания бетонирования захватки оболочки (02.11.2011) по 10.09.2013, 3-й блок РоАЭС, створ №3, отметка 32,6 м

Собственный вес вышележащих конструкций наряду с деформациями усадки бетона приводит к увеличению сжатия в оболочке. При этом влияние собственного веса сказывается, главным образом, на меридиональных деформациях и напряжениях, в кольцевом направлении влияние собственного веса минимально.

На рисунке 6 распределения компонентов напряжений от воздействия собственного веса представлены в виде эпюр меридиональных (SM) и окружных (ST) напряжений [МПа] в вертикальном сечении защитной оболочки. Значения компонентов напряжений на наружной поверхности соответствуют напряжениям в бетоне, а на внутренней поверхности – напряжениям в металлической облицовке.

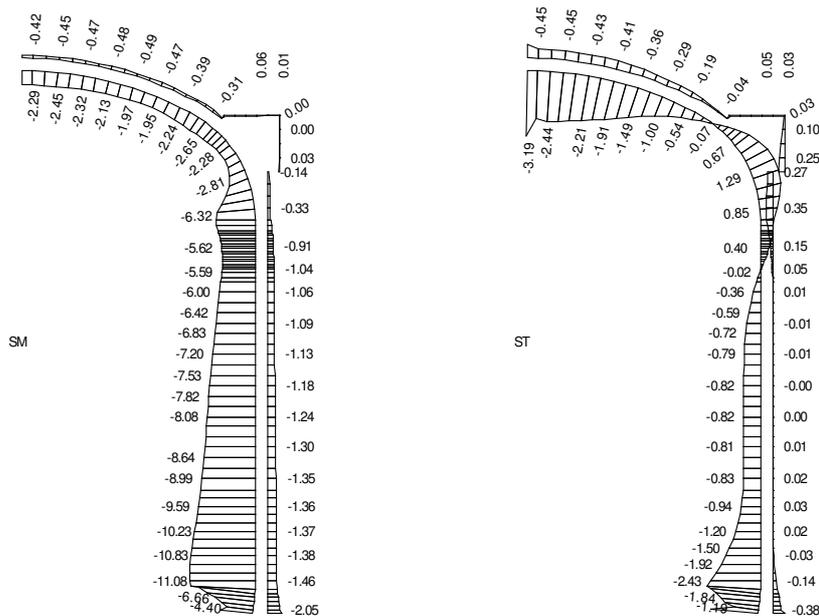


Рис. 6. – Эпюры меридиональных (SM) и окружных (ST) напряжений [МПа] в сечении Fi= 2000 (створ 3) защитной оболочки 3 блока Ростовской АЭС от воздействия собственного веса

2 НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ НА ЭТАПЕ ПРЕДНАПРЯЖЕНИЯ

На рисунках 7-8 приведены приращения напряжений в стержневой арматуре (ПСАС) и температуры в бетоне (ПТС) при преднапряжении защитной оболочки с 10.09.2013 по 19.12.2013 г., на которых можно видеть, что показания каждой пары датчиков у наружной и внутренней поверхности хорошо согласуются между собой и показывают стабильные результаты.

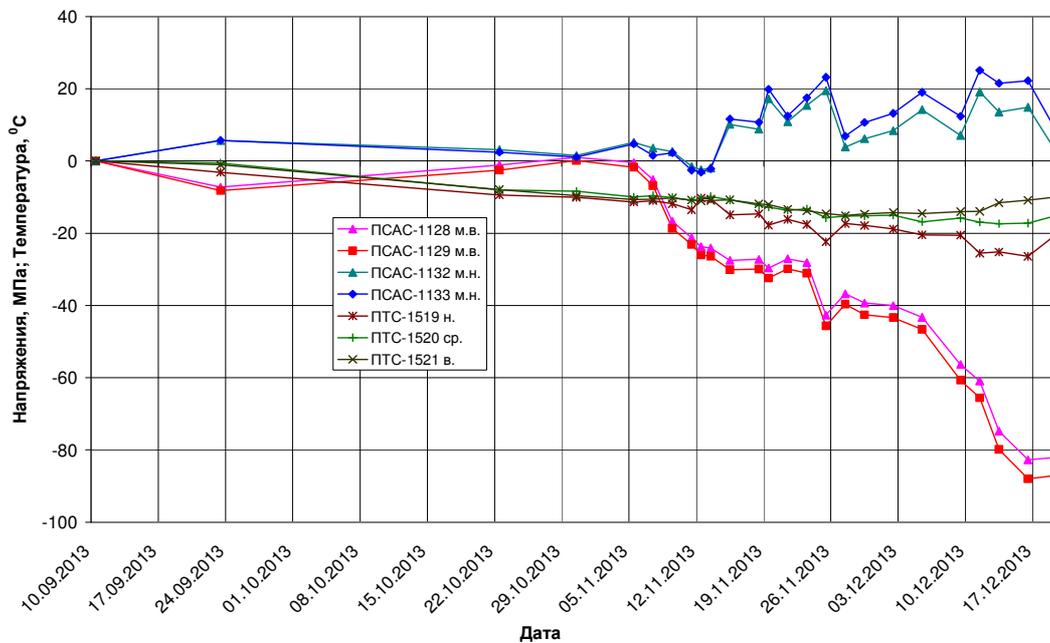


Рис. 7. – Приращение напряжений в меридиональной стержневой арматуре и температуры в бетоне при преднапряжении защитной оболочки с 10.09.2013 по 19.12.2013, 3-й блок РоАЭС, створ №1, купол, R=19 м

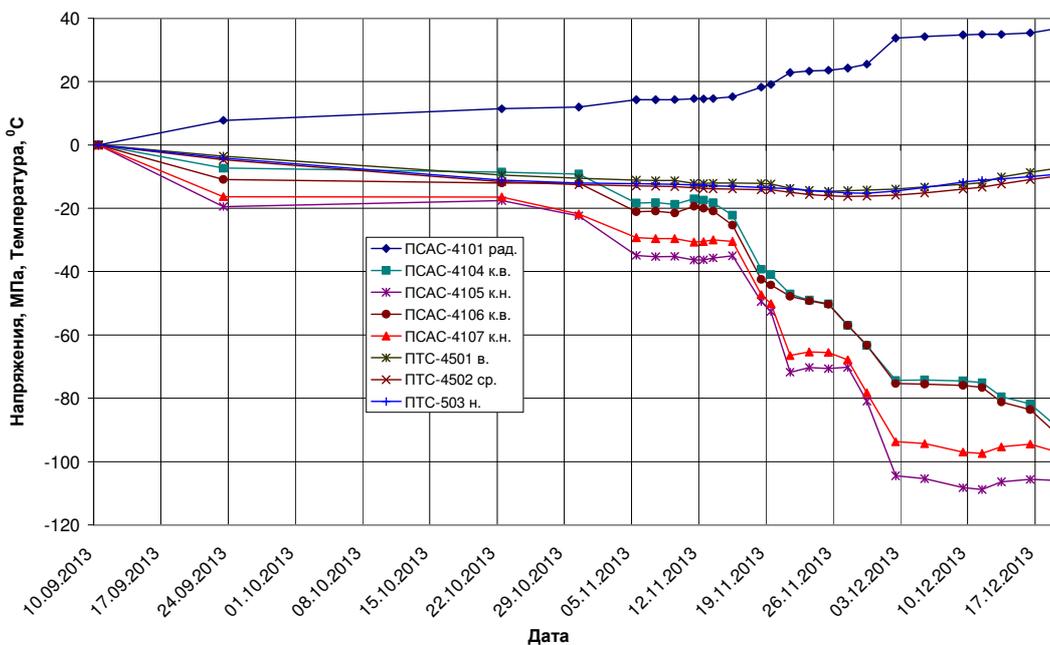


Рис. 8. – Приращение напряжений в кольцевой стержневой арматуре и температуры в бетоне при преднапряжении защитной оболочки с 10.09.2013 по 19.12.2013, 3-й блок РоАЭС, створ №4, отметка 32,6 м

Анализ приведенных данных показывает, что полученные расчетные значения параметров напряженно-деформированного состояния ЗО 3-го блока РоАЭС при ее преднапряжении качественно соответствуют измеренным (см. таблицу № 1). Количественно в целом по всем проанализированным сечениям соответствие результатов расчета и измеренных значений напряжений в ненапрягаемой арматуре можно считать удовлетворительным. Погрешность расчета составляет в среднем от 5 до 15%.

Таблица 1. – Сравнение расчетных и измеренных напряжений в стержневой арматуре от преднапряжения в цилиндре защитной оболочки с учетом измерения температуры в бетоне, 3-й блок РоАЭС, створ №4, отметка 32,6 м

Тип датчика	Показания перед обжатием, 10.09.13	Показания после натяжения всех а/к, 19.12.13	Приращение от всех а/к, МПа (3-2)	Расчетные значения от натяжения всех а/к	Расчетные значения с учетом температуры
1	2	3	4	5	6
ПСАС-4101 рад.	12,23	49,08	36,85		
ПСАС-4102 м.в.	-51,17	-92,34	-41,17	-36,457	-40,052
ПСАС-4103 м.н.	11,75	-20,91	-32,66	-34,514	-31,772
ПСАС-4104 к.в.	-25,08	-114,66	-89,58	-106,400	-109,422
ПСАС-4105 к.н.	-24,81	-130,84	-106,04	-97,434	-93,79
ПСАС-4106 к.в.	5,15	-86,72	-91,87	-106,400	-109,422
ПСАС-4107 к.н.	-30,73	-127,82	-97,09	-97,434	-93,79
ПСАС-4108 м.в.	-80,21	-118,13	-37,92	-36,457	-40,052
ПСАС-4109 м.н.	43,43	15,83	-27,60	-34,514	-31,772
ПТС-4501 в.	28,85	21,51	-7,34		
ПТС-4502 ср.	30,62	20,81	-9,81		
ПТС-4503 н.	12,23	49,08	36,85		

Для измерения перемещений защитной оболочки от воздействия предварительного напряжения арматурных канатов и деформаций ползучести железобетона в средней части цилиндра защитной оболочки, на отметке 36,9 м установлено 12 датчиков типа ПЛПС (преобразователей линейных перемещений струнных). Датчики типа ПЛПС устанавливаются группами по 3 шт. в каждом из 4 створов.

Результаты измерений показали, что все 12 датчиков ПЛПС находятся в работоспособном состоянии, о чем свидетельствует хорошая сходимость получаемых результатов измерений в каждом из 4 створов с расчетными данными (см. таблицу №2).

Таблица 2. – Сравнение расчетных и экспериментальных значений радиальных перемещений ЗО 3-го блока Ростовской АЭС на отметке 36,9 м после натяжения всех канатов СПЗО

Створ	Расчетные перемещения, мм	Измеренные перемещения, мм	Δ между расчетом и измерениями, мм
I	-10,4	-10,9	0,5 (4,6%)
II	-8,7	-9,3	0,6 (6,4%)
III	-12,7	-14,0	1,3 (9,1%)
IV	-12,1	-13,2	1,1 (8,3%)

Максимальная погрешность расчета в результате уточнений расчетной модели уменьшилась по сравнению с результатами, полученными на предыдущем этапе работы, по радиальным перемещениям на отметке 36 м по высоте 30 имеет место в III створе и составляет 9,1%. В абсолютных значениях это соответствует 1,3 мм. Соответствие измеренных и рассчитанных перемещений можно считать удовлетворительным. Погрешность расчета может быть связана с рядом факторов, связанных с нелинейным характером деформирования бетона в отдельных наиболее нагруженных зонах, а также с температурными условиями деформирования, которые могут быть учтены в расчете лишь приближенно.

Сопоставление результатов расчета с данными радиальных перемещений в средней части цилиндра оболочки показало достаточно хорошее согласование, что также свидетельствует об обеспечении проектного уровня обжата защитной оболочки.

3 ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТ ПО ПРЕДНАПРЯЖЕНИЮ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ

При производстве работ по преднапряжению защитной оболочки энергоблока №3 Ростовской АЭС были приняты меры по совершенствованию технологии натяжения армоканатов с учетом результатов выполнения аналогичных работ на энергоблоке № 5 Нововоронежской АЭС энергоблоке № 4 Калининской АЭС [Л. 2-3]. Принимая во внимание достаточно большой разброс потерь усилий при выполнении анкеровки пучков на Калининской АЭС, на этот процесс обратили особое внимание. Учитывая достаточно большое количество датчиков ПСИ-01, установленных на оболочке энергоблока № 3 Ростовской АЭС, появилась возможность не только контролировать усилие на тяжном конце пучка при анкеровке, но также оценивать время стабилизации усилия по длине пучка после его заанкеривания.

Проектная величина усилий в арматурных канатах при преднапряжении (на домкрате) составляет 9,0 МН (918 тс), с учетом потерь преднапряжения на анкерном устройстве усилия в армоканатах по проекту составляют: 8,7 МН (887,15 тс) – в цилиндрической части оболочки; 8,58 МН (874,92 тс) – в купольной части оболочки.

По установленной разработчиком технологии натяжения армоканатов рекомендуется поднять давление в домкрате до проектного уровня (465 бар) и ожидать 5 минут. Период ожидания в 5 минут, по мнению разработчика, необходим для преодоления прочности на сдвиг смазки в канате в оболочке из ПЭВП.

Результаты работ с использованием установленной разработчиком технологии натяжения армоканатов показали, что после преднапряжения первых девяти армоканатов в цилиндре оболочки усилия на анкере в среднем составляли 849,27 тс, что на 4,3% ниже проектных значений.

Средние значения потерь усилий в канатах на анкеровку составляют 79,4 тс или 8,55%. Максимальные потери в армоканате № 87Б – 102,68 тс или 11,05%, минимальные потери в армоканате № 73А – 56,5 тс или 6,09%.

В этой связи для достижения проектного уровня натяжения армоканатов было предложено увеличить время выдержки усилия на домкрате перед передачей нагрузки с домкрата на анкер с 5 до 15 минут. Полученные результаты показывают, перед передачей нагрузки на анкерный блок усилия на домкрате имели переменчивый характер, а усилия на анкере незначительно возросли (см. рисунок № 9).

После этого было предложено во время выдержки (15 минут) каждые 5 минут давление поднимать до проектного.

Анализ результатов преднапряжения, выполненных с учетом вышесказанного, показал, что вначале давление быстро упало на 15 бар, после повторной подтяжки

давление упало на 6 бар, а на третьем этапе – на 2 бара. При этом перед передачей нагрузки с домкрата на анкер усилия имели большую величину и более стабильный характер, что важно для определения распределения усилий по длине каждого армоканата. На анкере усилия приблизились к проектной величине (см. рисунок № 10).

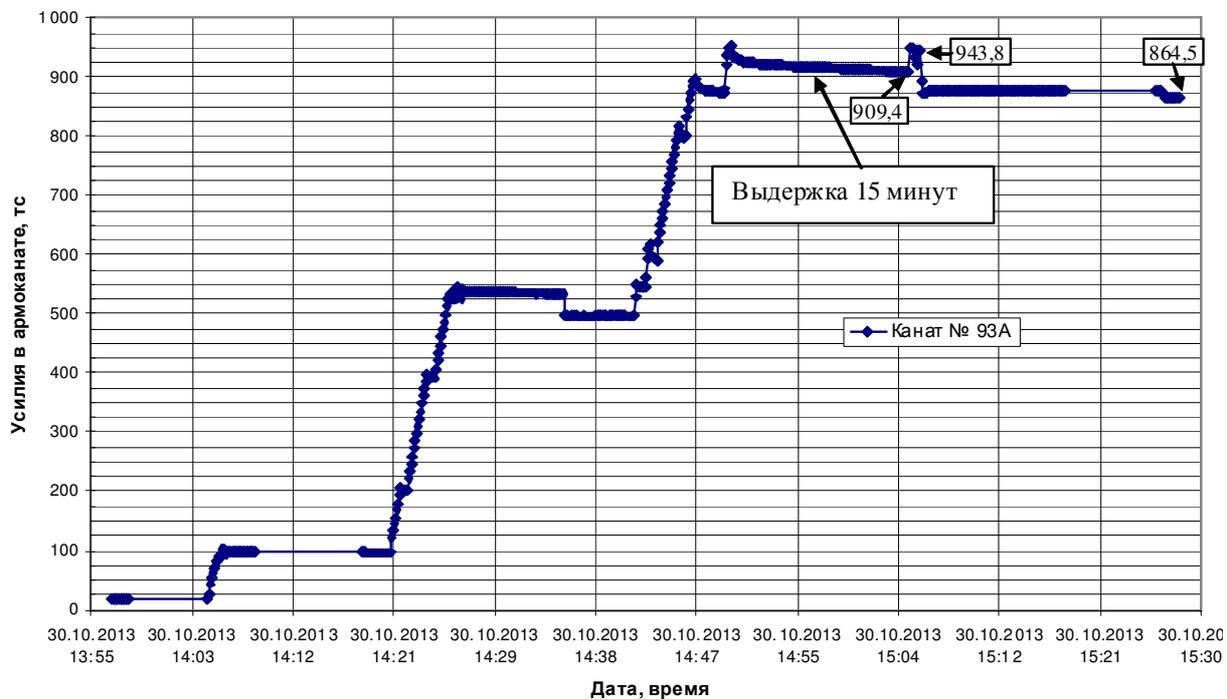


Рис. 9. – График натяжения армоканата № 93А, расположенного в защитной оболочке энергоблока № 3 Ростовской АЭС. Выдержка 15 минут

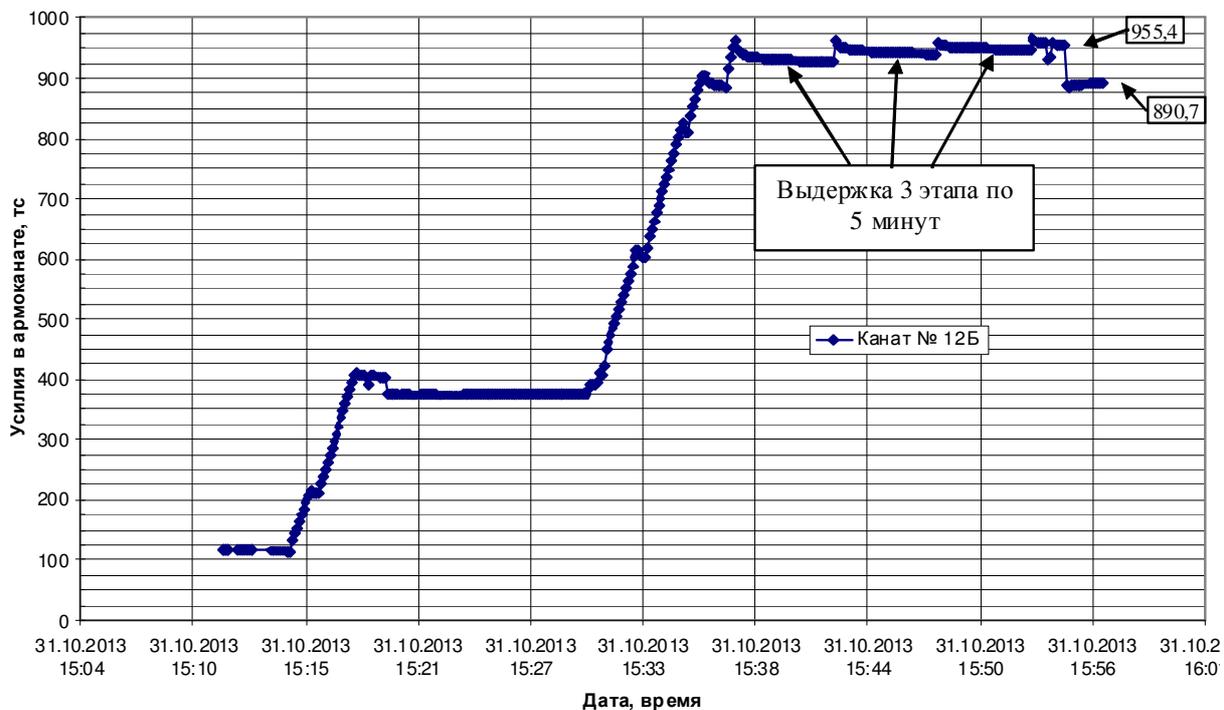


Рис. 10. – График натяжения армоканата № 12Б, расположенного в защитной оболочке энергоблока № 3 Ростовской АЭС. Выдержка 3 этапа по 5 минут

На основании полученных измерений ИБРАЭ РАН было сделано предложение по изменению технологии натяжения армоканатов системы преднапряжения защитной оболочки энергоблока №3 Ростовской АЭС: на последнем этапе натяжения армоканата после достижения проектного давления P_a (465 бар) выдерживать нагрузку в течение 15 минут, при этом через каждые пять минут поднимать давление до P_a (465 бар).

После того, как Ростовской АЭС были согласованы изменения в технологии, преднапряжение армоканатов выполнялось с учетом рекомендаций ИБРАЭ РАН.

В результате в армоканатах цилиндра защитной оболочки средние усилия после передачи нагрузки с домкрата на анкер составляет 878,67 тс. В армоканатах купола защитной оболочки средние усилия после передачи нагрузки с домкрата на анкер составляет 879,59 тс.

Таким образом, приведенные результаты показывают, что усовершенствованная технология натяжения армоканатов позволила обеспечить проектный уровень преднапряжения защитной оболочки энергоблока № 3 Ростовской АЭС.

ВЫВОДЫ

1) Проведение натуральных наблюдений на этапе строительства защитной оболочки позволило проследить особенности работы контрольно-измерительной аппаратуры в процессе возведения и получить исходные данные для уточняющего расчета НДС сооружения перед проведением приемо-сдаточных испытаний.

2) Анализ работы датчиков КИА на этапе бетонирования, показал увеличение температуры бетона от экзотермии до 25-30 °С. Напряжения в меридиональной арматуре при этом меняются незначительно. В тоже время в кольцевой арматуре напряжения возрастают до -40 МПа в течение первых суток и затем снижаются до -20 МПа, что связано со стеснением деформаций кольцевого направления при повышении температуры в стенке защитной оболочки.

3) Проведение натуральных наблюдений в процессе выполнения предварительного напряжения защитной оболочки энергоблока №3 Ростовской АЭС позволило своевременно откорректировать и согласовать технологию выполнения работ, в результате чего был достигнут проектный уровень преднапряжения.

4) Предложенная ИБРАЭ РАН технология натяжения канатов может быть использована при замене армоканатов СПЗО на действующих блоках АЭС, а также при преднапряжении защитных оболочек АЭС нового поколения (АЭС 2006).

5) Натурные измерения усилий в армоканатах и напряженно-деформированного состояния защитной оболочки в процессе выполнения и после окончания предварительного напряжения, показали достаточно хорошее согласование с результатами выполненных впоследствии расчетов, что позволяет утверждать о готовности защитной оболочки к проведению предпусковых испытаний внутренним давлением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РД ЭО 1.1.2.99.0007-2011. Типовая инструкция по эксплуатации производственных зданий и сооружений атомных станций [Текст]. – М., 2011.
2. *Медведев, В.Н. и др.* Сравнительный анализ систем предварительного напряжения защитных оболочек АЭС [Текст] / В.Н. Медведев, А.Н. Ульянов // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2008. – Спецвыпуск. – С. 99–105.
3. *Медведев, В.Н. и др.* О применении модернизированной системы преднапряжения СПЗО-М на защитных оболочках АЭС [Текст] / В.Н. Медведев, А.Н. Ульянов, Александр С. Киселев, Алексей С. Киселев, В.Ф. Стрижов // Глобальная ядерная безопасность. – 2012. – №2–3(4). – С. 20–26.

Full-scale Observations During Containment Erection of Rostov NPP Unit №3

V.N. Medvedev *, **Aleksander S. Kiselev ****, **Aleksey S. Kiselev ****,
A.N. Ul'yanov *, **V.F. Strizhov *****, **E.A. Potapov ******

*Nuclear Safety Institute (IBRAE), Moscow,
Rostov NPP, Volgodonsk, Rostov region*

** e-mail: cont@ibrae.ac.ru; ** e-mail: kis-rncki@rambler.ru; *** e-mail: vfs@ibrae.ac.ru;
**** e-mail: tn17046@yandex.ru*

Abstract – The paper focuses on the features of the Rostov NPP Unit 3 containment stress-strain state during its erection and prestressing.

Keywords: containment, tendon, concrete, tension, efforts.

**СОЦИАЛЬНО-ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ
ТЕРРИТОРИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ АЭС**

УДК 621.039.58:316.7

К ИСТОРИИ ПОНЯТИЯ «КУЛЬТУРА БЕЗОПАСНОСТИ»

© 2014 г. В.А. Руденко

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

В статье раскрывается сущность концепции культуры безопасности. Дискуссионным является вопрос о введении этого понятия и раскрытия сущностных черт. Практически девяносто процентов авторов относят создание концепции культуры безопасности к 1986 г. (INSAG-1), хотя в первом номере журнала, издаваемого Международной консультативной группой по ядерной безопасности, впервые приводится только словосочетание культуры безопасности. Становление концепции на протяжении полувека развития атомной энергетики, сравнительный анализ подходов к определению культуры безопасности и дальнейшие проекты по совершенствованию концепции являются предметом исследования, изложенного в публикуемом материале.

Ключевые слова: безопасность, культура безопасности, цели и принципы ядерной безопасности, человеческий фактор.

Поступила в редакцию 02.09.2014 г.

Важнейшую роль в обеспечении страны электроэнергией выполняет атомная отрасль. Развиваясь, атомная отрасль решает задачи обеспечения национальной безопасности по двум направлениям: ядерно-энергетическому и ядерно-оборонному комплексам. Нормальное функционирование и перспективное развитие атомной энергетики возможно только при обеспечении доверия со стороны общества к мероприятиям, осуществляемым Росатомом, направленным, в первую очередь, на безопасность.

Безопасность может быть обеспечена устранением опасности или, как считают Н.М. Тихонов и М.И. Рылов, – «это состояние системы, при котором значения всех рисков (как мера опасности – безопасности) не превышают их допустимых уровней (приемлемого риска)».[1].

Повышение технической грамотности специалистов плюс мотивация персонала, опирающаяся на возможность использовать новейшее техническое оборудование, должны стать основой для обеспечения безопасной эксплуатации ядерных объектов. Эта цель может быть достигнута путем внедрения в организацию и на предприятие культуры безопасности.

В обеспечении безопасности в атомной отрасли особая роль отводится человеческому фактору. Человеческий фактор мы рассматриваем, как характеристики деятельности человека, его психологическое и психофизиологическое состояние, способности, возможности и ограничения, определяющие направление его действия в определенной ситуации, то, естественно, особое внимание, которое проявляется к психологическим характеристикам персонала АЭС, а, следовательно, и к подготовке специалистов для атомной отрасли и их личностным характеристикам [2].

Само же понятие «культура безопасности» в настоящее время представлено как на уровне международных документов, так и с позиции социологических

исследований. Актуальность рассмотрения данного вопроса обусловлена многомерностью феномена культуры безопасности, ее зависимостью от изменяющихся условий, появления новых вызовов и угроз, которые требуют комплексного системного подхода к изучению истории трактовки данного понятия.

Так в диссертационном исследовании В.Н. Кузнецова проводится анализ становления культуры безопасности, как ключевого института новой безопасности XXI века, рассматривается культура безопасности, как процесс трансформации международных организаций, поднимается проблема индикаторов анализа состояния и динамики культуры безопасности трансформирующегося общества» [3].

По утверждению автора, важным этапом на пути разработки и утверждения новых подходов к преодолению опасностей XXI века становится целенаправленная работа по движению к «культуре предотвращения», которую он предлагает рассматривать, как фактор и мотивацию формирования культуры безопасности в целом, отражающие диалектику внутренних и внешних механизмов нейтрализации опасностей и угроз (их минимизации) с учетом того, что россияне в настоящее время живут в обществе тотального риска. Поэтому «наиболее оптимальный и эффективный путь к миру и безопасности, к диалогу между цивилизациями, народами и людьми лежит через культуру безопасности».

В логике рассмотрения истории трактовки культуры безопасности ученые подходят с разных сторон. Так, В.Н. Абрамова рассматривает данное понятие через понятия «общая культура», «организационная культура» и «культура безопасности» [4].

И.А. Куприянова подходит к рассмотрению данного понятия через трактовку понятия «культура» как возделывание, воспитание, образование, развитие, поэтому, по мнению автора, это понятие включает в себя предметные результаты деятельности людей, в частности, результаты познания, нормы морали. Следовательно, по ее мнению, «при осознании смысла понимания культуры безопасности приходится думать и о необходимости следовать требованиям инструкций и правил, и о том, чтобы все важные инструкции и правила были оформлены на ядерном предприятии в письменном виде, а не только существовали в виде сложившихся традиций» [5].

Именно поэтому, В. Смутнев в анализе исторической ретроспективы развития понятия "Культура безопасности эксплуатации АЭС" показывает, что культура безопасности является частью более общего понятия «культура ядерной безопасности» [6].

А.М. Агапов, Г.А. Новиков подходят к рассмотрению понятия «культура безопасности» через трактовки понятий «безопасность», «ядерная безопасность», атомное право [7].

Анализируя понятие «культура безопасности» с позиции ее трактовки в международных документах, выделяют следующие этапы формирования данного понятия.

Категория «культуры безопасности» впервые как словосочетание упоминается в 1986 г. в «Итоговом докладе о совещании по рассмотрению причин и последствий аварии в Чернобыле» [8], Международной консультативной группой по ядерной безопасности (INSAG), которая была создана МАГАТЭ. В докладе указывается, что коренные причины аварии в Чернобыле следует искать в так называемом «человеческом факторе». В VI разделе этого документа: «общие замечания и предварительные выводы» четко формулируется постулат: «Необходимо создать «культуру безопасности» на всех действующих АЭС». С этой целью предполагается осуществлять три вида деятельности:

- 1) подготовку персонала для работы на действующих АЭС с надлежащим

уровнем знаний о реакторе и его работе, включая занятия на тренажере;

2) проведение контрольно-ревизионных мероприятий, обмен опытом, разработку дополнительных рекомендаций, включая предотвращение серьезных аварий;

3) доведение до персонала потенциального значения всех отклонений от штатного регламента с точки зрения безопасности.

Консультативная группа при подготовке доклада по рассмотрению причин и последствий аварии обсуждала факторы, способствующие возникновению аварии и распространению её последствий, проблемы безопасности, которые необходимо далее конкретизировать.

С целью дальнейшего формирования концепции безопасности Международная консультативная группа подготовила в 1989 году доклад «Основные принципы безопасности атомных электростанций» (INSAG – 3) [9]. В этом документе концепция культуры безопасности наполняется содержанием. Доклад содержит 3 главные цели безопасности – что должно быть достигнуто, и двенадцать принципов – как достичь необходимого уровня безопасности. При этом культура безопасности уже определяется, как фундаментальный управленческий принцип. «Ключевым элементом» культуры безопасности определена «психология безопасности».

Таким образом, в течение 5 лет употребляется понятие «Культура безопасности», связанное с необходимостью уделять внимание вопросам безопасности, личной ответственности за безопасность, её влияние на барьеры глубокоэшелонированной защиты, но концептуально, через универсальные черты данное понятие не рассматривалось.

В 1991г. в докладе INSAG–4 понятие «Культура безопасности» было сформировано, и раскрыто содержание концепции культуры безопасности, основные черты, индикаторы определения эффективности культуры безопасности на объектах атомной энергетики.

В документе INSAG–4 было дано следующее понятие культуры безопасности: культура безопасности – это такой набор характеристик и особенностей деятельности организаций и поведения отдельных лиц, который устанавливает, что проблемам безопасности, как обладающим высшим приоритетом, уделяется внимание, определяемое их значимостью [10]. Данное определение является общим, не конкретизирует проблему мотивации и ответственности в разрезе рассматриваемого понятия. По мнению Ю.Н. Селезнева и А.М. Карякина выражение «культура безопасности» относится к общему понятию приверженности постоянному и систематическому поддержанию безопасности и личной ответственности всех лиц, связанных с деятельностью объектов атомной промышленности [11].

Еще одно определение изложено в ОПБ-88/97: культура безопасности – квалификационная и психологическая подготовленность всех лиц, при которой обеспечение безопасности объектов атомной энергетики является приоритетной целью и внутренней потребностью, приводящей к самоосознанию ответственности и самоконтролю при выполнении всех работ, влияющих на безопасность. Это определение ставит акцент на самоответственности и самоконтроле, повышая роль конкретного индивида.

Понятие культуры безопасности обсуждается профессионалами и экспертами, и несмотря на то, что авторы предлагают различные интерпретации концепции, общим принципом, объединяющим все подходы является то, что эффективность безопасности определяется не только используемым оборудованием и совершенством технологии, структурой управления, но, в первую очередь, действиями людей, связанных с эксплуатацией АЭС. Последующие отчеты и доклады Международной

консультативной группы были посвящены совершенствованию обеспечения культуры безопасности на объектах атомной энергетики:

INSAG–11. Развитие культуры безопасности в ядерной деятельности: практические предложения в помощь прогрессу (1998);

INSAG–12. Основные принципы безопасности атомных электростанций (новая редакция INSAG–3) (1999);

INSAG–13. Управление эксплуатационной безопасностью на атомных станциях (1999), в котором анализируются организационные вопросы обеспечения «культуры безопасности отличного качества»;

INSAG–15. Основные вопросы повышения культуры безопасности (2002).

В предисловии к указанному докладу авторы отмечают, что написан он, в первую очередь, для практической деятельности, с тем, чтобы не только понимать сущность концепции, но, главное, количественно оценивать состояние выполнения принятых мер по исключению и минимизации рисков посредством использования универсальных критериев.

В докладе INSAG-15, как отмечает А.М. Агапов, прослеживается история развития культуры безопасности от «бездумного» соблюдения нормативных требований «навязываемых» руководством чисто административным путем, до вхождения понятия безопасность в плоть и кровь, к психологии безопасности [7].

Как отмечает В.Н. Абрамова, «Культура безопасности является так же и частью организационной культуры, поэтому в определении культуры безопасности должны быть отражены и вопросы управления» [4].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что понятие «культура безопасности» обсуждается профессионалами и экспертами, что накопленный в настоящее время теоретический и эмпирический материал трактовки понятия «Культура безопасности» не дает исчерпывающих ответов на все вопросы, связанные с содержанием и процессом формирования культуры безопасности. Каким образом необходимо проводить обучение персонала, поддержание квалификации и подготовку на должность, чтобы обеспечить надежную и эффективную деятельность человека и предупредить возможные ошибки? Насколько успешно принимаются меры по уменьшению рисков, содержащих определенные опасности и угрозы? Как должны выполняться и контролироваться мероприятия, направленные на расследование причин событий и обеспечение безопасной эксплуатации атомных объектов. На эти и другие вопросы необходимо ответить, чтобы показать критерии эффективности культуры безопасности. Анализ научной информации и нормативных документов позволяет раскрыть данное понятие многоаспектно и содержательно. В данной статье представлена лишь часть анализа, проведенного автором по данной проблеме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Тихонов, М.В. и др.* Уроки Чернобыля и Фукусимы: культура и концепция безопасности на объектах использования атомной энергии [Текст] / М.В. Тихонов, М.И. Рылов // Экологические системы и приборы. – 2013. – №12. – С. 38–50.
2. *Василенко Н.П., Руденко В.А.* Мотивационная составляющая личности в культуре безопасности [Текст] / Н.П. Василенко, В.А. Руденко // Глобальная ядерная безопасность. – №2(11). – 2014. – С. 135–141.
3. *Кузнецов, В.Н.* Формирование культуры безопасности в трансформирующемся обществе: социологический аспект : автореф. дис. канд. социолог. наук [Электронный ресурс] / В.Н. Кузнецов. – М., 2002. – Режим доступа: URL: <http://www.dissercat.com/content/formirovanie-kultury-bezopasnosti-v-transformiruyushchemsya-obshchestve-sotsiologicheskii-as#ixzz3DMOQ9t1O> – 04.09.2014.
4. *Абрамова, В.Н.* Организационная психология, организационная культура и культура

- безопасности в атомной энергетике. [Текст] / В.Н. Абрамова. Часть II. Психология формирования и повышения организационной культуры и культуры безопасности на атомных станциях. – М., Обнинск: ИГ – СОЦИН, 2011.
5. *Куприянова, И.А.* Культура безопасности ядерных объектов. Критерии оценки и способы её оценки [Электронный ресурс] / И.А. Куприянова. – [Б.м.], 2004. – Режим доступа: URL: <http://nsrus.ru/materialy/stati/kuprijanova-i-a-kultura-bezopasnosti-jadernyh-obektov-kriterii-ocenki-i-sposoby-eyo-ocenki.html> – 04.09.2014.
 6. *Смутнев, В.И.* Практическая культура безопасности эксплуатации АЭС [Электронный ресурс] / В.И. Смутнев // NuclearNo.ru: сетевой журн. – М., 2011. – Режим доступа: URL: <http://nuclearno.ru/text.asp?9778> – 04.09.2014.
 7. *Агапов, А.М. и др.* Атомная отрасль, атомное право и культура безопасности [Текст] / А.М. Агапов, Г.А. Новиков // Ядерная и радиационная безопасность России. – 2005. – №1.
 8. IAEA. Summary Report on the Post-Accident Review Meeting on the Chernobyl Accident. Safety Series, No. 75-INSAG-1. – IAEA, 1986.
 9. МАГАТЭ. Основные принципы безопасности атомных электростанций. Серия изданий по безопасности № 75-INSAG-3 [Текст]. – МАГАТЭ, 1989.
 10. IAEA. Safety Culture. Safety series No. 75-INSAG-4. IAEA. Vienna, 1991.
 11. *Карякин, А.М. и др.* Роль человеческого фактора в развитии атомного энергопромышленного комплекса России [Текст] / А.М. Карякин, Ю.Н. Селезнев // Вестник ИГЭУ. – 2008. – Вып. 1. – С. 3–8.

The History of "Culture of Safety" Concept

V.A. Roudenko

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,
73/94 Lenin St., Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360
e-mail: VARudenko@mephi.ru*

Abstract – The essence of culture of safety concept is considered in the article. The question of the introduction of this concept and disclosing of essential features is debatable. Nearly 90% authors refer the creation of culture of safety concept to 1986 (INSAG-1) though the “culture of safety” phrase is only used for the first time in the first magazine issue published by the International consultative group of nuclear safety. The object of present research is formation of the concept for half a century nuclear power development, the comparative analysis of approaches to culture of safety definition and further projects on improvement of the conception.

Keywords: safety, culture of safety, purpose and principles of nuclear safety, human factor.

**СОЦИАЛЬНО-ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ
ТЕРРИТОРИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ АЭС**

УДК 316.7:621.039.58

**ФОРМИРОВАНИЕ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ
СТУДЕНТОВ-АТОМЩИКОВ ЧЕРЕЗ ВЫЯВЛЕНИЕ
ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ОЖИДАНИЙ**

© 2014 г. Н.И. Лобковская, А.В. Железнякова

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

В работе представлены результаты исследования профессиональных ожиданий студентов старших курсов специальности «Атомные электрические станции и установки» с целью реализации стратегии развития учебной внутривузовской среды и ее адаптации к социокультурным и образовательным потребностям будущих специалистов атомной отрасли.

Ключевые слова: культура безопасности, профессиональные ожидания, профессиональное целеполагание, компетенция.

Поступила в редакцию 02.09.2014 г.

Культура безопасности представляет собой систему норм и требований, надлежащее соблюдение которых гарантирует качество профессиональной деятельности. Сознательное следование установленным правилам и готовность нести ответственность в рамках профессионального взаимодействия обеспечивает эффективность производственного процесса. С целью формирования и развития культуры безопасности следует особое внимание обратить на студенческую среду. В этой связи особое место у учебных заведений высшего профессионального образования.

Институты призваны готовить высокопрофессиональных специалистов, способных эффективно справляться с производственными задачами и принимать оптимальные управленческие решения, что невозможно без реализации принципов культуры безопасности. Одним из маркеров сформированности этих принципов выступают профессиональные ожидания. Управление процессом создания целенаправленных механизмов развития профессиональных ожиданий студентов – актуальная задача высших учебных заведений.

Деятельность института должна иметь четкую направленность на формирование у студентов системы профессиональных ожиданий в рамках получаемой специальности и развивать навыки их реализации. Такие ожидания предполагают обращенность в профессиональное будущее, формирование образа желаемого грядущего в контексте получаемого опыта. В рамках системы высшего образования профессиональные ожидания студентов становятся важным условием их профессиональной реализации. Индикатором этих ожиданий можно считать академические результаты и нацеленность на их улучшение.

Таким образом, можно констатировать актуальность рассматриваемой темы, а также обозначить важной задачей образовательных учреждений формирование профессиональных ожиданий студентов в рамках получаемой специальности и развитие навыков их реализации как составляющие культуры безопасности.

Осознание значимости своих ожиданий в контексте получаемого опыта продуцирует образ желаемого будущего. В этой связи управление процессом создания целенаправленных механизмов развития профессиональных ожиданий студентов становится приоритетным направлением развития высшей школы.

Студенты, пришедшие в вуз со школьной скамьи, не имеют четкого представления о будущей профессии, их профессиональные ожидания размыты. Так как в рамках системы высшего образования профессиональные ожидания и целеполагание студентов становятся важным условием их профессиональной реализации, специалисты приходят к выводу, что над этим направлением необходимо работать с первого курса. С целью выяснения профессиональных ожиданий студентов в марте-апреле 2014 года было проведено социологическое исследование, объектом которого стали студенты 4 и 5 курсов очной формы обучения специальности «Атомные электрические станции и установки».

В качестве основного метода исследования использовался анкетный опрос.

По результатам первого вопроса о причинах выбора вуза можно сказать, что 32% студентов поступили в ВИТИ профориентированно, определенный процент студентов, сделавших свой выбор по рекомендации родственников или знакомых (а это 29% опрошенных), тоже могут быть отнесены к этой категории, так как, возможно, на них влияли, например, родители, которые трудоустроены на АЭС, а значит можно говорить о внутрисемейной профориентированности (см. рисунок 1). Однако таких студентов меньшинство, известно, что большая часть наших студентов являются приезжими (среди своих вариантов ответов были такие, как «У меня интерес к ядерной физике», «Институт находится в нашем городе» и «Необходимость высшего образования для трудоустройства»).

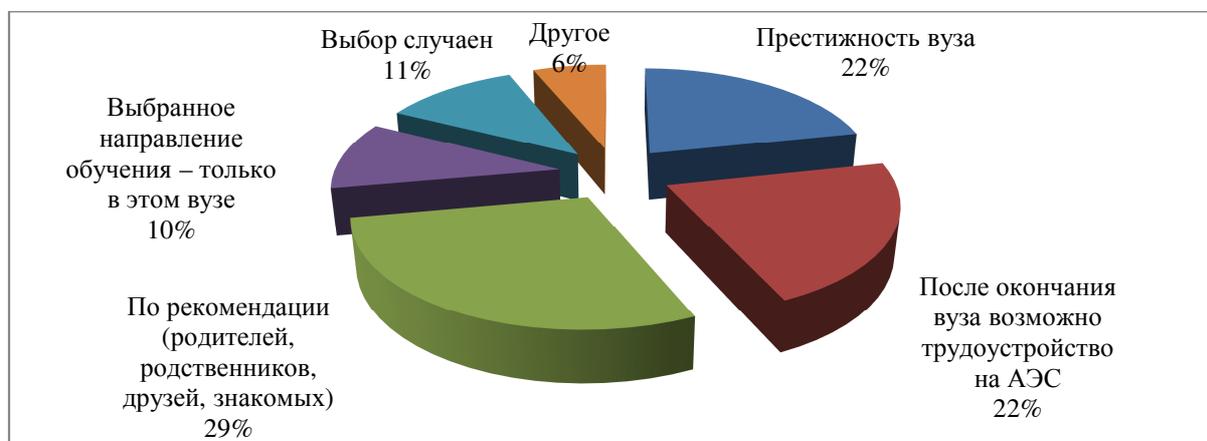


Рис. 1. – Причина выбора ВИТИ НИЯУ МИФИ

Следующим вопросом предлагалось определить круг преимуществ отраслевого статуса вуза (см. рисунок 2). 32% опрошенных студентов главным плюсом считают возможность приоритетного трудоустройства на предприятия атомной отрасли. Еще 16% студентов преимуществом считают жизнеспособность института в условиях реформирования системы образования, так как НИЯУ МИФИ, несмотря на модернизационные изменения в системе образования, создает оптимальные условия для обучающихся. 25% студентов считают, что головной вуз имеет авторитет в отрасли и распространяет его и на филиалы. 19% опрошенных выделяют преимущество большие возможности для реализации полученных в институте знаний на практике: институт тесно взаимодействует с крупнейшими предприятиями АО (в институте

проводятся презентации организаций и предприятий, экскурсии, встречи, ярмарки вакансий, дни карьеры, задачей которых является знакомство студентов со спецификой предприятий).

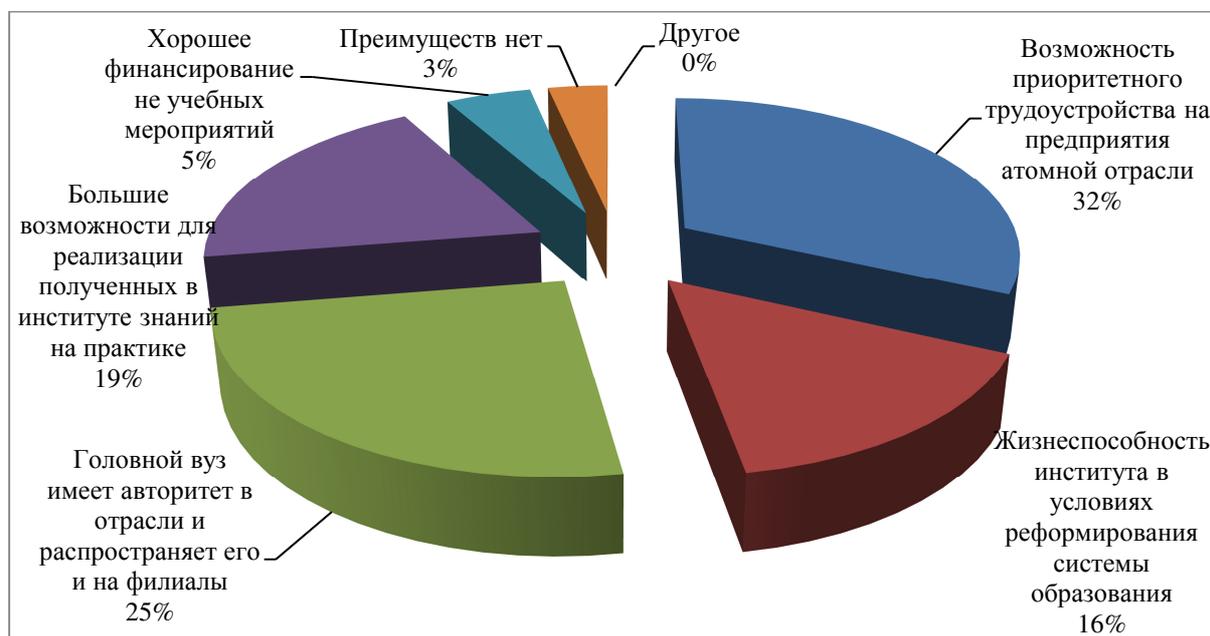


Рис. 2. – Преимущества принадлежности ВИТИ к атомной отрасли

Анализируя полученные данные по следующему вопросу, можно сказать, что для большинства студентов профессиональная реализация является значимым фактором – 93% опрошенных. Они понимают важность профессионального роста и намерены повышать свой профессиональный уровень. Для них важны самореализация, карьерный рост и удовлетворение от своей будущей работы (см. рисунок 3).

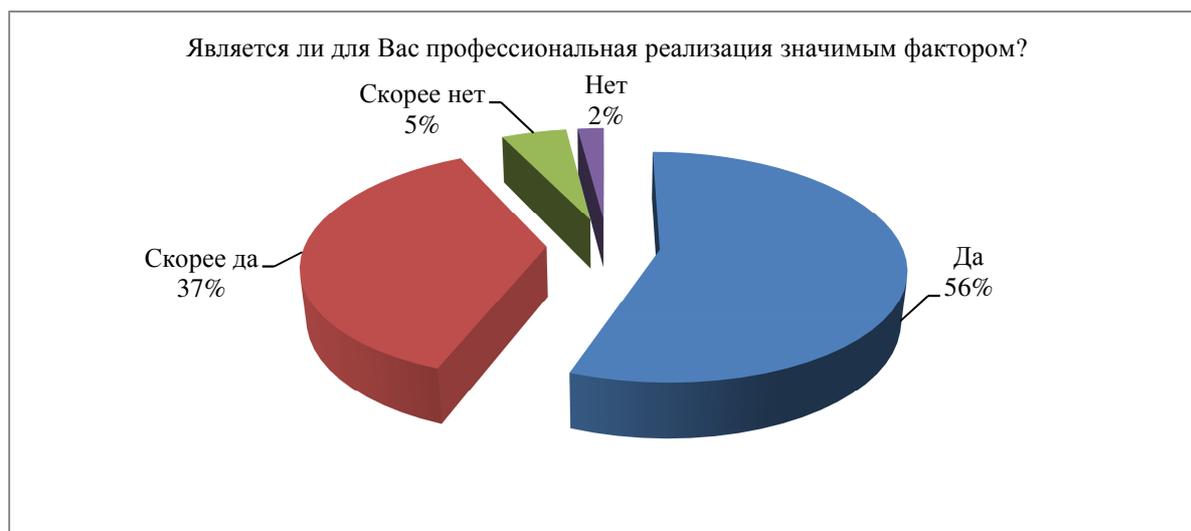


Рис. 3. – Профессиональная реализация как значимый фактор

На вопрос, являются ли специальные дисциплины приоритетными, 95% опрошенных студентов ответили утвердительно, что подтверждают и академические результаты (см. рисунки 4 и 5).

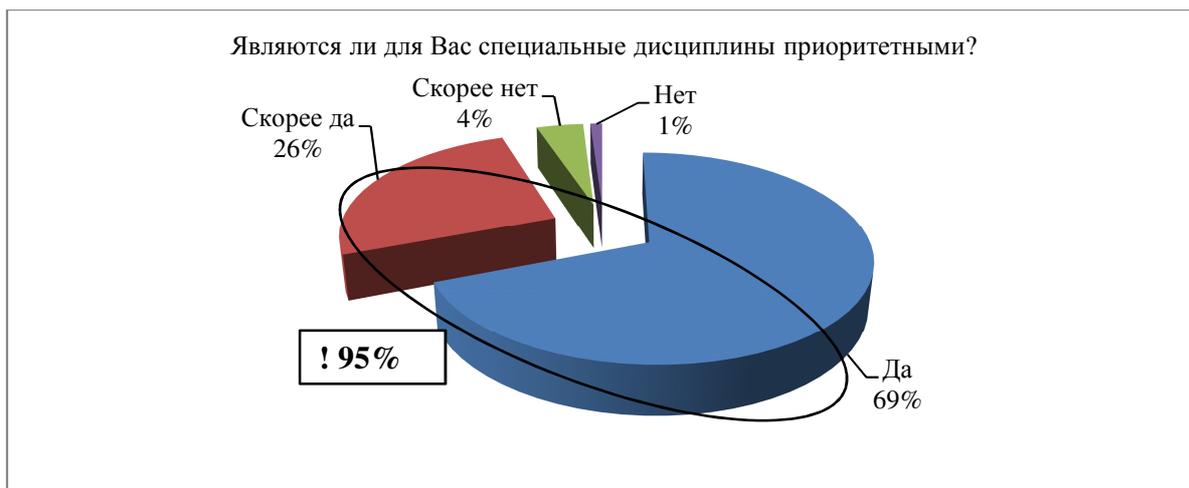


Рис. 4. – Приоритетность специальных дисциплин

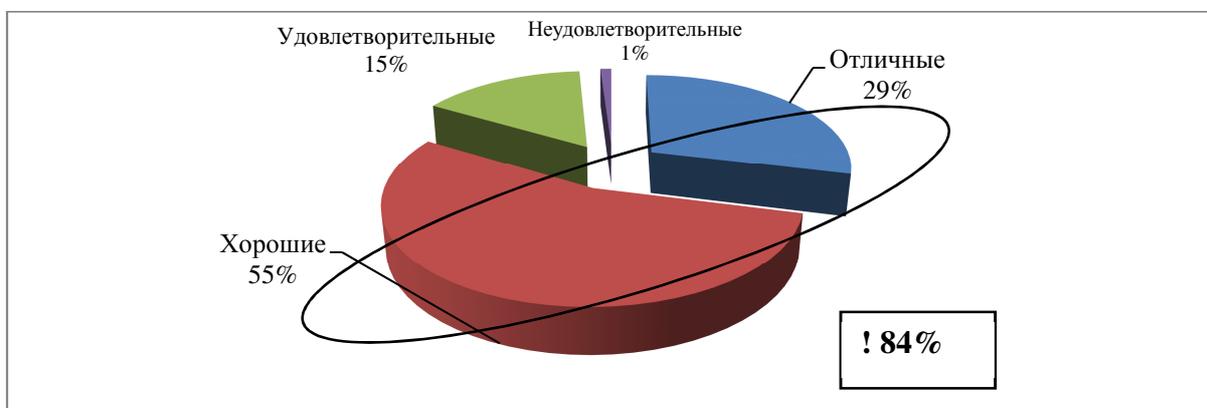


Рис. 5. – Академические результаты по специальным дисциплинам

На следующий вопрос 81% опрошенных студентов ответили, что учебная активность и ответственность являются решающими факторами в овладении специальностью, что говорит об успешном становлении студентов как субъектов профессионального сообщества (см. рисунок 6).

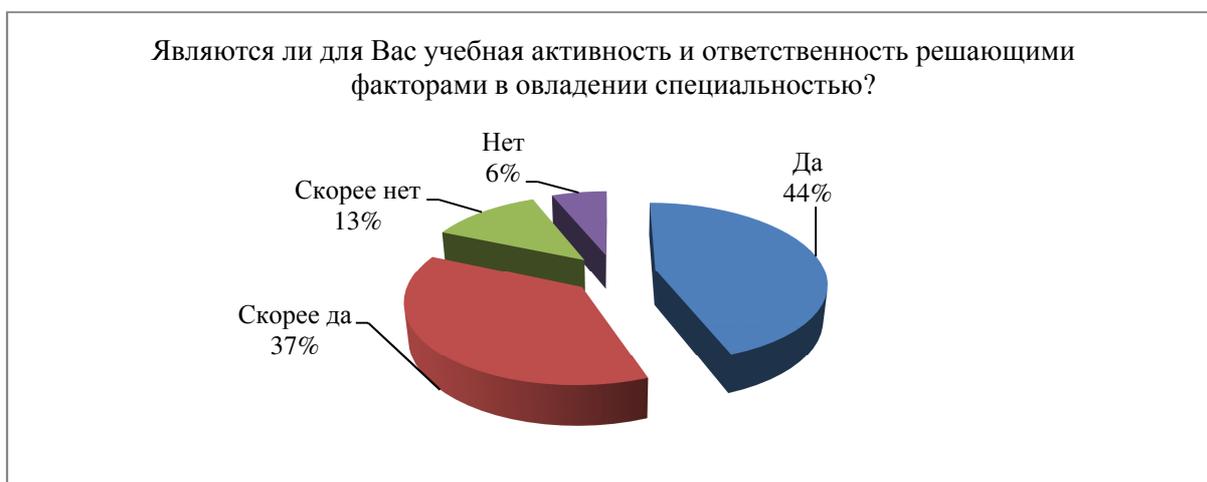


Рис. 6. – Учебная активность и ответственность студента как решающие факторы в овладении специальностью

Достаточно большое количество студентов – 72% – ответили, что будут прилагать еще больше усилия для улучшения успеваемости, что соответствует проценту, обучающихся хорошо и удовлетворительно (см. рисунок 7).



Рис. 7. – Намерения по улучшению успеваемости

Показательно, что 73% студентов считают возможность трудоустройства на АЭС стимулом для хорошей учебы. Это подтверждает сформированность их профессиональных ожиданий (см. рисунок 8).

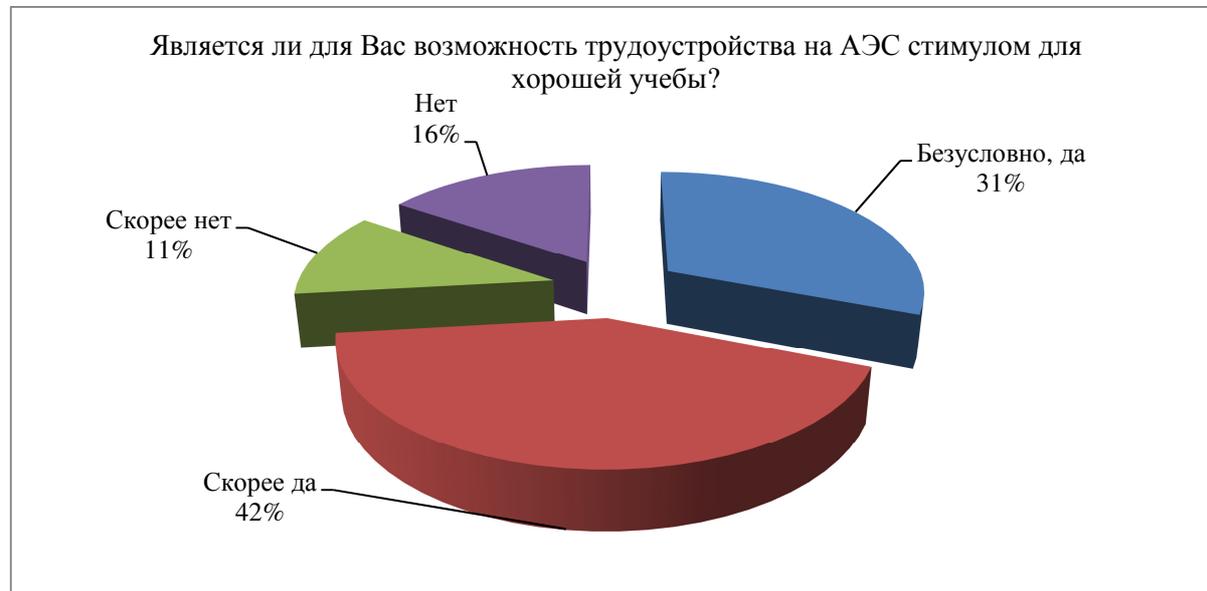


Рис. 8. – Возможность трудоустройство на АЭС как стимул для хорошей учебы

На следующий вопрос 45% опрошенных студентов ответили, что полученные в институте знания и опыт являются достаточными для работы на АЭС, а 55% ответили, нет, что составляет больше половины опрошенных (см. рисунок 9). Хотя и разница не большая, но все же, большее количество студентов, считают необходимым подкрепление полученных знаний и опыта в институте практикой непосредственно на предприятии.

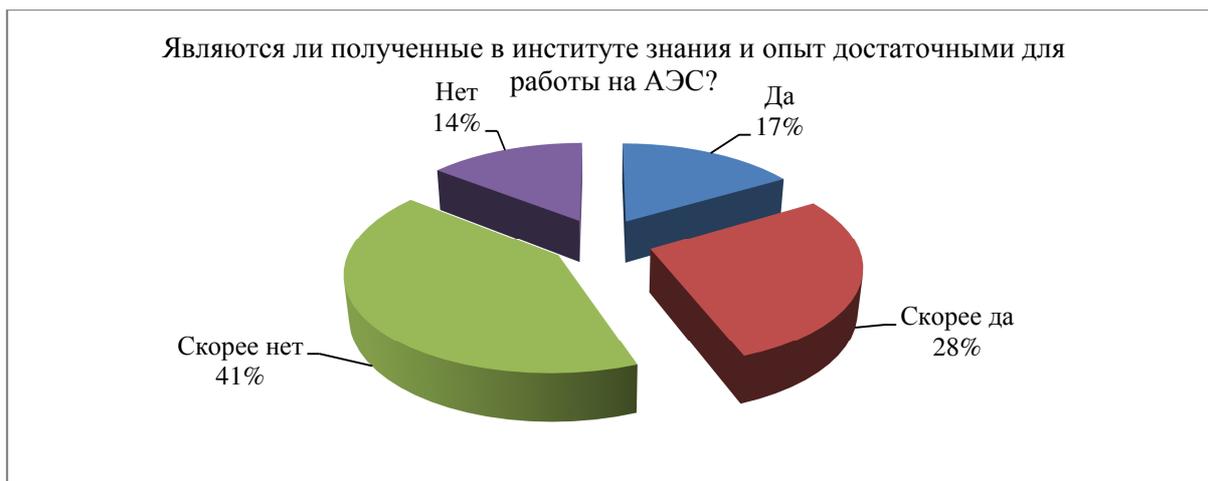


Рис. 9. – Достаточность полученных в институте знаний и практического опыта для работы на АЭС

При ответе на вопрос о повышении эффективности применения знаний на практике 32% опрошенных студентов считают, что надо больше проводить практических занятий на предприятии, 30% хотят на практике заниматься деятельностью по своей специальности и 14% опрошенных, предлагают увеличить долю преподавателей, имеющих опыт работы на предприятии (см. рисунок 10). Это говорит о том, что 76% опрошенных студентов выбрали практикоориентированные методы. Кроме того, 9% считают эффективным увеличение количества практических и лабораторных занятий и 10% обратили внимание на необходимость современного материально-технического обеспечения специальных дисциплин.



Рис. 10. – Способы повышения эффективности применения знаний на практике

Заключительным вопросом данной анкеты был о заработной плате, которая удовлетворила бы потребности студентов при трудоустройстве на АЭС, 8% студентов были бы удовлетворены для начала и стартовой заработной платой до 20 тысяч. 44% опрошенных претендуют при трудоустройстве на заработную плату от 20 до 30 тысяч. Ну а большинство студентов (48%) желают получать более 30 тысяч (см. рисунок 11).

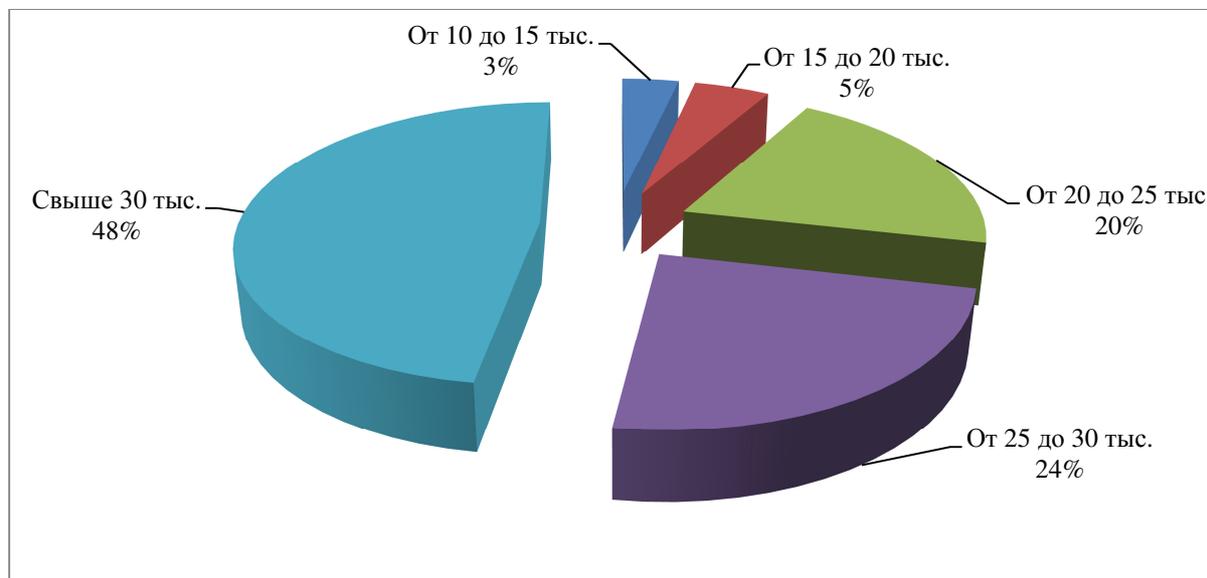


Рис. 11. – Ожидаемая заработная плата при устройстве на работу по специальности

Итак, профессиональная успешность будущего специалиста-атомщика зависит и от его способностей, личностных качеств, мотивации и ценностей как таковых и, конечно же, от их соответствия выбранной специальности, от сформированной уже в вузе способности выстраивать стратегии и тактики гибкой ориентации в формировании профессиональных ожиданий. Формируемая в институте база такого ориентирования должна включать представления о карьере, возможностях и путях карьерного роста, а также способности прогнозировать, планировать будущую карьеру и преодолевать карьерные кризисы.

Возникают вопросы, как можно реализовать технологическую модель становления карьеры в период вузовской подготовки, каким образом она может быть включена в профессиональную подготовку. И здесь надо отметить, что процесс профессионального становления у студентов проходит непросто, а с последовательным преодолением кризисов [3].

Ключевыми периодами в отношении формирования профессионального целеполагания и прохождения карьерных кризисов являются 1, 3 и 5 курсы. В эти периоды «определяя для себя цель деятельности, студент более ясно представляет пути ее достижения и осознает необходимость соответствия предъявляемым компетенциям. У него заново формируются и правильно развиваются представления об успешности в профессиональной деятельности по выбранному для обучения направлению и профилю подготовки. Все это способствует выбору оптимального пути достижения требуемых результатов, что естественным образом скажется на повышении результативности в обучении» [1]. Можно сказать, что для студентов первого курса характерен адаптивный уровень профессионального становления, для студентов третьего курса – профессионально-репродуктивный, а для студентов-выпускников – уровень профессионального становления и приверженность принципам культуры безопасности.

Кроме выше сказанного, следует помнить о необходимости стимулирования

профессиональной мотивации и своевременной адаптации к изменениям в образовательном пространстве профессорско-преподавательского состава, так как именно они формируют у студентов понимание важности культуры безопасности и обеспечивают процессы качественной трансформации профессиональных ожиданий и целеполагания и «сталкиваются с необходимостью реализовывать индивидуальный подход к обучению и воспитанию...» [4, С. 83].

Таблица 1. – Взаимосвязь этапов становления профессиональных ожиданий в рамках формирования культуры безопасности в период обучения в институте

Курс, Стадия карьеры	Этап формирования профессиональных ожиданий	Этап развития профессиональной компетенции	Кризис	Противоречие	Способ разрешения противоречия
1 курс, Профессиональное ориентирование	Самостоятельное формирование студентом общих представлений деятельности на основе ценностей и смыслов	Развитие ключевых компетенций	Адаптация к институту	Различия между способами освоения и контроля знаний, сформированными в школе, и новыми формами обучения в институте	Программа адаптации для первокурсников, включающая знакомство с корпоративной культурой института, с особенностями осуществления образовательного процесса в институте
3 курс, Профессиональная идентификация	Построение предметной деятельности, где общие представления конкретизируются через способы	Развитие профессиональных компетенций	Переосмысление выбранной профессии	Различия между имеющимися представлениями и о профессии и реальным содержанием профессиональной деятельности	Формирование реалистичного представления о профессии на основе практик (технологической, производственной), а также привлечение к преподаванию специальных дисциплин высококвалифицированных специалистов-практиков
5 курс, Профессиональное самозатверждение	Становление студента как субъекта профессионального сообщества	Развитие профессиональных компетенций	Выход на рынок труда	Несоответствие между имеющимися профессиональными компетенциями и требуемыми компетенциями в условиях современного рынка труда	Диагностика и развитие требуемых компетенций и получения недостающих путем прохождения специальных тренингов, мастер-классов и освоения дополнительной специализации

Проведенное социологическое исследование показывает взаимосвязь этапов становления профессиональных ожиданий в рамках формирования культуры

безопасности в период обучения в институте. Большинство опрошенных студентов поступили в ВИТИ НИЯУ МИФИ в надежде на успешную профессиональную реализацию в атомной отрасли, тем самым демонстрируя приверженность ключевым принципам культуры безопасности уже в самом начале пути. Студенты готовы справляться с производственными задачами и принимать управленческие решения, качественно реализовывать профессиональные компетенции и нести ответственность за самообучение и повышение квалификации, критически относиться к небезопасным действиям и условиям. Все это и является базовыми принципами культуры безопасности будущих специалистов атомной отрасли. Интерес представляет тот факт, что полученные данные коррелируют с результатами исследования социального самочувствия студентов-атомщиков ВИТИ НИЯУ МИФИ, проведенного в 2012 году [3, С. 92-97, 5, С.82-86, 6, С.135-141].

Результаты данного социологического исследования предназначены для использования специалистами учебно-методического и воспитательного отделов при разработке и проведении мероприятий по поддержанию и улучшению академической успеваемости студентов, а также в целом для повышения эффективности деятельности института. Вводы по результатам работы могут быть полезны центру карьеры образовательного учреждения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лобковская Н.И. и др. Психолого-педагогические аспекты адаптации первокурсников, получающих высшее образование на базе среднего профессионального [Текст] / Н.И. Лобковская, С.А. Томилин, Ю.А. Евдошкина // Ученые записки: электронный научный журнал Курского государственного университета. – 2014. – №2(30).
2. Седин, В.И. Адаптация студента к обучению в вузе: психологические аспекты [Текст] / В.И. Седин, Е.В. Леонова // Высшее образование в России. – 2009. – №7. – С. 83–89.
3. Лобковская, Н.И. Социальное самочувствие студентов специальности «Атомные электрические станции» ВИТИ НИЯУ МИФИ [Текст] / Н.И. Лобковская // Глобальная ядерная безопасность. – 2012. – №4(5). – С. 92–97.
4. Садон, Е.В. Проблемы контроля и оценки уровня сформированности профессиональных компетенций выпускников учреждений профессионального образования [Текст] / Е.В. Садон // Материалы семинара-совещания 12–13 декабря 2008. – Владивосток: ВГУЭС, 2009. – С. 103–115.
5. Руденко В.А. и др., Ценностная составляющая культуры безопасности [Текст] / В.А. Руденко, Н.П. Василенко // Глобальная ядерная безопасность. – 2013. – №4(9). – С. 82–86.
6. Василенко Н.П. и др., Мотивационная составляющая личности в культуре безопасности [Текст] / Н.П. Василенко, В.А. Руденко // Глобальная ядерная безопасность. – 2014. – №2(11). – С. 135–141.

Culture of Safety Formation of Nuclear University Students by Means of Professional Expectations Identification

N.I. Lobkovskaya*, A.V. Zheleznyakova**

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the Branch
of National Research Nuclear University «MEPhI»,
73/94 Lenin St., Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360
*e-mail: nadezhda-lobkovskaya@yandex.ru ; ** e-mail: AVZheleznyakova@mephi.ru ;*

Abstract – In work the results of professional expectations research of senior students of "Nuclear power plants and installations" specialty senior students are presented on the purpose to realize the strategy of development of the educational intra- university environment and its adaptation to sociocultural and educational needs of nuclear branch future specialists.

Keywords: culture of safety, professional expectations, professional goal-setting, competence.

**СОЦИАЛЬНО-ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ
ТЕРРИТОРИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ АЭС**

УДК 378:51:621.039

**ОСОБЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ
СТУДЕНТОВ, ОРИЕНТИРОВАННЫХ НА РАБОТУ
В ЯДЕРНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ**

© 2014 г. Н.П. Василенко, Н.И. Чабанова

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

В данной статье авторами выделены современные особенности математической подготовки студентов, обусловленные спецификой их будущей профессиональной деятельностью, необходимостью формирования у студентов культуры безопасности средствами учебных дисциплин, концепцией математической подготовки в России, современными информационно-коммуникативными технологиями обучения, переходом на электронную педагогику в образовании.

Ключевые слова: подготовка специалистов, культура безопасности, педагогические технологии, электронная педагогика.

Поступила в редакцию 02.09.2014 г.

Актуальность рассмотрения вопроса математической подготовки студентов, ориентированных на работу в ядерно-энергетическом комплексе обусловлена несколькими причинами: во-первых, особыми требованиями к специалистам данной отрасли, необходимостью формирования культуры безопасности студентов на индивидуальном уровне средствами учебных дисциплин; во вторых, особенностями математики, как науки в становлении специалиста, как профессионала, так и личности; в третьих, современными проблемами математического образования; в четвертых, возможностями современных технологий подготовки специалистов.

Учёные и практики вузовской системы образования к решению данного вопроса подходят комплексно, проводя исследовательскую деятельность с построением различных моделей математической подготовки контекстного обучения, ориентированных на условия организации образовательного процесса в вузе и требования работодателей к специалистам отрасли.

Наиболее важным событием в области математического образования современности является утверждение Концепции развития российского математического образования и плана мероприятий по ее реализации на 2014-2020 годы.

В Концепции развития российского математического образования отмечается, что «способы логического рассуждения, планирования и коммуникации, моделирования реального мира, реализуемые и прививаемые математикой, являются необходимым элементом общей культуры с более чем трехтысячелетней историей». Что подтверждает утверждение о том, что «математика лежит в основе всех современных технологий и научных исследований, является необходимым компонентом экономики, построенной на знании» [1]. Тем самым, актуализируется математическая подготовка студентов, ориентированных на работу во всех отраслях производства.

Особенно выделяется математическая подготовка студентов, ориентированных на работу в ядерно-энергетическом комплексе, как одном из приоритетных направлений экономики. Поэтому в Плане мероприятий по реализации Концепции развития математического образования в Российской Федерации включена «разработка предложений, направленных на включение математических областей в приоритетные направления развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и математических направлений в перечень направлений подготовки, отвечающих направлениям развития науки и технологий» [2].

В настоящее время в соответствии с данным планом реализации концепции проводится анализ существующих методик и технологий профессионального математического образования и, особенно, выделяются образовательные технологии дистанционного и электронного обучения. На период до 2020 года спланирована разработка методических рекомендаций по применению наиболее результативных методик и технологий математической подготовки обучающихся. Поэтому, естественно, каждый преподаватель анализирует опыт и результаты своей деятельности и выделяет наиболее эффективные, отвечающие современным требованиям технологии математической подготовки студентов.

Одним из обсуждаемых вопросов современной педагогики является понятие «электронная педагогика», так как «процесс информатизации всех сфер человеческой деятельности привёл к новой общественной формации, называемой информационным обществом (постиндустриальным, знаниевым обществом). Классическая педагогика, начиная с Я. Коменского, хорошо обслуживала индустриальную эпоху, но стала неадекватной информационному обществу и поэтому потребовалась разработка новой парадигмы, новых подходов к образованию». Новая педагогическая система обучения (электронная педагогика), как отмечает А. Андреев, является инвариантной описательной моделью учебного процесса, отвечающего на вопросы: Чему учить? Как учить? Кого учить? С помощью чего учить? Кто будет учить? В каких условиях происходить учебный процесс? [3]. Именно поэтому она позволяет каждому педагогу, по каждому направлению подготовки бакалавров и специалистов, с учетом условий образовательной деятельности в каждой образовательной организации строить свою индивидуальную траекторию обучения. Это должно повлечь за собой развитие методического, организационного и технологического обеспечения, а также изменение роли преподавателя. Преподаватель в возрастающей мере становится систематизатором знаний, руководителем и консультантом образовательной траектории студентов.

С этой точки зрения, активно проводимая в настоящее время образовательная реформа призвана сменить поведенческую установку педагогов, реализующих внедрение кредитно-модульной системы компетентностной модели обучения, главная цель которой – помочь студентам приобрести определенные навыки и компетенции, необходимые в дальнейшей профессиональной жизни, а так же выработать собственную траекторию обучения.

В новом подходе делается упор на результаты обучения, которые становятся главным итогом образовательного процесса для студента с точки зрения знания, понимания и способностей, а выбор средств и методов обучения, которые используют преподаватели для достижения этих результатов, это его выбор.

Наряду с сохранением своего прежнего ролевого статуса преподаватель призван обеспечить более высокие уровни консультирования и мотивации обучающихся в том, что относится к критическому отбору информации, ее источников, организации адекватных учебных ситуаций, ликвидации выявленных пробелов. В свою очередь, образовательный процесс потребует от студентов большей степени вовлеченности, развития своих умений работать с оригинальной информацией, пользоваться

разнообразными формами доступа к информации и ее оценке.

Переход на новую модель обучения требует разработку нового подхода к оцениванию результатов обучения и уровня сформированности компетенций студентов и выпускников. Одним из форматов проведения внешней независимой оценки результатов обучения студентов является инновационный проект «Федеральный Интернет-экзамен в сфере профессионального образования». Проект позволяет оценить учебные достижения студентов на различных этапах обучения в соответствии с новыми требованиями, заложенными в федеральных государственных образовательных стандартах, а также провести оценку базового уровня подготовки студентов в соответствии с требованиями образовательных стандартов, так как «только на основе поэтапного анализа учебных достижений студентов возможно сфокусировать внимание на результатах каждого отдельного студента, что особенно важно при реализации компетентностного подхода, основанного на формировании и развитии общекультурных и профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ФГОС»[4].

Высокое качество подготовки специалистов в ВИТИ НИЯУ МИФИ является приоритетным направлением деятельности института. Мы стремимся не только внедрять новые методы обучения будущих специалистов, но и активно использовать инновационные подходы к оценке качества подготовки специалистов. Использование современных информационно-коммуникационных технологий, а именно, Интернет-тренажеров, повышает объективность этой оценки.

Кроме того, Интернет-тренажеры, используемые для мониторинга качества обучения специалистов, призваны решить ряд практических задач по созданию у студентов стимулов к обучению, а именно: сформировать у студентов новые компетентности, знания и умения, способы деятельности, которые им потребуются в новой информационной среде обитания; подготовить к самостоятельному принятию решений в профессиональной деятельности и в современном информационном обществе.

Самостоятельная работа учащегося направлена не только на усвоение и закрепление полученных знаний, но также и на развитие творческих навыков, умение ориентироваться в большом объеме информации. Студента необходимо направлять на правильную организацию своего времени, поскольку в условиях перехода к государственным образовательным стандартам третьего поколения требуется изменение организации образовательного процесса: сокращение аудиторной нагрузки и увеличения часов самостоятельной работы студентов.

В своей практике мы применяем Интернет-тренажер по математике, разработанный в рамках НИИ мониторинга качества образования. Эти тренажеры позволяют студентам отработать практические умения и навыки на различных уровнях, а также дают возможность проведения самоконтроля на любом этапе процесса обучения. Интернет-тренажер имеет два режима «Обучение» и «Самоконтроль».

Режим «Обучение» предназначен для самостоятельной работы студента, направленной на закрепление и осмысление пройденного материала. Важно, что для этого режима существует обратная связь. Здесь есть комментарии к тестовым заданиям. При работе в режиме «Обучения» студент не имеет временных ограничений. После выполнения каждого задания сразу же появляется информация о правильности выбранного ответа. Если ответ не верен – есть возможность воспользоваться подсказкой. Здесь же можно обратиться и к варианту правильного решения.

В режим «Самоконтроль» студент имеет возможность максимально прочувствовать обстановку и условия контрольного тестирования, которое проводится преподавателем. В этом режиме отсутствуют комментарии к тестовым заданиям. Время

тестирования ограничено. После изучения материала и отработки навыков и умений, студент может самостоятельно оценить свой уровень знаний и компетенций, выполнив тест в режиме «Самоконтроль». На экран выводятся результаты тестирования. Эти результаты представлены в виде процента правильно выполненных заданий и количества освоенных разделов дисциплины из их общего числа.

Например, на практическом занятии дисциплины «Математика», после того как разобраны и решены задачи по изучаемой теме, студент может самостоятельно на Интернет-тренажере закрепить полученные знания и умения в режиме «Обучение». Каждый учащийся работает в комфортном для него темпе. Интернет-тренажеры позволяют реализовать на практике индивидуальный подход к каждому студенту. Учащиеся с высокой работоспособностью имеют возможность решить больше заданий и сразу же проверить свои знания, выполнив пробное тестирование по изучаемой теме в режиме «Самоконтроль». Более слабые студенты, испытывающие трудности при выполнении задания, могут получить помощь в виде комментария к каждой задаче.

Систематическое использование Интернет-тренажеров при изучении дисциплины «математика» позволяют студенту адекватно оценить свой уровень знаний, умений и компетенций, поскольку, пользуясь личным кабинетом, он имеет возможность сравнить свои результаты с достижениями других студентов группы. Доступ к такой информации стимулирует студента, активизирует его деятельность для достижения более высоких результатов. Интернет-тренажеры позволяют достичь этих целей, поскольку режим «самообучения» дает возможность студенту практиковаться в решении типовых задач. Так как в программе Интернет-тренажера отсутствует ограничение на количество запусков тренировочных тестов, то студент может с домашнего компьютера, подключенного к интернету, неограниченное число раз использовать интернет-тренажер. Это позволяет ему совершенствовать навыки в выполнении той или иной задачи.

Такой подход к обучению математики значим еще и тем, что обучение математике, как и изучение других дисциплин, должно способствовать формированию общекультурных и профессиональных компетенций студентов. Для студентов, ориентированных на работу в атомной отрасли важна сформированность культуры безопасности, приверженность культуре безопасности на индивидуальном уровне, как условие предотвращения рисков, обусловленных человеческим фактором. Именно изучение математики, организованное представленной выше технологией электронного обучения позволяет сформировать такие составляющие приверженности культуре безопасности как: критическая позиция, строго регламентированный подход, коммуникативность.

Например, критическая позиция, в соответствии с которой человек, прежде чем приступить к выполнению каких-либо задач, связанных с безопасностью, должен мысленно проверить себя по следующим вопросам: понимаю ли я задачу; в чем состоит моя ответственность; достаточны ли мои знания для выполнения работы; возможны ли какие-либо непредвиденные обстоятельства; нужна ли мне помощь; какие могут быть ошибки; какие могут быть последствия ошибок; что нужно сделать, чтобы избежать ошибок, может и должна формироваться в процессе проведения занятий в вузе (не зависимо от их содержания) особенно при проведении лабораторных и практических занятий.

Аналогичная ситуация и по составляющей «строго регламентированный и взвешенный подход», которого должен придерживаться каждый работник предприятия при выполнении работ, влияющих на безопасность (правильное понимание рабочих процедур; точное исполнение этих процедур; готовность к неожиданному развитию событий; прекращение работы и обдумывание возникшей проблемы; обращение за

помощью при необходимости; особое внимание уделять своевременности выполнения заданий; исполнение работ с особой тщательностью; строгое следование установленной последовательности операций). Данные компетенции могут и должны формироваться методами организации образовательного процесса по дисциплинам и в вузе в целом. [5].

Все эти позиции учитывают преподаватели в построении моделей математического образования в профильных вузах, основанные на технологиях деятельностного подхода, который позволяет наиболее полно описывать основные психолого-педагогические условия и механизмы процесса обучения студентов математике, структуру их учебной деятельности. Для студентов, ориентированных на работу в атомной отрасли структурирование содержания математического образования проводится с учетом анализа видов ведущей деятельности (познавательной, исследовательской, учебно-производственной, дискуссионной и т.д.) [6] и видов учебной деятельности [7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Концепция развития российского математического образования [Электронный ресурс] – Режим доступа: // www.pravo.gov.ru, 27.12.2013.
2. План мероприятий по реализации Концепции развития математического образования в Российской Федерации [Электронный ресурс] – Режим доступа: // www.math.ru/conc/vers/mery-MON-0.doc
3. Андреев. А. Электронная педагогика: может она и существует// [Электронный ресурс]: А. Андреева – Режим доступа: <http://www.e-learning.by/Article/Elektronnaja-pedagogika-mozhet-ona-i-suschestvuet/ELearning.html>
4. Киселева В. П. Оценка результатов обучения студентов по итогам ФЭПО: компетентностный подход [Текст] // Оценка компетенций и результатов обучения студентов в соответствии с требованиями ФГОС : материалы III Всероссийской науч.-практ. конференции. – М., 2012. – С. 31–35.
5. Руденко В.А. и др. Практические методы формирования приверженности культуре безопасности на индивидуальном уровне у студентов вуза [Текст] / В.А. Руденко, Н.П. Василенко // Глобальная ядерная безопасность. – 2013 №1(6). С. 100–103.
6. Ильмушкин Г.М. Математическая подготовка будущих специалистов атомной отрасли как важнейший фактор профессионального становления [Текст] / Г.М. Ильмушкин // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 11 (часть 5) – стр. 1103-1106 Режим доступа: URL: <http://www.rae.ru>
7. Замыслова А.И. Развитие профессиональной компетентности студентов технических вузов средствами математики [Текст] / А.И. Замыслова // Глобальная ядерная безопасность. – 2014 №2(11). С. 125–130.

Mathematical Training Features of the Students Focused on Work in the Nuclear Power Complex

N.P. Vasilenko, N.I. Chabanova

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,
73/94 Lenin St., Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360
e-mail: NPVasilenko@mephi.ru*

Abstract – In this article, the authors highlighted the modern mathematical training features of students stipulated specific character of their future professional activity, the need to develop students safety culture by means of academic disciplines, the Concept of mathematical training in Russia, advanced information and communication educational technologies, the transition to e-pedagogy in education system.

Keywords: safety, training, safety culture, educational technology, e-pedagogy.

Памяти Константинова Петра Анатольевича



23 июля 2014 г. исполнился год как на 53 году ушел из жизни Петр Анатольевич Константинов.

П.А. Константинов родился 2 января 1961 г. в г. Красноярске, в семье строителей. С отличием закончил в 1978 г. среднюю школу №11 в г. Волгодонске. Получил высшее образование в Волгодонском филиале Новочеркасского политехнического института (ныне – ВИТИ НИЯУ МИФИ).

Еще будучи студентом, принимал самое активное участие в разработке и внедрении ЛТУ-лазерной терапевтической установки для лечения инфицированных ран и трофических язв (решение ГК НТУ СМ СССР Г 2766903). Несколько лет работал в Волгодонском филиале ВНИИАМ, по приглашению перешел на работу в ВФ НПИ на кафедру сварки. В 1992 г. стал заведующим лабораторией кафедры физики и микроэлектроники. По договору с ПО «Атоммаш» принимал непосредственное участие в разработке программы для обеспечения пуска, наладки и работы первой перегрузочной машины.

В 1992 г. участвовал в создании Научно-производственного центра, организовал первый в Волгодонске узел электронной почты. Городской узел Интернет НПЦ «Микроэлектроника» получил известность, как в России, так и за рубежом.

В 1998 г. П.А. Константинов вернулся на свою малую родину в г. Красноярск, где возглавил краевой комитет по взаимодействию со средствами массовой информации. Здесь он закончил аспирантуру, защитил кандидатскую. Автор более 30 научных публикаций, в том числе 15, изданных за рубежом.

В сентябре 2000 г. был назначен на должность председателя Красноярской Государственной телерадиокомпании (КГРТК). В 2008 г. был избран в Красноярский городской совет депутатов, работал на должности доцента Сибирского Федерального университета. Был известен, как опытный руководитель, талантливый преподаватель, всегда сохранявший оптимизм и невероятную работоспособность.

За заслуги был награжден орденами «Михаила Васильевича Ломоносова» и «Меценат Столетия», отмечен множеством благодарностей. Имя П.А. Константинова увековечено на страницах Золотой Книги Наций в основании Архитектурно-паркового комплекса в г. Оренбурге в рамках международного проекта «Добрый Ангел Мира».

Группа друзей и коллег по научной, производственной, общественно-политической и преподавательской деятельности в г. Красноярске и Волгодонске Ростовской области

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ НОМЕРА

Баран С.А.	20
Бекетов В.Г.	78
Беляева Е.С.	20
Березина Е.А.	5
Берела А.И.	11
Бубликова И.А.	5
Василенко Н.П.	114
Галанова М.Н.	11
Домрина Г.В.	78
Доронин Ю.В.	26, 49
Ермолаева Н.В.	69
Железнякова А.В.	105
Игнаткин В.А.	11
Ишигов И.О.	73
Киселев Александр С.	89
Киселев Алексей С.	89
Колоколов Е.И.	31, 61
Кольченко О.Л.	78
Костенко М.А.	44
Кривин В.В.	73
Лебедев В.И.	65
Лебедев И.И.	65
Лобковская Н.И.	105
Литвинова Т.А.	54, 61
Матевосян Ю.М.	78
Медведев В.Н.	89
Мецлер А.А.	61
Могилевский Д.В.	54, 61
Новикова А.О.	44
Новикова В.С.	20
Пирожков Р.В.	54
Подрезов Н.Н.	26, 49
Потапов Е.А.	89
Руденко В.А.	100
Сидоров К.С.	85
Симакова Н.А.	17, 73
Соромотин А.Н.	69
Стрижов В.Ф.	89
Сысоев Ю.С.	17
Толстов В.А.	73
Тямалов А.А.	73
Ульянов А.Н.	89
Фоменко О.В.	44
Хандурина Е.С.	5
Хегай Л.С.	49
Чабанова Н.И.	114
Чернов А.В.	65
Шапошников В.В.	85

AUTHOR INDEX OF VOL. 3, 2014

Baran S.A.	20
Bekhetov V.G.	78
Belyaeva E.S.	20
Berela A.I.	11
Berezina E.A.	5
Bublikova I.A.	5
Chabanova N.I.	114
Chernov A.V.	65
Domrima G.V.	78
Doronin Y.V.	26, 49
Ermolaeva N.V.	69
Fomenko O.V.	44
Galanova M.N.	11
Hegaj L.S.	49
Ignatkin V.A.	11
Ishigov I.O.	73
Khandurina E.S.	5
Kiselev Aleksander S.	89
Kiselev Aleksey S.	89
Kolchenko O.L.	78
Kolokolov E.I.	31, 61
Kostenko M.A.	44
Krivin V.V.	73
Lebedev I.I.	65
Lebedev V.I.	65
Litvinova T.A.	54, 61
Lobkovskaya N.I.	105
Matevosjan Yu.M.	78
Medvedev V.N.	89
Metzler A.A.	61
Mogilevsky D.V.	54, 61
Novikova A.O.	44
Novikova V.S.	20
Pirozhkov R.V.	54
Podrezov N.N.	26, 49
Potapov E.A.	89
Roudenko V.A.	100
Shaposhnicov V.V.	85
Sidorov K.S.	85
Simakova N.A.	17, 73
Soromotin A.N.	65
Strizhov V.F.	89
Sysoev Yu.S.	17
Tolstov V.A.	73
Tyamalov A.A.	73
Vasilenko N.P.	114
Ul'yanov A.N.	89
Zheleznyakova A.V.	105

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

1) Полный текст статьи, предназначенной для опубликования, должен сопровождаться представлением от учреждения, в котором выполнена работа, и подписан авторами.

2) Комплект должен содержать экспертное заключение о возможности опубликования.

3) К статье прилагаются:

– сведения об авторах на русском и английском языках (фамилия, имя, отчество, место работы, должность, ученая степень, звание, домашний, служебный и электронный адреса, телефоны. Если авторов несколько, указать, с кем вести переписку);

– сведения об организации авторов на русском и английском языках, включая почтовый адрес с индексом. Если авторов несколько, указать данные об организации каждого автора);

– название статьи и инициалы авторов на русском и английском языке;

– аннотация на русском и английском языках;

– индекс УДК;

– ключевые слова на русском и английском языках.

4) Объем статьи должен быть не более 12 страниц машинописного текста, включая таблицы, список литературы (не больше 20 источников) и рисунки (не более 7).

5) Статья должна быть набрана в соответствии с правилами компьютерного набора. В одном файле помещается только одна статья (в случае подачи двух статей и более). Сведения из пункта 3 являются частью статьи и должны быть также представлены в электронном виде.

Статья должна быть оформлена в формате Microsoft Office 97-2003 Word 7.0, через 1,5 интервала, шрифтом Times New Roman размером 14 пт. Поля со всех сторон – 2,5 см. Использование любых других шрифтов возможно только в виде исключения, если они внесены в код файла. Не следует использовать знаки принудительного переноса и дополнительных пробелов. Векторные величины выделяются полужирным шрифтом.

Для записи формул применять только редактор формул Equation 3.0. Большие формулы необходимо разбить на несколько строк, причем каждая новая строка – новый объект. Запрещается масштабировать формулы. При наборе формул необходимо придерживаться следующих размеров: текст – 11 пт, крупный индекс – 8 пт, мелкий индекс – 6 пт, крупный символ – 12 пт, мелкий символ – 10 пт. Формулы не должны включать в состав знаки пунктуации и нумерацию.

Статья должна содержать лишь самые необходимые формулы, от промежуточных выкладок желательно отказаться. Нумеруются только те формулы, на которые имеются ссылки. Нумерация формул должна быть сквозная по всей статье. Таблицы должны иметь заголовки и нумерацию, в них допускаются только общепринятые сокращения.

Желательно, чтобы таблицы не превышали одной страницы текста. Количество таблиц не должно превышать количество страниц.

Рисунки и схемы должны быть черно-белыми, размером 800x600, с подписями. Графики должны быть оформлены в формате Microsoft Office 97-2003 Word 7.0 и только отдельным файлом (каждый график на новом листе, либо в новом файле).

Единицы измерения следует давать в соответствии с Международной системой (СИ).

6) Литература приводится в порядке упоминания в конце статьи. В тексте

должны быть ссылки в квадратных скобках только на опубликованные материалы. Ссылки на иностранные источники даются на языке оригинала и сопровождаются, в случае перевода на русский язык, с указанием на перевод.

Рекомендуется проверка статей через программу Антиплагиат на сайте <http://www.antiplagiat.ru>

Библиография должна быть оформлена согласно ГОСТу 7.1-2003 «Библиографическая запись и библиографическое описание. Общие требования и правила составления».

ВНИМАНИЕ! В случае расхождения бумажной и электронной версий Издательство руководствуется бумажной версией.

ПРИМЕРЫ ОФОРМЛЕНИЯ ЛИТЕРАТУРЫ:

Для книг: Энджел, Д. Поведение потребителей [Текст] / Д. Энджел. – М. : Физматлит, 1972. – 272 с.

Для журналов: Петров, Н.Н. Принципы построения образовательных программ и личностное развитие учащихся [Текст] / Н.Н. Петров // Вопросы психологии. – 1999. – №3. – С. 39.

Для диссертаций: Дзякович, Е.В. Стилистический аспект современной пунктуации : автореф. дис. канд. филол. наук [Текст] / Е.В. Дзякович – М., 1984. – 30 с.

Для депонированных работ: Кондраш, А.Н. Пропаганда книг [Текст] / А.Н. Кондраш. – М., 1984. – 21 с. – Деп. в НИЦ «Информпечать» 25.07.84. ФН 176.

Описание архивных материалов: Гуцин, Б.П. Журнальный ключ [Текст] // НРЛИ. Ф. 209. Оп. 1. Д. 460. Л. 9.

Материалы конференций: Шишков, Ю. Россия и мировой рынок: структурный аспект [Текст] / Ю. Шишков // Социальные приоритеты и механизмы преобразований в России : материалы междунар. конф. Москва, 12-13 мая 1998 г. – М. : Магма, 1993. – С. 19-25.

Для патентов: Пат. 2187888 Российская Федерация, МПК⁷ Н 04 В 1/38, Н 04 J 13/00. Приемопередающее устройство [Текст] / Чугаева В. И. ; заявитель и патентообладатель Воронеж. науч.-исслед. ин-т связи. – № 2000131736/09 ; заявл. 18.12.00 ; опубли. 20.08.02, Бюл. № 23 (II ч.). – 3 с. : ил.

Для авторских свидетельств: А. с. 1007970 СССР, МКИ³ В 25 J 15/00. Устройство для захвата неориентированных деталей типа валов / В. С. Ваулин, В. Г. Кемайкин (СССР). – № 3360585/25–08; заявл. 23.11.81; опубли. 30.03.83, Бюл. № 12. – 2 с.

Для электронных ресурсов: Дирина, А.И. Право военнослужащих РФ на свободу ассоциаций [Электронный ресурс] / А.И. Дирина // Военное право: сетевой журн. – 2010. – Режим доступа: URL: <http://voennoepravo.ru/node/2149> – 19.02.2011.

Комплект документов отправляется в редакцию журнала по адресу:
347360, Россия, Ростовская область, г. Волгодонск, ул. Ленина, 73/94. Редакция журнала «Глобальная ядерная безопасность».

E-mail: oni-viti@mephi.ru

Тел.: 8(8639)222717.

ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

№ 3(12) 2014

Главный редактор – **М.Н. Стриханов, доктор физико-математических наук,
профессор**

Сдано в набор 08.09.2014 г.

Компьютерная вёрстка Вишнёва М.М.

Корректор Вишнёва М.М. ИПО ВИТИ НИЯУ МИФИ

Подписано к печати 15.09.2014 г.

Бумага «SvetoCору» 80 г/м². Объем 13,64 усл.печ.л.

Гарнитура «TimesNewRoman»,

Тираж 300 экз.

Отпечатано в типографии ВИТИ(ф) НИЯУ МИФИ