

ISSN 2305-414X

2017, 1

**GLOBAL
NUCLEAR
SAFETY**



**ГЛОБАЛЬНАЯ
ЯДЕРНАЯ
БЕЗОПАСНОСТЬ**

<http://gns.mephi.ru>

NATIONAL RESEARCH NUCLEAR UNIVERSITY MEPhI

GLOBAL NUCLEAR SAFETY

2017, 1(22)

Founded in November, 2011

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

Quarterly

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

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

Editor-in-Chief:

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

Editorial Staff:

- M.N. Strikhanov* (Editor-in-Chief, Doctor of Physics and Mathematics, Professor (*Russia*)),
V.A. Rudenko (Deputy Editor-in-Chief, Doctor of Sociology, Professor (*Russia*)),
Denis Flory (Deputy CEO of IAEA (*Austria*)),
Liu Daming (Professor of the Chinese Nuclear Power Institute (CIAE (*China*)),
Nancy Fragoyannis (Senior Counsellor of the USA Nuclear Regulation Commission (*USA*)),
Buhach Andrzej (Doctor of Technical sciences, Professor (*Poland*)),
M.K. Skakov (Doctor of Physics and Mathematics, Professor (*Kazakhstan*)),
A.D. Malyarenko (Doctor of Technical sciences, Professor (*Belarus*)),
S.E. Gook (PhD (Technical Science) (*Germany*)),
P.D. Kravchenko (Doctor of Technical sciences, Professor (*Russia*)),
A.P. Elokhin (Doctor of Technical sciences, Professor (*Russia*)),
Y.I. Pimshin (Doctor of Technical sciences, Professor (*Russia*)),
Y.P. Mukha (Doctor of Technical sciences, Professor (*Russia*)),
V.V. Krivin (Doctor of Technical sciences, Professor (*Russia*)),
V.I. Ratushny (Doctor of Physics and Mathematics, Professor (*Russia*)),
Y.S. Sysoev (Doctor of Technical sciences, Professor (*Russia*)),
A.V. Palamarchuk (PhD (Technical sciences), *Russia*),
V.E. Shukshunov (Doctor of Technical sciences, Professor (*Russia*)),
V.P. Povarov (PhD (Physics and Mathematics), *Russia*),
S.M. Burdakov (PhD (Technical sciences), associate professor (*Russia*)),
I.A. Bublikova (PhD (Technical sciences), associate professor (*Russia*)),
A.V. Zhuk (PhD (History), associate professor (*Russia*))

Founder:

National Research Nuclear University MEPhI

Editorial address: Kashirskoe shosse 31, Moscow, 115409, Russia
Lenin Street, 73/94, Rostov region, Volgodonsk, 347360, Russia
telephone: (8639)222717, e-mail: oni-viti@mephi.ru
Press address: Lenin Street, 73/94, Rostov region, Volgodonsk, 347360, Russia.

Moscow

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

2017, 1(22)

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

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

Главный редактор:

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

Редакционная коллегия:

М.Н. Стриханов (главный редактор, д-р физ.-мат. наук, проф. (Россия)),
В.А. Руденко (заместитель главного редактора, д-р соц. наук, проф. (Россия)),
Денис Флори (заместитель генерального директора МАГАТЭ (Австрия)),
Лю Дамин (проф. Китайского института ядерной энергетики (Китай)),
Нэнси Фрагояннис (старший советник Комиссии по ядерному регулированию США (США)),
Бухач Андржей (д-р техн. наук, проф. (Польша)),
М.К. Скаков (д-р физ.-мат. наук, проф. (Казахстан)),
А.Д. Маляренко (д-р техн. наук, проф. (Беларусь)),
С.Э. Гоок (к-т техн. наук (Германия)),
П.Д. Кравченко (д-р техн. наук, проф. (Россия)),
А.П. Елохин (д-р техн. наук, проф. (Россия)),
А.В. Чернов (д-р техн. наук, проф. (Россия)),
Ю.И. Пимшин (д-р техн. наук, проф. (Россия)),
Ю.П. Муха (д-р техн. наук, проф. (Россия)),
В.В. Кривин (д-р техн. наук, проф. (Россия)),
В.И. Ратушный (д-р физ.-мат. наук, проф. (Россия)),
Ю.С. Сысоев (д-р техн. наук, проф. (Россия)),
А.В. Паламарчук (к-т техн. наук (Россия)),
В.Е. Шукинунов (д-р техн. наук, проф. (Россия)),
В.П. Поваров (к-т физ.-мат. наук (Россия)),
С.М. Бурдаков (к-т техн. наук, доц. (Россия)),
И.А. Бубликова (к-т техн. наук, доц. (Россия)),
А.В. Жук (к-т ист. наук, доц. (Россия))

Учредитель:

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

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

Москва

CONTENTS

2017, 1(22)

THE PROBLEMS OF NUCLEAR, RADIATION AND ECOLOGICAL SAFETY

Technique of Leak Detection from the Water Bearing Communications as the Component of Geotechnical Monitoring of the Bushehr-1 NPP Platform in the Islamic Republic of Iran <i>V.Yu. Ulyanov</i>	7
Safety of Perspective Spacecrafts with the Nuclear Power Installation <i>O.A. Gubeladze, A.R. Gubeladze, S.M. Burdakov</i>	13

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

Hybrid Laser Arc Welding of High Grade X80 and X120 Pipeline Steels <i>S. Gook, A. Gumenyuk, M. Rethmeier</i>	21
Precision Radiation-Hardened BiJFet OP AMP for Low-temperature Analog Interfaces Sensors <i>O.V. Dvornikov, N.N. Prokopenko, I.V. Pakhomov, A.A. Ignashin, A.V. Bugakova</i>	36
Ensuring the Stability of Arc Welding Processes Using Inverter Power Source <i>A.V. Sas, V.N. Sorokin, A.V. Chernov</i>	46
Development of Methodical Recommendations of Transition Process Assessment When Processing Large-Size Products Mechanically <i>V.T. Saunkin, I.R. Grigoriev, O.E. Draka</i>	54

NUCLEAR FACILITIES EXPLOITATION

Design Features of Nuclear Power Plant Unit Equipment Dismantle Taking into Account Decommission Regulation Standard <i>S.A. Tomilin, A.I. Berela, N.N. Podrezov, A.G. Fedotov</i>	59
Operating Condition Research of Air Heat Exchanger of Emergency Cooling <i>A.M. Besedin, A.Yu. Smolin, A.S. Shamarov, S.B. Kravets, A.S. Mirzaliev</i>	68

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

Training of Qualified Personnel for the Foreign NPPs as Providing Safety Factor in Nuclear Energy Using <i>V.A. Rudenko, S.A. Tomilin, V.G. Beketov</i>	78
Measuring Modern Peculiarities of Professional Standard Development for the Nuclear Industry <i>E.B. Vesna, I.Yu. Konyukhov, V.A. Rudenko, N.P. Vasilenko</i>	85
Direct and Indirect Methods of the NPP Management Operator Reaction Time Measuring <i>M.V. Alyushin, A.M. Alyushin, M.E. Atkina</i>	93
Key Performance Indicators as Economic Security Tool of the Rosatom State Corporation Enterprises <i>I.A. Ukhulina, N.A. Efimenko, S.P. Agapova</i>	102
Russian and Foreign Historiography of Safety Culture Problems in Nuclear Power Engineering <i>A.V. Zhuk, M.V. Golovko, Y.A. Evdoshkina</i>	113

Author Index of vol. 1, 2017.....	122
-----------------------------------	-----

СОДЕРЖАНИЕ

Номер 1, 2017

ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

- Методика обнаружения утечек из водонесущих коммуникаций как составная часть геотехнического мониторинга площадки АЭС «БУШЕР-1» в Исламской республике Иран
В.Ю. Ульянов..... 7
- Безопасность перспективных космических аппаратов с ядерной энергетической установкой
О.А. Губеладзе, А.Р. Губеладзе, С.М. Бурдаков..... 13

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

- Гибридная лазерно-дуговая сварка высокопрочных трубных сталей классов прочности API X80 и X120
С.Э. Гоок, А.В. Гуменюк, М. Ретмайер..... 21
- Прецизионный радиационно-стойкий BiJFet операционный усилитель для низкотемпературных аналоговых интерфейсов датчиков
О.В. Дворников, Н.Н. Прокопенко, И.В. Пахомов, А.А. Игнашин, А.В. Бугакова..... 36
- Обеспечение стабильности процесса дуговой сварки при использовании инверторных источников питания
А.В. Сас, В.Н. Сорокин, А.В. Чернов..... 46
- Разработка методических рекомендаций оценки переходного процесса при механообработке крупногабаритных изделий
В.Т. Саункин, И.Р. Григорьев, О.Е. Драка..... 54

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

- Особенности проектирования демонтажа оборудования блоков атомных станций с учетом нормативного регулирования их вывода из эксплуатации
С.А. Томилин, А.И. Берела, Н.Н. Подрезов, А.Г. Федотов..... 59
- Исследование условий работы воздушного теплообменника аварийного расхолаживания
А.М. Беседин, А.Ю. Смолин, А.С. Шамароков, С.Б. Кравец, А.С. Мирзалиев..... 68

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

Подготовка квалифицированных кадров для зарубежных АЭС как фактор обеспечения безопасности в области использования атомной энергии <i>В.А. Руденко, С.А. Томилин, В.Г. Бекетов</i>	78
Особенности современного этапа разработки профессиональных стандартов для атомной отрасли <i>Е.Б. Весна, И.Ю. Конюхов, В.А. Руденко, Н.П. Василенко</i>	85
Прямые и косвенные методы измерения времени реакции оператора управления АЭС <i>М.В. Алюшин, А.М. Алюшин, М.Э. Аткина</i>	93
Ключевые показатели эффективности как инструмент экономической безопасности предприятий ГК «Росатом» <i>И.А. Ухалина, Н.А. Ефименко, С.П. Агапова</i>	102
Отечественная и зарубежная историография проблем культуры безопасности в атомной энергетике <i>А.В. Жук, М.В. Головкин, Ю.А. Евдошкина</i>	113
<hr/>	
Авторский указатель номера 1, 2017.....	122

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК 504.064.36

**МЕТОДИКА ОБНАРУЖЕНИЯ УТЕЧЕК ИЗ ВОДОНЕСУЩИХ
КОММУНИКАЦИЙ КАК СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО
МОНИТОРИНГА ПЛОЩАДКИ АЭС
«БУШЕР-1» В ИСЛАМСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ ИРАН**

© 2017 В.Ю. Ульянов

*Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры (ПГАСУА),
Днепропетровск, Украина*

В работе дано обоснование применения на площадке действующей АЭС «Бушер-1», расположенной в Исламской Республике Иран, принципиально новой методики поиска утечек из водонесущих коммуникаций в грунте с целью повышения безопасности при эксплуатации объектов и оборудования АЭС. Положение о данной методике в системе геотехнического мониторинга на АЭС «Бушер» должно быть разработано и закреплено в нормативных документах и должностных инструкциях. Данная методика может быть использована в системе геотехнического мониторинга площадок АЭС, расположенных в аридной климатической зоне, в т.ч. и с повышенной сейсмичностью.

Ключевые слова: Исламская Республика Иран, АЭС «Бушер-1», методика обнаружения утечек, акустический течеискатель, портативный кондуктометр, тепловизор.

Поступила в редакцию: 20.03.2017

ВВЕДЕНИЕ

Предлагаемая методика направлена на обеспечение нормативных требований по безопасной и надежной эксплуатации трубопроводных сетей и прочих заглубленных в грунт водонесущих коммуникаций площадки АЭС «Бушер-1».

Эта задача особенно актуальна для АЭС «Бушер-1», расположенной в южной весьма засушливой природно-климатической зоне с повышенной сейсмичностью. Площадка АЭС характеризуется обилием проложенных, начиная ещё с 1974-75гг., трубопроводных коммуникаций различного назначения, к тому же изготовленных из разных материалов и содержащих технологические воды, значительно отличающиеся по химическому составу и температуре как друг от друга, так и от грунтовых вод. Последние, как правило, в значительной степени минерализованы и обладают повышенной температурой вследствие влияния, как природных, так и техногенных факторов.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Суть предлагаемой методики заключается в комплексном проведении визуальных и специальных инструментальных обследований поверхности площадки как вдоль трасс трубопроводных водонесущих коммуникаций систем UJ, UL, UK, UG, так и в местах расположения иных заглубленных сооружений АЭС «Бушер-1» (трубопроводы большого диаметра ZM, сбросные сооружения ZN, технологические каналы ZW с трубопроводами различного назначения), могущих стать источниками техногенных

утечек. Поверхностные визуальные и инструментальные обследования дополняются экспресс-определениями параметров химического состава и температуры подземных вод в смежных режимных скважинах, причём опробованию подвергается только самая верхняя часть водоносного горизонта, в наибольшей степени подверженная техногенному воздействию утечек из водонесущих коммуникаций.

Визуальные и инструментальные обследования производятся, прежде всего, при обнаружении в режимных скважинах значительных локальных повышений уровней и температуры, не связанных с климатическими или технологическими факторами (промывкой или проливкой оборудования на открытых площадках, гидравлическими испытаниями трубопроводных сетей и пр.).

Согласно требованиям нормативных документов при визуальных обследованиях поверхности площадки АЭС необходимо обращать особое внимание на следующие нарушения правил эксплуатации зданий и сооружений, дефекты и повреждения:

- выбросы отработанных технологических вод, пара, масла, дизельного топлива, разлив щелочей и кислот непосредственно у стен зданий и сооружений, а также вдоль трасс различных коммуникаций;

- повреждения дорожных покрытий (просадки, трещины, размывы, деформации дорожных покрытий и др.);

- повреждения земляного полотна обочин, откосов (повреждения дернового покрова откосов, оползни, промоины и др.);

- неисправности наружных сетей бытового водоснабжения;

- неисправность имеющихся систем полива зелёных насаждений, в частности, садовых участков, кустарников и газонов;

- неисправности ливневой канализации в пределах площадки АЭС;

- разрушения конструктивных элементов инженерных дорожных сооружений (подпорных стенок, подземных переходов, боковых нагорных и водоотводящих канав и др.) в пределах территории АЭС;

- неисправности дренажных систем насыпей и выемок;

- дефекты вертикальной планировки территории - обратные уклоны поверхности к зданиям и сооружениям; пониженные места с отсутствием организованного водоотвода атмосферных вод; места выхода подземных вод различного происхождения на поверхность; участки территории без вертикальной планировки, траншеи и котлованы без обратной засыпки и др.;

- повреждения вертикальной планировки: размывы технологическими или атмосферными водами неисправных подземных коммуникаций, не восстановленные нарушения планировки в результате ремонтных работ; разрушения средствами транспорта и др.;

- вспучивания или проседания грунта на поверхности вдоль трасс трубопроводов и подземных кабельных сооружений [1–4].

Наряду с визуальным обследованием, основанием для немедленного начала проведения инструментальных обследований на площадке АЭС «Бушер-1» являются: резкое изменение химического состава и температуры подземных вод в ближайших к трассам трубопроводных коммуникаций режимных скважинах, факт поступления подземных вод в заглубленные сооружения (подвалы зданий, кабельные и технологические каналы), не связанные с перечисленными выше технологическими причинами или с аномальным выпадением атмосферных осадков.

При обнаружении службой эксплуатации на площадке АЭС «Бушер-1» вышеперечисленных явлений, выполняются следующие виды инструментальных работ:

- обследование выбранных участков площадки, особенно вдоль трасс напорных

трубопроводов различного назначения, при помощи малогабаритного акустического течеискателя, например, типа "ТЕАКОН" (Россия), Aquascope компании «GUTERMANN Messtechnik» (Швейцария) и др.;

– экспресс-определения параметров химического состава и температуры в пробах подземных вод из ближайших режимных скважин (а при необходимости - из шурфов и приямков в технологических и кабельных каналах, в обводнённых швах между секциями каналов и пр.) при помощи универсального пробоотборника и портативного кондуктометра, например, типа АКП-02 (Россия), FG7 компании «Mettler Toledo» (Швейцария), HI 9835 компании «HANNA Instruments» (ФРГ), РНТ-028 (КНР) и др.

Использование переносных акустических течеискателей для обнаружения мест утечек из напорных трубопроводов зачастую является единственно возможным в сложных условиях площадки АЭС «Бушер-1», характеризующихся плотной компоновкой зданий и сооружений, обилием подземных коммуникаций различного назначения, к тому же изготовленных в разные периоды и из различных материалов (например, фрагментов напорных трубопроводов систем водоснабжения и, особенно, систем пожаротушения УJ, сооруженных ещё в 1974–1975 гг. немецкой фирмой KWU и составленных из секций стальных, чугунных и пластиковых труб и пр.). Течеискатели типа "ТЕАКОН" и ему подобные позволяют контактно или, что особенно ценно, бесконтактно определить наличие и местоположение утечки на определённом участке трубопровода с достаточно высокой точностью, что неоднократно было проверено практикой [5].

Однако, применение для целей поиска утечек из напорных трубопроводов и иных ёмкостей какого-то только одного вида инструментальных работ в условиях данной площадки часто является недостаточным. Точному установлению мест утечек может препятствовать недоступность значительных по протяжённости участков трубопроводов вследствие особенности компоновки основных зданий и сооружений АЭС «Бушер-1», наличие многочисленных многослойных забетонированных и заасфальтированных площадок, густой сети автодорог, многочисленных паразитических шумов от работающего оборудования в подвалах зданий и сооружений, движущегося транспорта и обслуживающего персонала, малое число смотровых или технологических колодцев и пр. Поэтому следует производить работы, применительно к конкретным условиям, только подготовленным персоналом и, по возможности, в строго определённое время (желательно, в утренние, вечерние или ночные часы, праздничные и выходные дни).

Также, для исключения воздействия вышеперечисленных факторов, особенно в сложных природно-климатических условиях площадки, при необходимости производится параллельное дополнительное обследование участков над трубопроводными коммуникациями в грунте переносными портативными тепловизорами. Для работы на площадке АЭС могут быть использованы достаточно широко распространённые тепловизоры серии E8 фирмы «SAT Infrared». Применение приборов данного типа тоже имеет свои особенности. Работы на открытом грунте для получения достоверной и точной информации лучше производить в тёмное время суток или в пасмурную погоду при отсутствии прямого солнечного света и сильного ветра.

Для экспресс-отбора из режимных скважин проб минерализованных подземных вод, зачастую с повышенной температурой, особенно характерных для площадки АЭС «Бушер-1», специалистами ЗАО "Институт "Оргэнергострой" (Москва) был сконструирован специальный малогабаритный секционный пробоотборник из полипропилена диаметром 75 мм с объёмом 1,5 л, позволяющий отбирать пробы из скважин диаметром до 110 мм.

Результаты визуальных осмотров и инструментальных обследований выбранных участков площадки АЭС фиксируются в Актах установленной формы. Для визуальных обследований рекомендуется дополнительно оформлять альбомы фотографий выявленных дефектов и повреждений. Результаты инструментальных наблюдений рекомендуется оформлять в виде карт или схем акустических аномалий и гидрогеохимических карт, совмещённых со схемами трасс водонесущих коммуникаций и пр. При необходимости также составляются термограммы участков трасс и карты тепловых полей в виде альбомов с указанием термоконтрастных аномалий и их координат [6].

Все указанные работы должны находить отражение в паспортах сооружений. Для использования предлагаемой методики эксплуатирующим персоналом АЭС должна быть составлена специальная местная инструкция, где оговариваются маршруты проведения обследований, периодичность, сроки, состав исполнителей, оснащение и пр.

Данная методика полностью или частично неоднократно успешно опробовалась в условиях площадки АЭС «Бушер-1» при поиске и устранении многочисленных утечек из заглубленных водонесущих коммуникаций различного назначения. В результате её применения специалистами УС БАС ЗАО «Институт Оргэнергострой» удалось практически полностью ликвидировать всевозможные, даже малообъёмные техногенные утечки из подземных трубопроводных коммуникаций различного назначения, серьёзно осложнявших проведение строительных работ на площадке АЭС в предпусковой период. Однако после передачи блока Заказчику вкупе с функциями проведения мониторинга, данная методика эксплуатирующим АЭС службам оказалась не известна.

Следует особо отметить, что предлагаемая методика не рассчитана на применение в случаях обнаружения утечек из спецтрубопроводов в грунте с условно- или слабо радиоактивными технологическими водами. Однако она может стать составной частью разрабатываемой для АЭС «Бушер» системы комплексного геотехнического мониторинга нового типа, включающего помимо традиционного мониторинга подземных вод также мониторинги радона и трития [7]. Последний специально предназначен для указанных выше целей [8]. Также она, несомненно, будет актуальна и для последующих блоков АЭС на этой площадке, строительство которых уже начато. Тем более, что на новых боках планируется осуществить общеплощадочный дренаж как грунтовых, так и техногенных водоносных горизонтов. Достоинством данной методики также является её способность постоянно совершенствоваться, причём, как организационно, так и технически, на основе последних научных достижений в этой области.

Описанная в настоящей статье методика поиска утечек является универсальной, особенно для площадок АЭС, расположенных в южных (аридных) природно-климатических зонах с повышенной сейсмичностью (Иран, Египет, Иордания, Турция и пр.). Данная методика в полной мере учитывает сложные инженерно-геологические и гидрогеологические условия указанных регионов, конструктивные схемы предполагаемых к постройке в этих регионах новых АЭС российского дизайна и геотехнологические особенности их будущей эксплуатации.

ВЫВОДЫ

Предлагаемая методика направлена на обеспечение нормативных требований по безопасной и надёжной эксплуатации трубопроводных сетей и прочих заглубленных в грунт водонесущих коммуникаций площадки АЭС «Бушер-1», непосредственно

влияющих на её безопасную эксплуатацию в сложных геотехнических и природно-климатических условиях. Также она будет актуальна и для последующих блоков АЭС на этой площадке, строительство которых уже начато.

Предлагаемая методика может стать составной частью предлагаемого для АЭС «Бушер-1» и её последующих блоков комплексного геотехнического мониторинга нового типа, включающего также мониторинги радона и трития.

Разработанная методика поиска утечек является универсальной и вполне может быть использована и для других площадок АЭС, расположенных в аридной природно-климатической зоне с повышенной сейсмичностью, в частности, Египте, Иордании, Турции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Типовая инструкция по эксплуатации производственных зданий и сооружений энергопредприятий: РД 153-34.0-21.601-98 [Текст]. – М.: СПО ОРГРЭС, 2000.
2. Положение по обследованию состояния оборудования, зданий и сооружений электростанций: РД 34.20.579 [Текст]. – М.: СПО Союзтехэнерго, 1988.
3. Методические указания по контролю за режимом подземных вод на строящихся и эксплуатируемых тепловых электростанциях: СО 34.21.325-98 / РАО "ЕЭС России" [Текст]. – М.: СПО ОРГРЭС, 1999.
4. Требования к содержанию отчёта по обоснованию безопасности АС с ректорами типа ВВЭР: НП-006-98 (ПНАЭ Г-01-036-95) [Текст] – М., 1998.
5. Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок: ПНАЭ Г-7-008-89 [Текст]. – М., 2003.
6. Методические рекомендации по техническому диагностированию трубопроводов тепловых сетей с использованием акустического метода: РД 153-34.0-20.673-2005 [Текст]. – М.: Издательство «Новости теплоснабжения», 2006.
7. Типовая инструкция по периодическому освидетельствованию трубопроводов тепловых сетей в процессе эксплуатации: РД 153-34.0-20.522-99 / РАО "ЕЭС России" [Текст]. – М.: СПО ОРГРЭС, 2000.
8. Ульянов, В.Ю. Организация и методика проведения мониторинга радона на площадках АЭС в сейсмичных регионах [Текст] / В.Ю. Ульянов // Проблемы недропользования. – 2015. – №1. – С. 103–107.
9. Ульянов, В.Ю. и др. Мониторинг трития как возможного индикатора утечек из спецтрубопроводов и других водонесущих коммуникаций на площадке АЭС «БУШЕР-1» [Текст] / В.Ю. Ульянов, А.П. Елохин // Глобальная ядерная безопасность. – 2016. – №4(21). – С. 7–15.

REFERENCES

- [1] Tipovaya instruktziia po ekspluatatsii proizvodstvennykh zdaniy i sooruzhenii energopredpriatii: RD 153-34.0-21.601-98 [Typical instruction on operation of industrial buildings and facilities of power enterprises: RD 153-34.0-21.601-98]. M. Pub. SPO ORGRES, 2000. (in Russian)
- [2] Polozhenie po obsledovaniiu sostoiianiia oborudovaniia, zdaniy i sooruzhenii elektrostantsii: RD 34.20.579 [Regulations for the survey of the condition of equipment, buildings and structures of power plants: RD 34.20.579]. M. Pub. SPO Soyuztekhenenergo [перевод], 1988. (in Russian)
- [3] Metodicheskie ukazaniia po kontroliu za rezhimom podzemnykh vod na stroiashchikhsia i ekspluatiuemykh teplovykh elektrostantsiiakh: SO 34.21.325-98 / RAO "EES Rossii" [Methodological instructions for monitoring the regime of groundwater in the thermal power plants being built and operated: CO 34.21.325-98 / RAO UES of Russia]. M. Pub. SPO ORGRES, 1999. (in Russian)
- [4] Trebovaniia k soderzhaniiu otcheta po obosnovaniiu bezopasnosti AS s rektorami tipa VVER: NP-006-98 (PNAE G-01-036-95) [Requirements for the content of the report on the safety substantiation of the NPP with PWER type reactors: NP-006-98 (PNAE G-01-036-95)]. M. 1998. (in Russian)
- [5] Pravila ustroistva i bezopasnoi ekspluatatsii oborudovaniia i truboprovodov atomnykh energeticheskikh ustanovok: PNAE G-7-008-89 [Rules for the arrangement and safe operation of equipment and pipelines of nuclear power plants: PNAE G-7-008-89]. M. 2003. (in Russian)

- [6] Metodicheskie rekomendatsii po tekhnicheskomu diagnostirovaniu truboprovodov teplovykh setei s ispolzovaniem akusticheskogo metoda: RD 153-34.0-20.673-2005 [Methodical recommendations for technical diagnostics of pipelines of heating networks using the acoustic method: RD 153-34.0-20.673-2005 / Publishing house "News of heat supply"]. M., 2006. (in Russian)
- [7] Tipovaia instruktssiia po periodicheskomu osvidetelstvovaniu truboprovodov teplovykh setei v protsesse ekspluatatsii: RD 153-34.0-20.522-99 / RAO "EES Rossii" [Typical instructions for the periodic survey of pipelines of heating networks during operation: RD 153-34.0-20.522-99 / RAO UES of Russia]. M. Pub. SPO ORGRES, 2000. (in Russian)
- [8] Ulyanov V.Yu. Organizatsiya i metodika provedeniia monitoringa radona na ploshchadkakh AES v aseismichnykh regionakh [Organization and methodology of radon monitoring at NPP sites with aseismic regions]. Problemy nedropolzovaniya [Problems of subsoil use], 2015, №1, ISSN 2313-1586, pp. 103–107. (in Russian)
- [9] Ulyanov V.Yu., Elokhin A.P. Monitoring tritiia kak vozmozhnogo indikatora utechek iz spetstruboprovodov i drugikh vodonesushchikh kommunikatsii na ploshchadke AES «BUSHER-1» [Monitoring of tritium as a possible indicator of leaks from special pipelines and other water-bearing communications at the Bushehr-1 NPP]. Globalnaya yadernaya bezopasnost [Global nuclear safety], 2016, №4(21), ISSN 2305-414X, eISSN 2499-9733, pp. 7–15. (in Russian)

Technique of Leak Detection from the Water Bearing Communications as the Component of Geotechnical Monitoring of the Bushehr-1 NPP Platform in the Islamic Republic Of Iran

V.Yu. Ulyanov

*Dnieper State Academy of Construction and Architecture,
Chernyshevsky St., 24a, Dnepropetrovsk, Ukraine, 49600
e-mail: vuluanov@mail.ru
ORCID ID: 0000-0002-9028-3408*

Abstract – The project shows the use of a fundamentally new technique for locating leaks from water-bearing communications in the ground in order to improve safety in the operation of NPP facilities and equipment at the Bushehr-1 NPP in the Islamic Republic of Iran. Regulations on this technique in the system of geotechnical monitoring at Bushehr NPP should be developed and consolidated in normative documents and job descriptions. This technique can be used in the system of geotechnical monitoring of the NPP sites located in the arid climatic zone, including increased seismicity zones.

Keywords: Islamic Republic of Iran, Bushehr-1 NPP, leak detection technique, acoustic leak detector, portable conductometer, thermal imager.

ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 629.78:621.039:536.2:533.6

БЕЗОПАСНОСТЬ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОСМИЧЕСКИХ
АППАРАТОВ С ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ

© 2017 О.А. Губеладзе*, А.Р. Губеладзе**, С.М. Бурдаков*

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

** *Донской государственный технический университет (ДГТУ), Ростов-на-Дону, Ростовская обл., Россия*

Исследование проводилось в целях обеспечения ядерной и радиационной безопасности при эксплуатации перспективных космических средств с ядерными энергетическими установками на борту. Методика оценки теплового воздействия отрывных течений, предложенная в статье, может быть использована при вероятностном анализе безопасности таких аппаратов.

Ключевые слова: ядерная энергетическая установка, космический аппарат, плотные слои атмосферы, теплозащитное покрытие, отрывные течения, каверна.

Поступила в редакцию: 10.02.2017

Важнейшим направлением развития космических технологий является создание перспективных ядерных энергетических установок (ЯЭУ). Повышение эффективности космических исследований возможно за счет внедрения в космическую технику ядерной энергетики [1]. Работы по созданию ядерных двигателей для космических аппаратов (КА) активно велись в СССР (до 1988 года) и США (до 1994 года). Прекращению работ во многом способствовало то, что испытания ядерных установок в космосе не всегда проходили штатно. Например, в 1978 году советский спутник «Космос-954» с ЯЭУ в результате аварии сошел с орбиты. При прохождении плотных слоев атмосферы произошло разрушение КА. Радиоактивные осколки были рассеяны на площади в 100 тыс. кв. км в северо-западных районах Канады [2]. После ряда неудачных запусков данное направление в космонавтике было приостановлено, поскольку это создавало угрозу возникновения аварийных ситуаций (АС), сопряженных с радиоактивным заражением. Сейчас на повестке дня стоит проект создания транспортно-энергетического модуля на основе ядерной двигательной установки. Необходимым условием применения космических средств с ЯЭУ на борту является обеспечение ядерной и радиационной безопасности при их эксплуатации в соответствии с основополагающими принципами.

Анализ возможных АС с перспективными КА позволил сделать вывод о необходимости обеспечения аварийного спасения ЯЭУ в случае разрушения силовой оболочки (обеспечение теплозащитой). Живучесть не является, по сути, собственной характеристикой КА, так как она зависит не только от его характеристик, но и от деструктивных воздействий. Полный показатель живучести для той или иной АС, в случае последовательного воздействия деструктивных факторов (ДФ), может быть представлен в виде

$$P_{жс} = P_{жс}^{(1)} P_{жс}^{(2)} \dots P_{жс}^{(n)}, \quad (1)$$

где $P_{ж}^{(i)}$ – частный показатель живучести при воздействии i -го ДФ.

В реальной АС следует ожидать воздействие нескольких ДФ, например, поражение КА с ЯЭУ метеорным потоком, фрагментом старого КА или другим кинетическим элементом [3]. Это может привести к неконтрольному снижению (падению). При этом теплозащита корпуса с ЯЭУ будет иметь повреждения.

При сверхзвуковых скоростях потока дефекты (повреждения) обтекаемых поверхностей создают сложную картину отрывного и безотрывного течения с образованием скачков уплотнения и волн разряжения. Наиболее приемлемым является совместное использование математических моделей течения и основанных на них методик расчета аэродинамических характеристик и физического моделирования течений вблизи поврежденных поверхностей для различных вариантов форм и места нахождения дефектов (сколов, трещин, каверн). Причем экспериментальные исследования следует проводить на малоразмерных моделях, удовлетворяющих следующим требованиям: обеспечить возможность нагрева газа в определенном диапазоне температур, давлений, скоростей истечения (T, p, W); температура набегающего потока должна быть выше температуры фазовых превращений ($T_{\infty} > T_{\phi}$); время стабильной работы установки должно изменяться в определенном интервале ($5 < \tau < 60$ с.); однородность набегающего потока (T, p, W) должна соблюдаться хотя бы в области модели.

Анализ исследований, приведенных в работе [4] позволяет установить параметры, которые важно воспроизвести в ходе эксперимента: энтальпия заторможенного потока газа; химический состав набегающего потока; режим течения (ламинарный, турбулентный); градиент давления ($\frac{dp^*}{dx}$); напряжение трения (τ_w); отношение тепловых потоков q_n/q_k . Обычно не удается смоделировать сразу все перечисленные особенности воздействий, поэтому необходимо воспроизвести наиболее важные параметры среды (частичное моделирование одного или нескольких параметров). В задаче об изучении разгара в области дефекта (каверны) существенным становится отношение толщины вытеснения δ^* к характерному размеру повреждения l и l/h (где h – глубина каверны) [5].

Определяющим при разрушении теплозащитного покрытия (ТЗП) является величина конвективного теплового потока q_k (для стеклопластиков необходимо добиваться $q_{k \min} = 150$ Вт/см²). При использовании кислорода в качестве окислителя энтальпия торможения $i_e \sim 4,5 \div 5 \cdot 10^6$ Дж/кг, что обеспечивает $q_k \sim 400$ Вт/см². Сравнить результаты наземных испытаний с траекторными можно по величине плотности поглощенного оболочкой количества тепла

$$\int_{\tau_0}^{\tau_{mp}} q_k^{mp} d\tau = \int_0^{\tau_{cm}} q_k^{cm} d\tau, \quad (2)$$

где τ_0 – время входа в плотные слои атмосферы;

τ_{cm} – время испытания на стенде;

$\tau_{тр}$ – полетное время;

q_k^{mp} и q_k^{cm} – поглощенные тепловые потоки на траектории и на стенде.

Для участка траектории $40 \div 5$ км при $q_k \sim 400$ Вт/см², применительно к повреждениям в виде уноса ТЗП, величина ошибки составит ~ 2 мм для ТЗП из

стеклопластика. Габариты модели должны исключить неоднородность прогрева материала, а также зависимость результатов от соотношения между структурой ТЗП (параметрами каверны) и размерами модели.

Таким образом, наиболее подходящей установкой для воспроизведения величины энтальпии торможения до 5000 кДж/кг и скорости набегающего потока до 3000 м/с является стендовый ракетный двигатель. Более того, довольно легко обеспечивается турбулентный режим обтекания модели. Однако, существенным недостатком является несоответствие химического состава среды. Также значительные трудности возникают при определении величины теплового потока. Для получения сверхзвукового обтекания модели с помощью профилированного сопла (рис. 1) необходимое давление в ресивере должно превышать атмосферное более чем ≈ 22 раза.

Высокотемпературное воздействие создается струей (скоростное давление около 2,4 кПа) продуктов сгорания (керосин – газообразный кислород при $\alpha_{из} = 1,2$). На рис. 2 представлена схема модели и ее расположение во время эксперимента. При таком расположении, несмотря на неравномерность обтекания, достигается равновесная температура $2500 \div 2630$ К. Носок препятствует затеканию газа на тыльную сторону, что облегчает вывод термопарных проводов и изолирует обратную сторону. Так как термопары располагались в ТЗП на расстоянии не ближе 10 мм от нагреваемой поверхности, то использовались хромель-алюмелевые термопары (до 1600 – 1700 К). Погрешность измерений при температуре 1600К не превышала 0,7%. Определенные погрешности в измерениях температуры связаны с различием теплофизических свойств ТЗП и термопар, а также большими градиентами температуры по глубине. С целью уменьшения этой погрешности (для хромель-алюмелевых термопар) отношение длины l части термопары, расположенной в изотермическом слое, к диаметру электрода d принимаем $l/d \geq 30$. Однако, так поместить термопару в образец довольно затруднительно, поэтому была предложена иная схема для размещения “верхних” термопар. По периметру образца устанавливается защитная маска из того же материала, что и образец. На рис.3 представлен образец ТЗП.

Для композиционных материалов, обладающих сложной структурой, понятие формы дефекта (каверны, скола, кратера) весьма условно. Здесь следует обратить внимание на пропорцию между глубиной дефекта и характерным его поперечным размером. Примером могут быть: цилиндр с глубиной $d/2$; шестигранная призма с глубиной $D/2$ и $d/2$ (D и d – диаметры описанной и вписанной окружностей соответственно и другие варианты. Определенное влияние оказывает величина отношения глубины дефекта h к толщине прогретого слоя ТЗП $\delta_{пр}$. Анализ результатов исследований [6] показал, что форма кратера оказывает слабое влияние, а принципиальное значение имеет лишь соотношение между глубиной и диаметром кратера (вписанной в фигуру дефекта окружности).

В зависимости от глубины h и длины l (диаметра d) дефекта (каверны) различают замкнутую и открытую структуры сверхзвукового течения [4]. Для замкнутой структуры (рис.4) характерно наличие у передней и задней стенок отдельных зон циркуляционного течения (1) и (2). Поток отрывается с образованием веера волн разряжения (3), а затем движется ко дну каверны. Присоединение потока вызывает скачек уплотнения (4), а задняя стенка при этом представляет собой уступ, обтекание которого также приводит к появлению скачков уплотнения (6). В открытой каверне (рис.5) оторвавшийся поток присоединяется непосредственно к задней стенке. Критерием существования той или иной структуры течения может служить относительный размер $\delta_{отн}$ равный отношению l/h_1 (d/h_1). Когда $\delta_{отн}$ превышает критическое значение $(l/h_1)_{кр}$, поток присоединяется к поверхности дна каверны

(образуется замкнутая структура).

При обтекании каверны, которая полностью находится в области отрывного течения, если ее продольный размер l будет меньше суммы размеров двух отрывных зон за и перед уступами, образующими эту каверну, безразмерный коэффициент теплоотдачи $\bar{\alpha}$ и безразмерный тепловой поток \bar{q} за точкой отрыва меньше чем на пластине при тех же условиях обтекания.

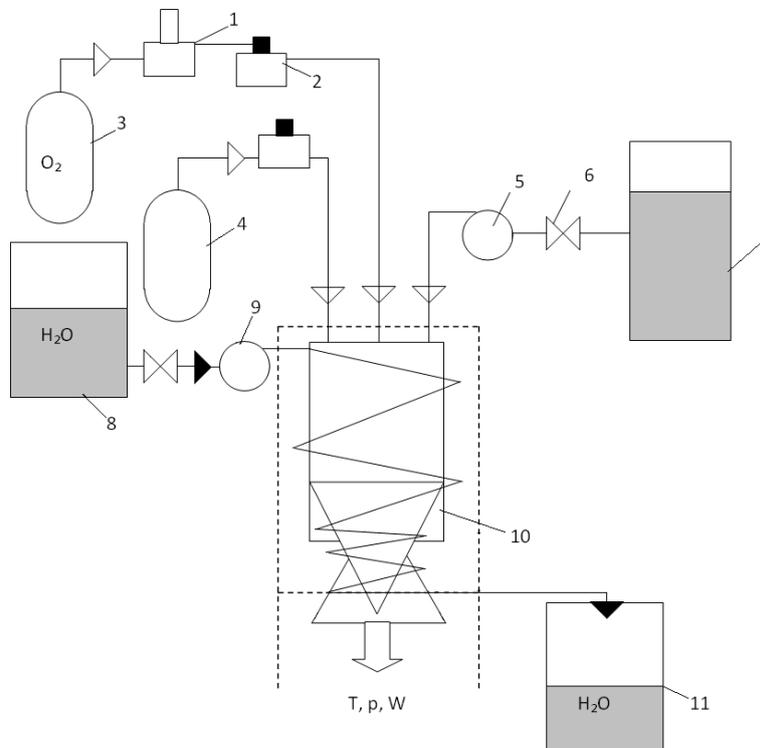


Рис. 1. – Схема экспериментальной установки с соплом газогенератора на основе ЖРД
1 – редуктор, 2 – пневмоклапан, 3 – баллон с окислителем, 4 – баллон со сжатым воздухом, 5 – насос горючего, 6 – вентиль, 7 – бак с углеводородным горючим, 8 – бак с водой, 9 – водяной насос, 10 – газогенератор, 11 – сливной бак.

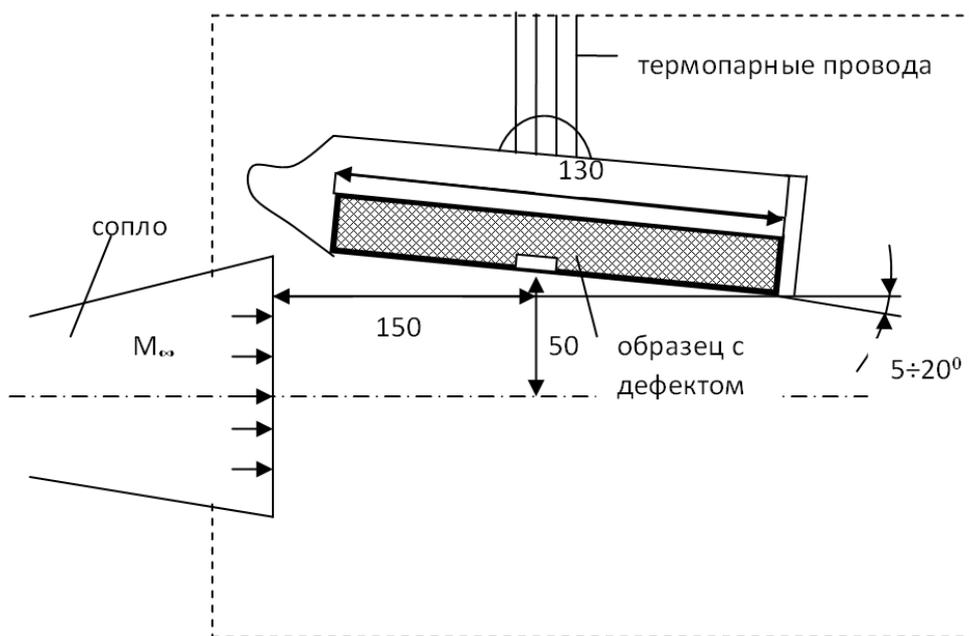


Рис. 2. – Экспериментальная модель (образец ТЗП) в газогенераторе

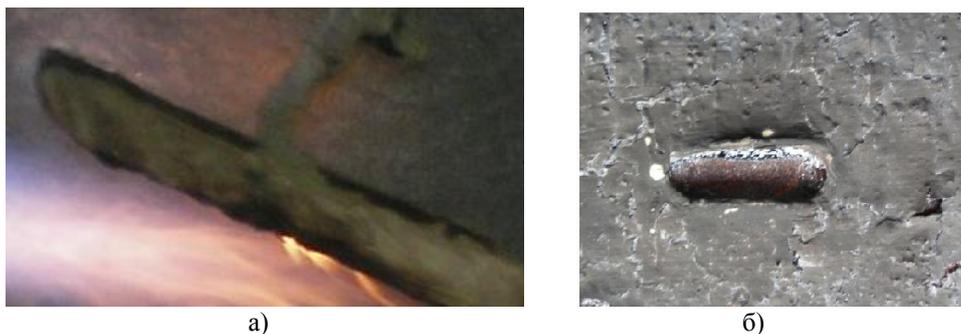


Рис. 3. – Образец ТЗП с дефектом
 а) В период эксперимента; б) после эксперимента

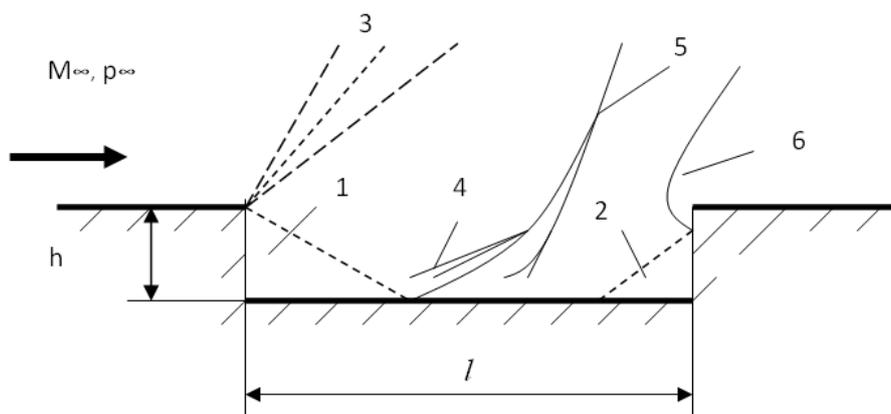


Рис. 4. – Замкнутая каверна

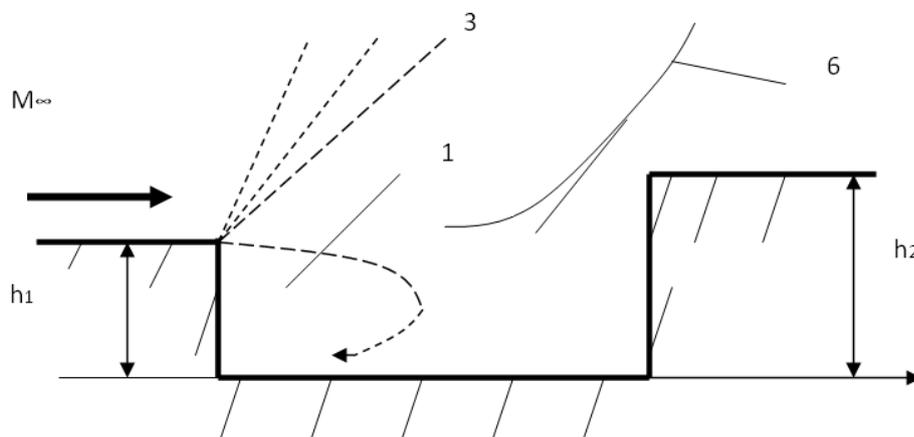


Рис. 5. – Открытая каверна

С приближением к задней стенке каверны вниз по потоку $\bar{\alpha}$ и \bar{q} возрастают и непосредственно перед стенкой достигают максимума. При сложном обтекании каверны, соответствующем течению в замкнутой полости, относительный коэффициент теплоотдачи к нижней стенке значительно выше, чем для случаев обтекания открытой каверны. При обтекании обратных уступов (турбулентный отрыв плоского потока) α также повышается в области присоединения потока.

На первом этапе проведем инженерную оценку одного из простых случаев обтекания поверхности с локальным дефектом. Условно разобьем ТЗП, получившее повреждение, на два слоя с толщинами δ_1 и δ_2 , где $\delta_1 = h$ (рис. 6). Будем считать, что в первом слое имеется прямоугольное отверстие (длиной l , шириной b), в которое

«помещен» источник тепла с тепловым потоком q , определяемым из аэродинамического расчета.

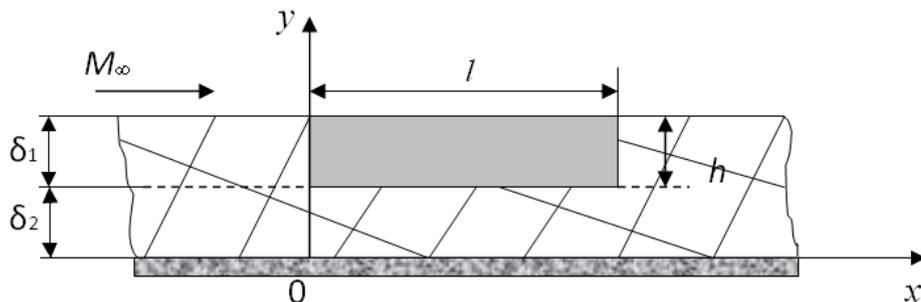


Рис. 6. – Расчетная схема

Количество тепла, проникающее через каверну ко второму слою за определенный отрезок времени, равно:

$$Q = lb\Delta b \sum q_i \quad (3)$$

Необходимо для определенного участка боковой поверхности (при фиксированных h и b) определить максимальную величину l , превышение которой приведет к росту температуры на внутренней поверхности ТЗП до недопустимых значений. В ходе расчета использовались данные экспериментальных исследований для конкретных значений отношения l/h [4, 7], которые однозначно определяют зависимости $q = f(M)$ и $\alpha = f(M)$ для каждого участка донной поверхности дефекта. На рис.7 представлены результаты расчета температуры течения в зоне каверны и температурного поля ТЗП в зоне прогара при $l/h=5$ для участка обтекаемой поверхности. Расчет параметров сверхзвукового обтекания проведен с помощью метода конечных элементов. Использована тетраэдрическая сетка – область разбивалась на 1620118 элементов, число узлов 327516.

Предлагаемая методика может быть использована в вероятностном анализе безопасности для перспективных космических аппаратов с ядерными энергетическими установками.

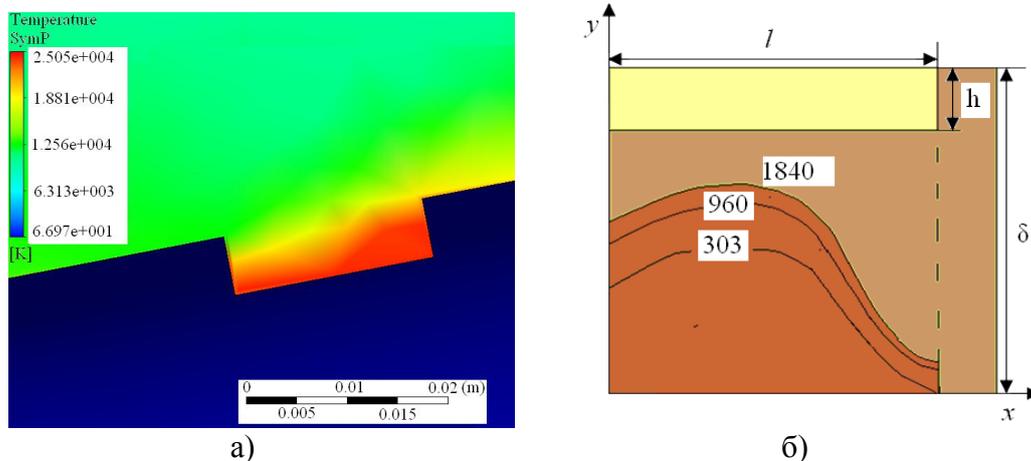


Рис. 7. – Результаты расчета.

- а) – температура потока в зоне каверны;
б) – температурное поле в ТЗП (шкала Кельвина)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев, П.В. и др. Космическая ядерная энергетика: прошлое, настоящее, будущее [Текст] / П.В. Андреев, В.А. Васильковский // АтомПРЕССА. – 2007. – №15. – С. 1–2.
2. Железняков, А.Б. Тайны ракетных катастроф: плата за прорыв в космос. [Текст] / А.Б. Железняков. – М.: Эксмо, Яуза, 2004. – 544 с.
3. Губеладзе, О.А. и др. Защита возвращаемой части космического аппарата [Текст] / О.А. Губеладзе, Р.А. Гончаров // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естественные науки. Прилож. – 2006. – № 1, С.37 – 40.
4. Краснов, Н.Ф. и др. Аэродинамика отрывных течений. [Текст] / Н.Ф. Краснов, В.Н. Кошевой, В.Т. Калугин. – М.: Высшая школа, 1988. – 351 с.
5. Губеладзе, О.А. и др. Влияние дефектов поверхности корпуса летательного аппарата на тепловой пограничный слой. [Текст] / О.А. Губеладзе, Р.А. Гончаров, Е.М. Левченко, Р.В. Сахабуудинов // Изв. вузов. Сев. – Кавк. регион. Естеств. науки. – 2008. – №1. – С. 28–29.
6. Бородин, Р.В., и др. Особенности сверхзвукового обтекания поврежденной поверхности возвращаемой части космического аппарата [Текст] / Р.В. Бородин, О.А. Губеладзе, Р.А. Гончаров // Материалы VIII Междунар. форума «Высокие технологии XXI в». Москва, 23–26 апреля 2007 г. – М.: ЗАО «Мавр», 2007. – С. 51–52.
7. Avery D.E., Kerr P.A., Wieting A.R. Experimental aerodynamic heating to simulated Shuttle tiles. CITEWEB.INFO – WORLDWEB CITATION DATABASE. – 1983. – Режим доступа: URL: citeweb.info/19850194847 – 17.01.2017.

REFERENCES

- [1] Andreev P.V., Vasilkovskiy V.A. Kosmicheskaya yadernaya energetika: proshloe, nastoyashchee, budushchee [Space nuclear power: past, present, future]. AtomPRESSA [Atom PRESS], 2007, №15, pp. 1–2. (in Russian)
- [2] Zheleznyakov A.B. Tayny raketnykh katastrof: plata za proryv v kosmos [Mysteries of rocket accidents: a payment for break in space]. M. Pub. "Eksmo, Yauza" [Eksmo, Yauza publishing house], 2004, 544 p. (in Russian)
- [3] Gubeladze O.A., Goncharov R.A. Zashchita vozvrashchaemoy chasti kosmicheskogo apparata [Protection of the returned part of the spacecraft]. Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazsky region. Yestestvennye nauki. Prolozhenie [Scientific-educational and applied journal. University news of North-Caucasian region. Natural sciences series. Application], 2006, №1, ISSN 0321-3005, pp. 37–40. (in Russian)
- [4] Krasnov N.F., Koshevoy V.N., Kalugin V.T. Aerodinamika otryvnykh techeniy [Aerodynamics of detachable currents]. M. Pub. "Vysshaya shkola" [High School publishing house], 1988, ISBN 5-06-001196-8, 351 p. (in Russian)
- [5] Gubeladze O.A., Goncharov R.A., Levchenko E.M., Sakhabudinov R.V. Vliyanie defektov poverkhnosti korpusa letatel'nogo apparata na teplovoy pogranichnyy sloy [Influence of case surface defects of the aircraft on a thermal interface]. Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazsky region. Yestestvennye nauki. [Scientific-educational and applied journal. University news of North-Caucasian region. Natural sciences series], 2008, № 1, ISSN 0321-3005, pp. 28–29. (in Russian)
- [6] Borodin R.V., Gubeladze O.A., Goncharov R.A. Osobennosti sverkhzvukovogo obtekaniya povrezhdennoy poverkhnosti vozvrashchaemoy chasti kosmicheskogo apparata [Features of a supersonic flow of the damaged surface of the returned part of the spacecraft]. Materialy VIII Mezhdunarodnogo foruma «Vysokie tekhnologii KhKhI v.» [Materials of the VIII International forum "High Technologies in XXI"]. M. Pub. CJSC "Mavr" [CJSC "Mavr" publishing house], 2007, pp. 51–52. (in Russian)
- [7] Avery D.E., Kerr P.A., Wieting A.R. Experimental aerodynamic heating to simulated Shuttle tiles. CITEWEB.INFO — WORLDWEB CITATION DATABASE, 1983. Available at: <http://citeweb.info/19850194847> (in Russian)

Safety of Perspective Spacecrafts with the Nuclear Power Installation

O.A. Gubeladze^{*1}, A.R. Gubeladze^{2}, S.M. Burdakov^{*3}**

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

^{**} *Don State Technical University*

Gagarin square 1, Rostov-on-Don, Russia, 344000

¹*e-mail: buba26021966@yandex.ru*

ORCID iD: 0000-0001-6018-4989

WoS ResearcherID: F-6921-2017;

²*e-mail: buba26021966@yandex.ru*

ORCID iD: 0000-0002-6966-6391

WoS ResearcherID: F-7215-2017 ;

³*e-mail: SMBurdakov@mephi.ru*

ORCID iD: 0000-0002-8599-6008

WoS ResearcherID: F-6903-2017

Abstract – Work is carried out to ensure nuclear and radiation safety in the operation of advanced spacecrafts with nuclear power installations on board. The method of estimating the thermal effects of detachable currents can be used for probabilistic analysis of the safety of such devices.

Keywords: nuclear power station, spacecraft, atmospheric dense layers, thermal protection coating, detachable currents, cavity.

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

УДК 621.791.725

**ГИБРИДНАЯ ЛАЗЕРНО-ДУГОВАЯ СВАРКА ВЫСОКОПРОЧНЫХ
ТРУБНЫХ СТАЛЕЙ КЛАССОВ ПРОЧНОСТИ API X80 И X120¹**

© 2017 С.Э. Гоок*, А.В. Гуменюк**, М. Ретмайер**

* *Общество Фраунгофера,*

Институт производственных систем и технологий конструирования ИПК, Берлин, Германия

** *Федеральное ведомство по исследованию и испытаниям материалов БАМ, Берлин, Германия*

Целью настоящей работы являлось изучение возможностей гибридной лазерно-дуговой сварки в части выполнения продольных швов труб большого диаметра классов прочности API 5L X80 и X120. Экспериментальные исследования были сфокусированы на изучении методов повышения ударной вязкости гибридных сварных швов для условий низких температур эксплуатации трубопроводов. Улучшенные показатели ударной вязкости были достигнуты за счет применения металлопорошковых проволок, обеспечивающих формирование предпочтительной мелкозернистой микроструктуры металла шва. Современные технологии дуговой сварки, такие как сварка модифицированной импульсной струйной дугой, были использованы в составе гибридного лазерно-дугового процесса для обеспечения более глубокого проникновения присадочного материала в узкую зону проплавления гибридного лазерно-дугового шва. Форма разделки кромок с высотой притупления не более 14 мм принята в качестве оптимальной. Анализ химического состава металла шва обнаружил лишь частичное присутствие присадочного материала на глубине проплавления 14 мм. Сверх указанной глубины металлургические воздействия на металл сварного шва с помощью сварочной проволоки не могут быть гарантированы. Требуемые механико-технологические свойства изготовленных гибридных швов подтверждены результатами соответствующих испытаний. Полученные средние значения ударной вязкости составляют величину около 150J при температуре испытаний -60°C для стали X80. Для стали X120 была достигнута средняя величина ударной вязкости 53J при температуре испытаний -40°C. При этом, требуемое значение ударной вязкости металла сварного шва в соответствии со стандартами API 5L и DIN EN 10208-2 составляет лишь 40J при температуре испытаний 0°C.

Ключевые слова: высокопрочные трубные стали, гибридная лазерно-дуговая сварка, сварка модифицированной короткой дугой, сварка продольного шва, магистральные трубопроводы, перемешивание, предел прочности, ударная вязкость.

Поступила в редакцию: 10.02.2017

LIST OF SYMBOLS AND ABBREVIATIONS

A_5 – elongation after fracture
 A_v – absorbed impact energy
 SE_{PCM} – carbon equivalent
 $I_{L\Box}$ – arc current
 L_{LB} – correction of the arc length

¹ Исследование выполнено в рамках проекта IGF 16415N объединения FOSTA при финансовой поддержке Федерального министерства экономики и технологий (BMWi) Германии.

P_L – laser power
 $R_{p0.2}$ – 0.2% proof stress
 R_m – tensile strength
 t – thickness
 t_s – height of the weld root face
 U_{LB} – arc voltage
 v_d – wire feeding speed
 v_s – welding speed
 EMPA – electron microprobe analysis
 GMAW – metal active gas welding
 HAZ – heat affected zone
 SAW – submerged arc welding

INTRODUCTION

To a large extent, longitudinally welded large-diameter pipes are used for modern oil and gas-pipelines. Most applied base materials are API-steels X65 and X70 [1]. Constantly increasing natural gas and oil delivery rates demand advancements of the assigned materials. Wall thickness minimization or operating pressure increase are achieved by material substitution, e.g. employment of a high strength steel grade API-X80, API-X100 or API-X120 [2-4]. Material substitution already allows material savings of more than 10 % or wall thickness minimization to about 14 % compared to steel grade X70 [5]. Such pipes are usually produced by first forming a large plate to an open ring. Subsequently, the ring is continuously tacked along its longitudinal gap by means of a metal active gas GMA welding process. In the further process, the remaining double-sided joint gaps are filled with layers using cost-intensive multiple-wire submerged arc welding SAW processes. The GMA-tack weld is completely remelted in the process. The maximal root face depth depends on the welding process and is currently 8 mm. The innovative laser hybrid welding technology offers a significant increase in fully penetrated root face depth and welding speed compared to conventional welding technologies. This means for pipe production that the amount of SAW filler layers will be reduced and, in parallel, the increased welding speed will lead to a shortening of the production cycle for longitudinally welded pipes. Fig. 1 shows schematically the significant potential savings through an increased root face depth of 12 mm by application of laser-hybrid welding.

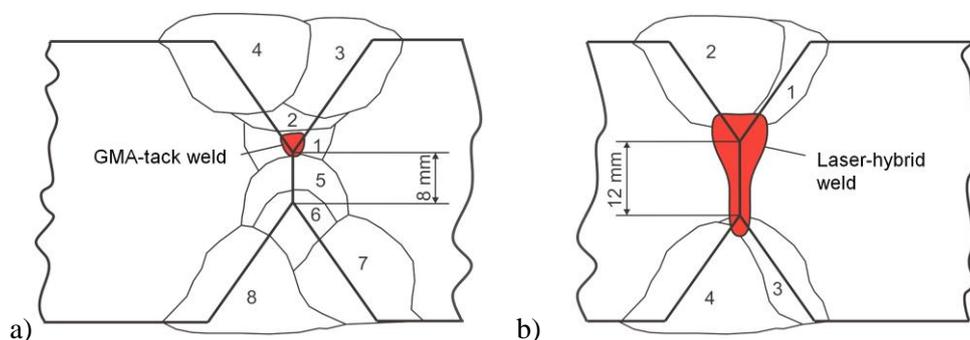


Fig. 1: Comparison between two welding technologies: longitudinal weld consisting of a GMA-tack weld and SAW filler layers (a); longitudinal weld consisting of a laser-hybrid weld and SAW filler layers (b)

In addition to the mentioned economic efficiency the strength and impact toughness required for laser hybrid welded joints have to be ensured. The achievable mechanical and technological properties of laser hybrid welds are currently being investigated intensively by

international research groups. Thus, sufficiently high notch impact toughness of the laser hybrid welds on steel grades up to X70 with maximal wall thickness of 16 mm could already be demonstrated [6-9]. Laser hybrid welding trials on X80 grade steel have also demonstrated acceptable notch impact toughness of welds with a maximum root face depth of 9 mm [10]. Some promising results regarding weldability aspects of X100 grade steel in the high power fibre laser welding process have already been achieved [11]. Here regular sound laser welded root passes with a maximum depth of 6 mm, generally free from defects and porosity, could be produced. The toughness measured in the fused zone of the laser welded root passes shows some scatter, but is in general above 60 J at -60 °C, which is acceptable according to the specification for linepipe API 5L. Microstructure and properties of laser hybrid welds made from a range of commercially available, mainly pipeline steels are discussed in detail in [12]. A series of crack free laser hybrid welds could be produced with a root face of 7.5 mm used for all tested steels. It is demonstrated by the authors of this study that laser/GMA hybrid welding enables the microstructure and mechanical properties of pipeline steels welds to be improved significantly. In this context, the greatest influence on the weld microstructure is exerted by a filler wire that affects the weld metallurgy and promotes the formation of a desirable microstructure containing acicular ferrite, for example, which improves hybrid weld toughness. It also appears that filler material transport deep into the narrow laser welding gap and its homogeneous distribution play an important role. Elements added by filler wires concentrate in the upper weld metal region rather than in the root region. This is to say that homogenous element distribution is difficult to obtain in narrow and deep penetration hybrid welds. The influence of welding conditions on filler wire element distribution was investigated in CO₂ laser and pulsed GMA hybrid welding of 11 mm thick high strength structural steel JIS SM490A [13] using filler wire containing 72% Ni. It was found that the regions with homogeneously distributed Ni from the filler wire reached depths down to 8 mm for welding with leading arc and down to about 10 mm with leading laser (square butt joint without gap). However, all the experiments of this study were carried out with quite constant welding parameters (except a slight change in wire feed rate) and any effects of energy parameters on the alloying element distribution were not observed. The effect of higher arc current with greater arc force on the laser hybrid weld shape is discussed in [14]. The results of this study demonstrate that the filler material penetration depth from pool top to root can be increased by approx. 3 mm to 6 mm for 6 mm thick plate when choosing an appropriate energy ratio (laser/arc) in laser MIG hybrid welding. These results suggest that innovative arc welding technologies, such as modified pulsed GMAW, can be decisive for increased fusion penetration. Such technology uses microprocessor-based metal transfer control permitting a very stable short arc with high plasma pressure on the weld pool and deeper filler material transport in the welding gap [15 - 19]. This is the reason why implementation of modified pulsed GMAW in the laser hybrid process is of practical interest in view of further hybrid weld quality improvement. However, any quantitative investigations dealing with this issue are still lacking.

Another factor to be considered is that the superior toughness of fine grained or ultrafine grained X100 or X120 microstructure obtained through a thermomechanical controlled process may be irreversibly altered when the steel is welded with high heat input (GMAW, SAW processes). Coarsening of fine ferrite grains, caused by recrystallisation or abnormal phase transformation from austenite, results in remarkable HAZ softening and thus in remarkable reduction in HAZ toughness [20]. As reported in [21], a fast cooling process can effectively improve the HAZ toughness of high strength pipeline steel X120. Therefore, high power fibre laser hybrid welding, as a very low heat input process, offers a good opportunity of minimizing HAZ softening effects.

Overall it can be stated that reliable laser hybrid field welding results for modern high

strength pipeline steels and commercially interesting process parameters, e.g. root face depths of 12 mm and above, are not available yet. Although some promising results regarding X80 and X100 laser and laser hybrid weldability could already be achieved, any results concerning X120 laser hybrid weldability are still completely lacking.

The present study demonstrates the laser arc hybrid weldability of high strength pipe steels X80 and X120 with 14 mm root face for producing longitudinal welds. Filler material distribution and penetration depth in laser hybrid welds produced by different arc modes such as GMA normal, GMA pulse and GMA modified spray arc are shown. The produced welds were tested and achievable mechanical and technological characteristics are discussed.

MATERIALS, JOINT PREPARATION AND EXPERIMENTAL SETUP

As base materials the pipe steels X80 and X120 with the chemical composition shown in Table 1 were used. According to the requirements of API 5L and ISO 3183 for the chemical composition and mechanical properties (Table 2) of high-strength pipe steels, the investigated materials belong to the group of low-alloy Si-Mn steels additionally micro alloyed with strong carbide-forming elements. In order to achieve the necessary high strength in X120 boron is added. Boron addition not only increases the strength of the base metal, but also transforms the weld heat affected zone HAZ into lower bainite and is effective in increasing the toughness of the HAZ [22]. In order to ensure a good weldability, the carbon content is kept below 0.1% and the low cold cracking susceptibility of these steels is guaranteed by a low carbon equivalent CE_{PCM} .

Table 1: Chemical composition of X80 and X120 steels and carbon equivalent

Steel grade	Element in wt. %															CE_{PCM} in %
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al	Mo	Cu	V	Nb	Ti	B	Fe	
X80	0.052	0.33	1.8	0.008	0.0008	0.17	0.01	0.04	0.14	0.02	0.004	0.04	0.012	-	rest	0.17
X120	0.054	0.31	1.6	0.009	0.0006	0.41	0.04	0.03	0.21	0.03	0.038	0.04	0.012	0.001	rest	0.19

In combination with the higher cooling rate in thermomechanically controlled rolling, this results in high strength characteristics and brittle fracture resistance.

Table 2: Mechanical properties of X80 and X120 steels

Steel grade	Thickness in mm	$R_{p0.2}$ in MPa	R_m in MPa	A_5 in %	R_p/R_m in %	A_v in J
X80	23.4	548	648	21.9	85	330 (-60°C)
X120	20.0	816	1020	14.7	80	270 (-40°C)

As filler materials, solid wires and metal cored electrodes made by two producers, i.e. Böhler Schweißtechnik und Drahtzug Stein, were used. The filler wires were developed for high strength steel welding of X80 and above according to EN 12534 and EN 18276. Chemical compositions and mechanical properties of the filler wires are listed in Table 3 and Table 4, respectively. The used wire diameter was 1.2 mm.

Table 3: Chemical composition of the filler wires

Filler wire	Element in wt. %								
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Fe
Solid wire Böhler NiMo 1-IG	0.08	1.8	0.6	<0.015	<0.015	-	0.9	0.3	balance
Solid wire Böhler X 90-IG	0.1	1.8	0.8	<0.015	<0.015	0.35	2.3	0.6	balance
Metal cored electrode Böhler alform 700-MC	0.07	1.6	0.7	<0.015	<0.015	0.35	2.0	0.3	balance
Metal cored electrode Megafill MF 940 M	0.05	1.4	0.6	<0.015	<0.015	-	2.0	-	balance

Measurements of diffusible hydrogen content in the deposited metal were performed according to DIN EN ISO 3690. The requirements for the hydrogen content in high strength filler materials were met. All measured values do not exceed 5 ml/100 g. The used wires belong to the "extra low hydrogen" filler materials according to AWS A5.1 pointing out their good resistant against hydrogen related cracking.

Table 4: Mechanical properties of the filler wires

Filler wire	R _{p0.2} in MPa	R _m in MPa	A ₅ in %	A _v in J (-60 °C)
Böhler NiMo 1-IG	620	700	23	> 47
Böhler X 90-IG	890	950	15	> 47
Böhler alform 700-MC	770	830	18	> 63
Megafill MF 940 M	550	640	22	> 47

Welding experiments were performed on flat specimens in PA-position. The thickness of the metal plates was 20.0 mm for X120 and 23.4 mm for X80. The examined edge preparation with a 14 mm root face and a 45° beveling angle is shown in Fig. 2a.

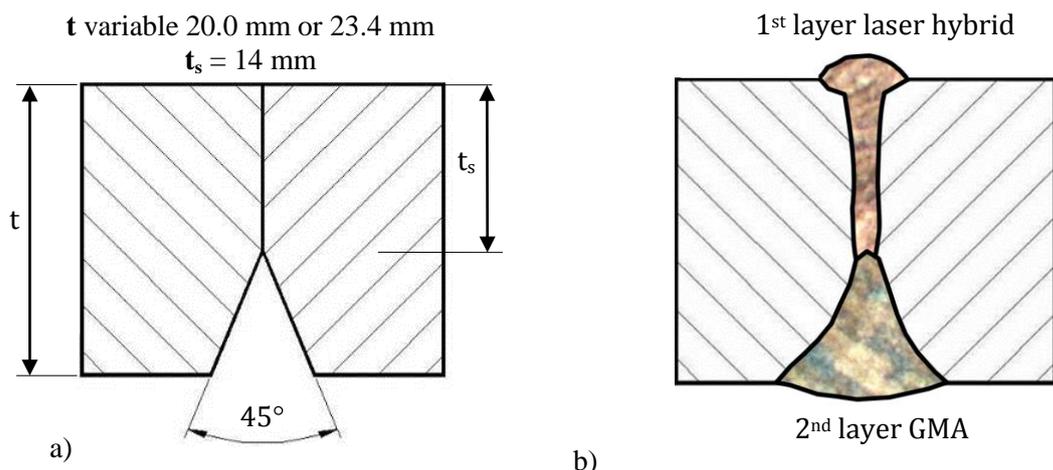


Fig. 2: Edge preparation (a) and welding sequence (b)

The welds were performed in two layers as shown in Fig. 2b. At first a laser hybrid layer was welded in a butt joint. After that, the specimens were turned 180° and then the remaining volume with the 45° beveling angle was filled with one layer using a conventional GMA process.

A 20 kW Yb fibre laser (IPG) (wave length 1064 nm, beam parameter product 11.2 mm x mrad) was used as laser power source. The optics used for the experiments had a focal length of 350 mm. The laser beam was transmitted by an optical fibre with a core diameter of 200 μm and focussed to the diameter of 0.56 mm. A micro-processor controlled welding machine Qineo Pulse 600 (Cloos) with a maximal welding current of 600 A was used as an arc welding power source. Laser head and GMA torch were mounted on the robot arm. Welding was carried out with leading arc, backhand with a fixed angle between laser beam and GMA torch of 25°. The gas mixture M21 (18% CO₂ in Ar) was used as shielding gas in accordance with EN 439. The experimental setup and used process parameters for the welding experiments can be seen in Fig. 3.

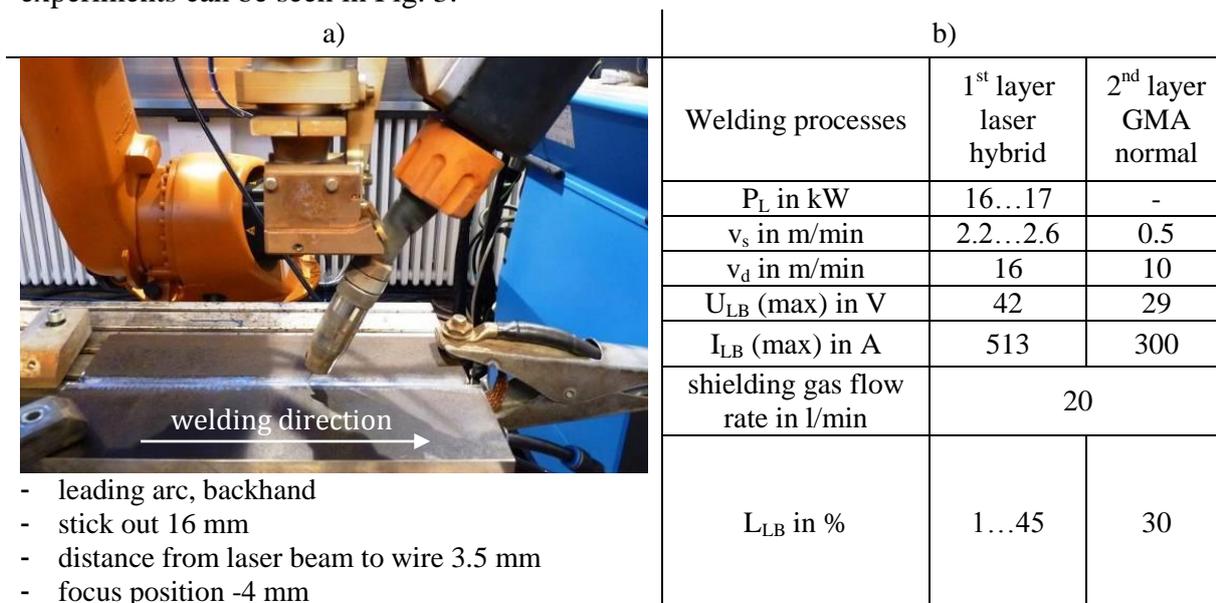


Fig. 3: Experimental setup (a) and welding parameters (b)

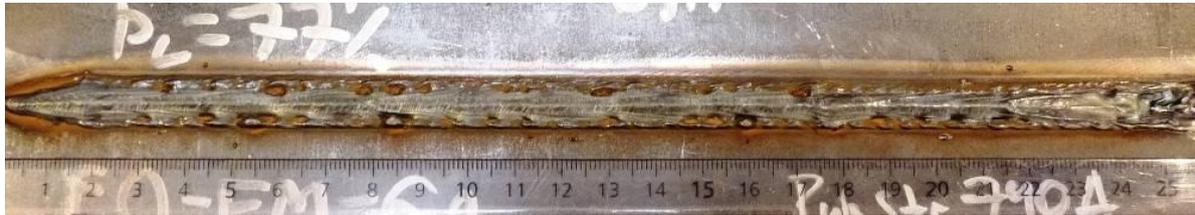
It should be mentioned that the welding machine Qineo Pulse 600 supports the new arc processes such as modified spray arc. A modified spray arc is a very short arc with extremely high directional stability that results from a highly dynamic voltage regulation [15-19]. It results in improved welding process conditions such as stronger focused arc plasma with increased plasma pressure on the weld pool and higher energy density, which leads to a higher penetration level and deeper filler material transportation into the welding gap.

RESULTS AND DISCUSSION

Series of welding experiments were performed with the following combinations of the base materials and filler materials: X80 with Böhler NiMo 1-IG; X80 with Megafill MF 940 M; X120 with Böhler X 90-IG; X120 with Böhler X 90-IG. Analytical electron microprobe analysis EMPA was conducted to establish the weld metal composition and to obtain some representative information about the filler material penetration depth in the narrow laser welding gap. Hardness measurements, Charpy impact tests and tensile tests were carried out to examine the achievable mechanical properties of the laser hybrid welds and to verify their accordance with the standards API 5L and ISO 3183. X-ray examinations were made on most welds. All welded joints were found to be free from crack-like defects and the volume fraction of porosity was about 1.7% compared to the maximum permitted amount of 2.0% ("C" level as defined in EN ISO 13919-1). The largest pore diameters were below 1 mm.

Welding with modified spray arc

The authors' own experience in laser hybrid welding and knowledge about the process suggest that welding of a 14 mm root face using conventional GMA process (normal or pulse) should not pose any problems. First welding results with modified spray arc indicated that the process needs to be optimised. It was noticed that the modified spray arc can provoke significant undercuts on the top side of the laser hybrid weld, Fig. 4.



$v_s = 2.4 \text{ m/min}$, $P_L = 16 \text{ kW}$, $v_d = 16 \text{ m/min}$, $I_{LB} = 513 \text{ A}$, $U_{LB} = 42 \text{ V}$, Böhler NiMo 1-IG

Fig. 4: Laser hybrid welding with modified spray arc, undercuts

Excessive penetration appears at the lower welding speed of 2.2 m/min, Fig. 5. One reason must surely be the high plasma pressure on the weld pool, which would not happen in the case of conventional GMA pulse welding using standard welding parameters.



$P_L = 15 \text{ kW}$, $v_s = 2.2 \text{ m/min}$, $v_d = 16 \text{ m/min}$, Böhler NiMo 1-IG

Fig. 5: Laser hybrid welding with modified spray arc, excessive penetration

Arc diagnostics using a PHOTRON Fastcam high speed camera were done in order to understand the relationships between arc parameters and weld quality. GMA welding trials were carried out for comparison using solid wire Böhler NiMo 1-IG in different operating modes of the welding machine. Visual evaluation of the arc length can be done using the high speed pictures shown in Fig. 6.

$v_s = 1 \text{ m/min}$, $v_d = 10 \text{ m/min}$, Böhler NiMo 1-IG

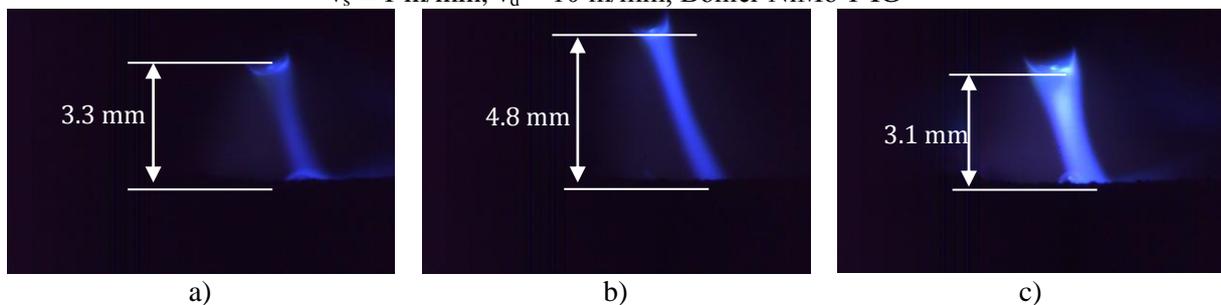


Fig. 6: Arc diagnostics, high speed pictures of comparative GMA welding: GMA Pulse (a), modified pulse spray arc with $L_{LB} 5\%$ (b), modified pulse spray arc with $L_{LB} 45\%$ (c)

The corresponding voltage and current characteristics were recorded and summarised in Table 5. The evaluation of measured signals shows that with the change of the arc type from conventional GMA pulse to modified pulse spray arc the arc parameters, primarily pulse current and base current, are also modified. The result is an arc with higher power on the one hand and increased arc length on the other hand. With an arc about 5 mm in length (Fig 6b), the energy introduced into the weld pool is no longer concentrated, i.e. the arc energy gets lost at the flanks and defects of the kind shown in Fig. 4 occur. The best way to get the arc energy more concentrated is to reduce the arc length. Arc length correction L_{LB} , which can be done through arc voltage reduction, helped to reduce the arc length from 4.8 mm to 3.1 mm and to get it more directionally stable (Fig 6c). All further laser hybrid welds produced within the scope of this work were made using modified pulsed spray arc with arc length correction L_{LB} 45% from a nominal value.

Table 5: Arc diagnostics, voltage and current characteristics for the comparative GMA welding trials, $v_s = 1$ m/min, $v_d = 10$ m/min, solid wire Böhler NiMo 1-IG

Parameter	GMA Pulse	GMA – modified pulse spray arc	
arc current I_{LB} in A	237.4	238.0	247.9
arc voltage U_{LB} in V	30.9	31.7	30.6
welding power in kW	8.4	9.1	9.4
base current in A	87.3	63.7	65.4
pulse current in A	494.0	573.9	608.2
pulse width in ms	2.1	2.3	2.3
pulse frequency in Hz	183.5	168.4	168.4
arc length correction L_{LB} in %	5	5	45
arc length in mm	3.3	4.8	3.1

An increase in welding speed from 2.2 m/min to 2.6 m/min and in laser power from 16 kW to 17 kW was very effective for avoiding excessive penetration during welding with modified spray arc. Subsequently it was possible to produce a series of welds with an appropriate quality. An example for the material combination X80 with metal cored electrode MF 940 M is shown in Fig. 7.

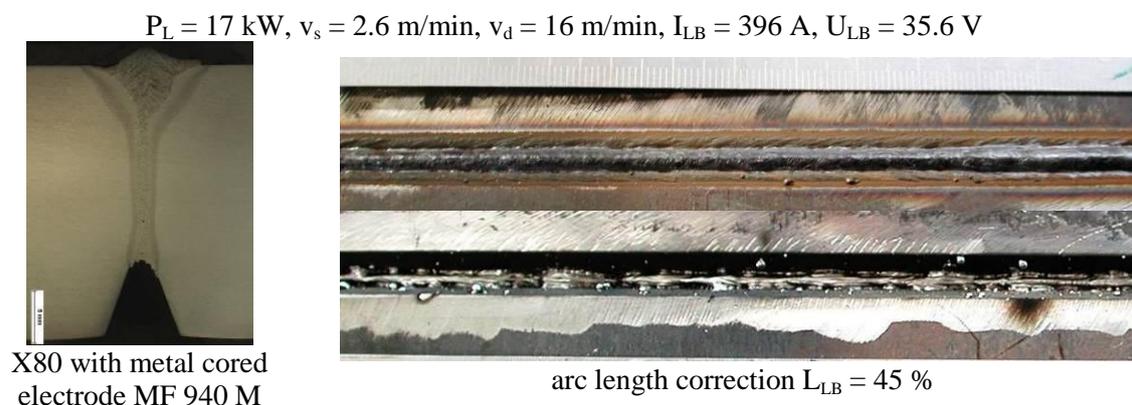


Fig. 7: Welding with modified spray arc and optimised arc length

The metal cored electrodes could be used with modified pulse spray arc and with the same parameters as for solid wires. A very stable low-spatter process with slight undercuts could be observed for both types of wires.

Penetration depth and dilution of the filler material

The toughness of laser hybrid welds should be mainly controlled by the solidification behavior which is dependent on the filler material. Any other technological procedure for improving the weld metal toughness, such as preheating, would reduce the production efficiency and lower the throughput rate in high volume production of pipelines. Laser hybrid welding produces quite narrow welds with a high height-to-width ratio and filler material transportation into such narrow and deep welding gaps represents a difficult technical challenge. Welding trials with different arc variants, including modified pulse spray arc, were conducted to study the possible filler material penetration depth and the character of dilution. The trials demonstrated that the modified pulse spray arc, thanks to its more powerful dynamic effect on the weld pool, really provides the deepest penetration in the GMA part of the laser hybrid weld, which is around 5.0 mm deep. Macrographs illustrating the difference between the used arc variants are presented in Fig. 8.

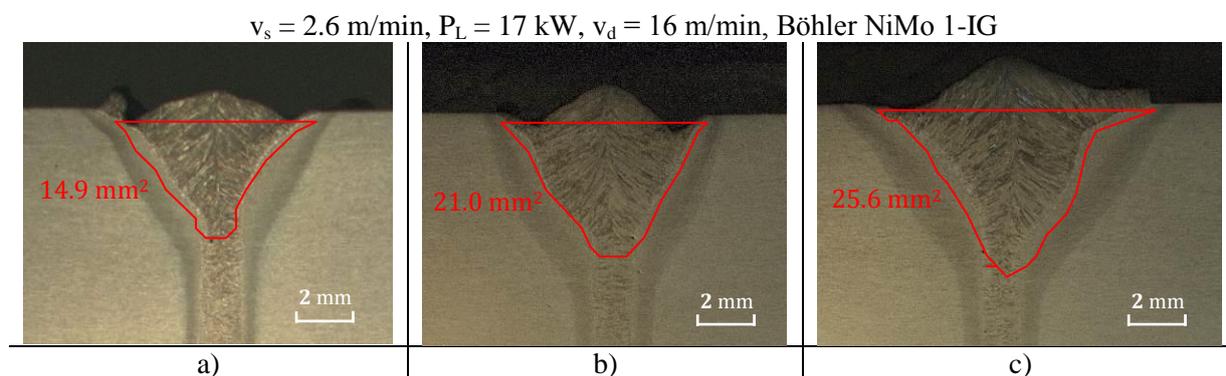


Fig. 8: GMA molten area: GMA Pulse (a), GMA Normal (b), GMA modified spray arc (c)

Planimetrically determined dimensions of the GMA zone for a solid wire and a metal cored electrode are summarised in Table 6. By differences with the GMA molten area and GMA penetration depth, three measurements were used to calculate the average value of these variables. The GMA heat input per unit length in Table 6 was calculated by using an efficiency factor of 0.8 [12].

Table 6: GMA molten area and penetration depth, $v_s = 2.6 \text{ m/min}$, $P_L = 17 \text{ kW}$, $v_d = 16 \text{ m/min}$

GMA process	avg. GMA molten area in mm^2	avg. GMA penetration depth in mm	GMA heat input in J/mm
Solid wire Böhler NiMo 1-IG			
GMA Pulse	14.9 ± 0.2	3.7 ± 0.2	271.2
GMA Normal	21.0 ± 0.2	4.4 ± 0.2	297.0
GMA modified spray arc	25.6 ± 0.2	5.1 ± 0.2	388.6
Metal cored electrode MF 940 M			
GMA Pulse	13.8 ± 0.2	3.9 ± 0.2	240.1
GMA modified spray arc	18.8 ± 0.2	4.5 ± 0.2	260.2

The comparison shows that the GMA molten area and the GMA penetration depth depend on the arc technology. The deepest penetration can be obtained with modified spray arc using solid wire. When using the metal cored electrode, the GMA penetration depth and molten area are slightly smaller, because the arc is softer.

An element map showing the 2D distribution of Nickel was prepared on longitudinal sections of laser hybrid welds produced with conventional pulse arc (Fig. 9a) and modified

spray arc (Fig. 9b). Both welds were performed with metal powder wire MF 940 M containing 2% Nickel chosen as a contrast element for the element mapping.

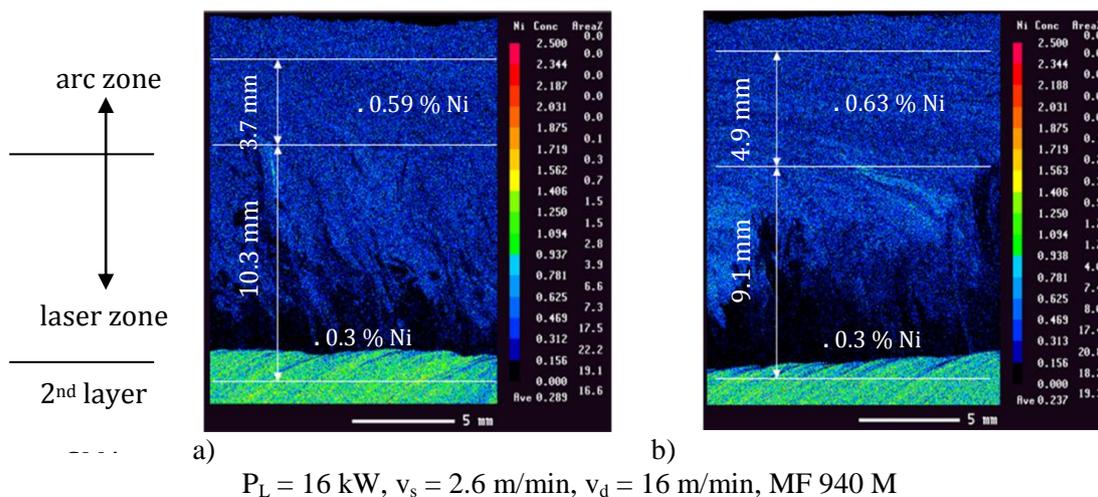


Figure 9: Distribution of Nickel in longitudinal laser hybrid weld sections, GMA Pulse (a), GMA modified spray arc (b)

The analyses show that the areas with homogeneous distribution of Nickel are located in the top part of the laser hybrid welds, which is dominated by the arc process. The areas with homogeneous distribution of Nickel (0.59% – 0.63%) extend up to 3.7 mm for the conventional normal and pulse arc and up to 4.9 mm for the modified spray arc. The arc type does not have any influence on the character of Ni-distribution in the laser part of the hybrid weld. It was found that the maximum filler material penetration is not deeper than 13 mm – 14 mm at all.

Microstructure

The optical micrograph in Fig. 10a shows, that base metal X80 has a ferrite-bainite microstructure, which is quite uniform and fine with a mean grain size only a few micrometers. Randomly-oriented ferrite particles can be observed in the weld microstructure of X80 (Fig. 10b and 10c). This weld microstructure is highly desirable as it reduces the effective grain size, exhibit crack propagation and improves toughness in welds. The microstructure of base metal X120 is fully bainitic with a very fine grain size (Fig. 11a). The resulted weld microstructure of X120 steel is also bainite with thin bainitic ferrite lath, which should exhibit good toughness of the HAZ (Fig. 11b and 11c). In order to correlate the microstructure results to mechanical properties, Charpy impact testing and tensile testing were performed for both steels.

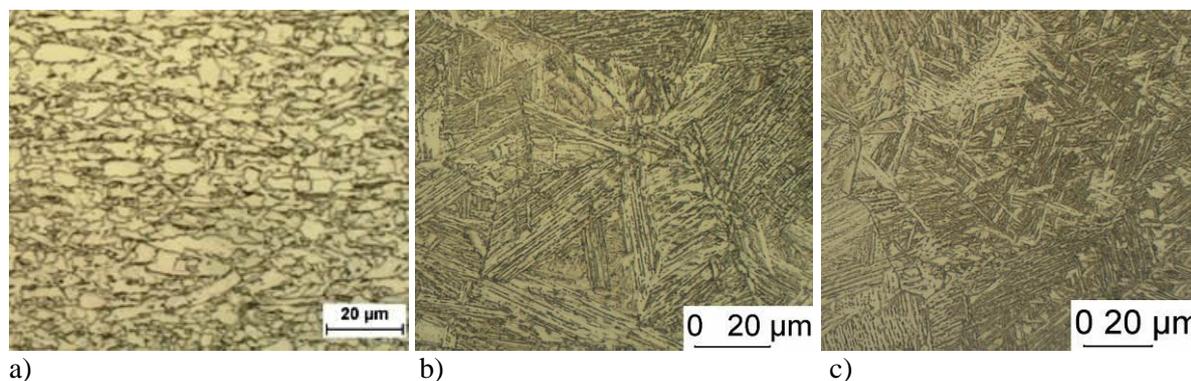


Figure 10: Microstructure of the base metal and weld metal in the laser hybrid welds: X80 base metal (a); weld metal X80/940 M (b); weld metal X80/ Böhler NiMo 1-IG (c)

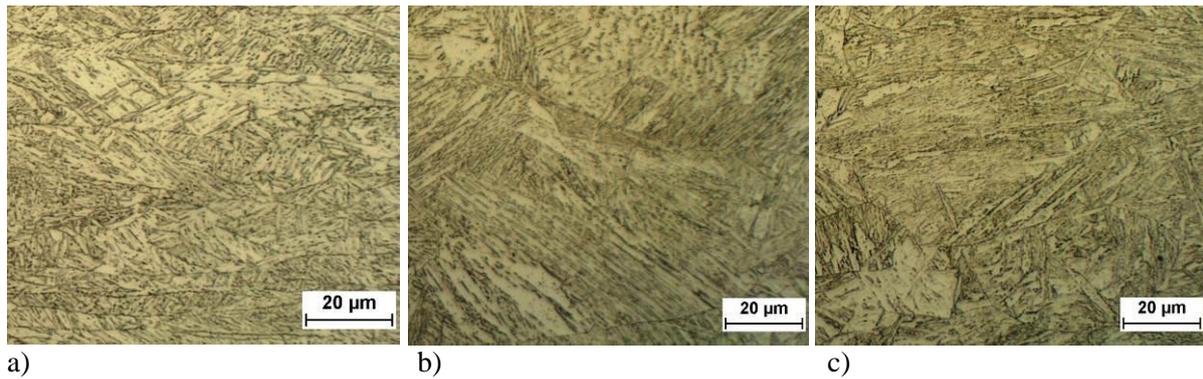


Figure 11: Microstructure of the base metal and weld metal in the laser hybrid welds: X120 base metal (a); weld metal X120/700 MC (b); weld metal X120/Böhler X90 (c)

Hardness measurements and Charpy impact test

Vickers hardness measurements were made using a 10 kg load. The Vickers hardness testing machines had been calibrated according to DIN EN ISO 6507-3. The maximum deviation of the hardness measurements HV10 was $\pm 3\%$. The Charpy-V-notch specimens (10 mm x 10 mm) were notched in the middle of the laser-hybrid weld. Testing was executed in accordance with EN 10045. Details to the taking plan for Charpy specimens as well as location of the HV10 paths are shown in Fig. 12a and 12b respectively.

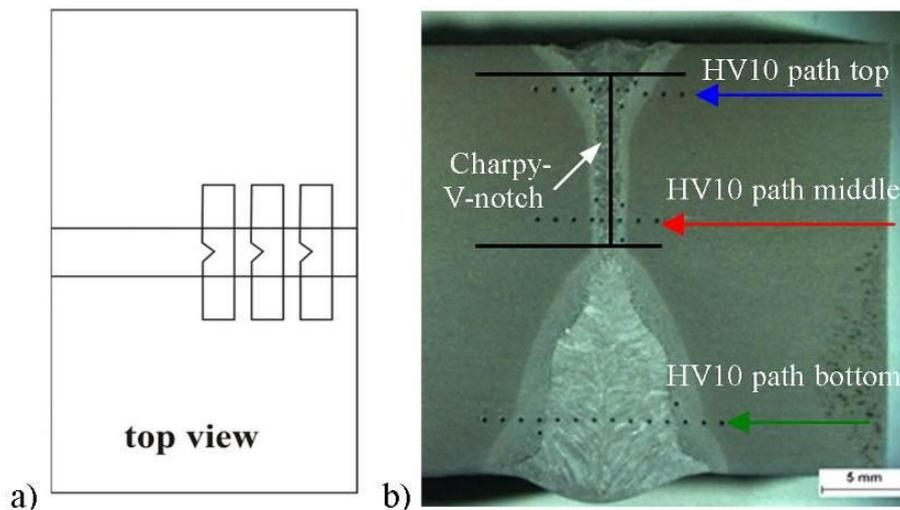


Figure 12: Taking plan for Charpy test specimens (a) and location of Charpy-V-notch as well as HV10 paths in details (b), root face 14 mm

The measuring results for the Vickers hardness are illustrated in Fig. 13. The comparison shows that the peak hardness for X80 measured in the top of the laser hybrid weld was 312 HV10_{max}. This hardness level is well below the maximum hardness limit specified for line pipe in API 5L or ISO 3183, which is 325 HV10_{max} for steel grades X80 and above. The peak hardness for X120 was around 356 HV10_{max} which is too high to fulfill the requirement of the API specification, but compared to the base material hardness of 320 HV10 it can be considered as tolerable. A slight decrease in hardness of about 50 HV10, particularly in the HAZ of the 2nd filler layer (“bottom” hardness line), could be observed at the welds X120. The measured peak hardness values are summarised in Table 7.

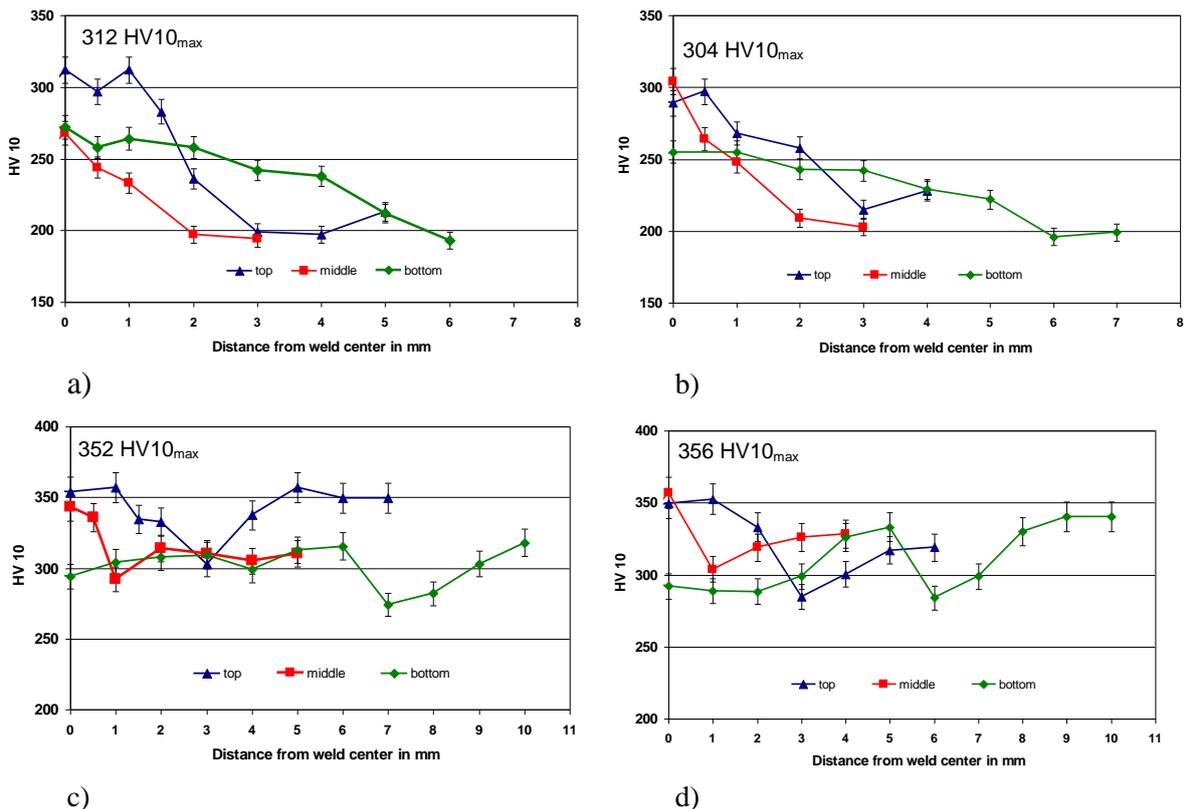


Fig. 13: Macrohardness HV10 for different material combinations: X80 with Böhler NiMo 1-IG (a); X80 with MF 940M (b); X120 with Böhler X 90-IG (c); X120 with alform 700 MC (d)

Table 7: Hardness results for different material combinations

Welded materials	HV10 _{max}			
	base material	top	middle	bottom
X80 with Böhler NiMo 1-IG	220	312	286	285
X80 with MF 940M		298	304	267
X120 with Böhler X90-IG	320	344	352	346
X120 with alform 700 MC		356	347	320

The results of Charpy tests are given in Fig. 14 by plotting measured impact energy versus temperature.

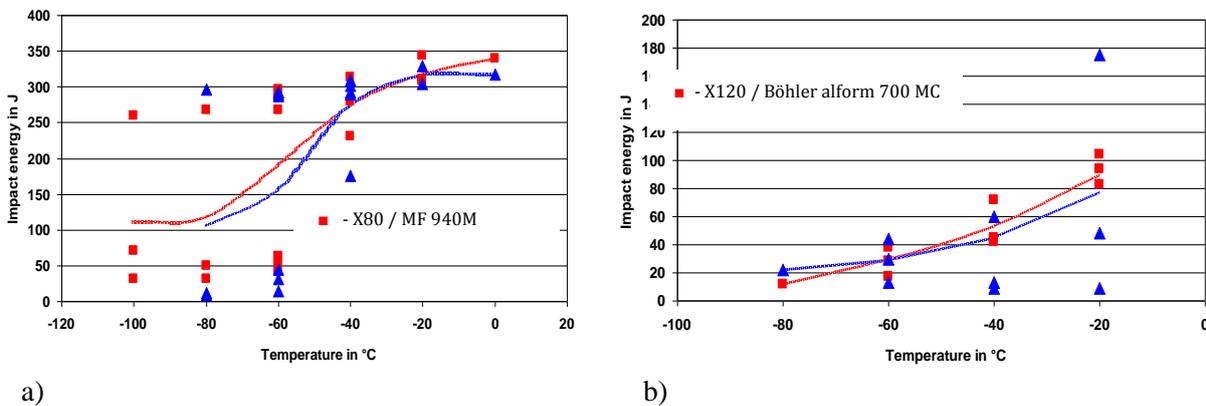


Fig. 14: Charpy impact energy results for laser hybrid welds: X80 (a); X120 (b)

The results show that the welds of X80 produced with the metal cored electrode MF 940 M have rather high Charpy values at -60°C (190J average) and meet the requirements of API 5L and ISO 3183. The laser hybrid welds of X120 produced with metal cored electrode Böhler alform 700-MC demonstrate also acceptable Charpy values (53J average) at the temperature -40°C . The used solid wires show rather scattered results at the lower test temperatures.

Tensile tests

Tensile tests were carried out using round specimens with 14 mm diameter at room temperature. Three specimens were tested for each material combination. The characteristic values determined for the different material combinations are shown in Table 8.

Table 8: Tensile tests results

Materials	R_m (average) in MPa	Fracture location
X80 with Böhler NiMo 1-IG	640 ± 2.4	base metal
X80 with MF 940 M	651 ± 2.4	base metal
X120 with Böhler alform 700-MC	942 ± 5.0	HAZ
X120 with Böhler X90-IG	940 ± 5.0	HAZ

The strength of the weld metal of all X80 welds was always much higher than that of the base metal. The fracture location for all tested X80 welds was in the base metal. The fracture location for all tested X120 welds was in the HAZ.

The minimum failure stress requested for X120 according to API 5L is 915 MPa. The requirements of API 5L are definitely fulfilled with the obtained failure stress of 940 MPa for ultrahigh strength steel X120 (Table 8).

CONCLUSIONS

Potentials of the hybrid laser arc welding processes were investigated regarding reliable production of longitudinal welds of high strength pipe steels X80 and X120. The achievable mechanical properties of the laser hybrid welds were evaluated. The findings of the study can be summarised as follows:

- (1) The modified spray arc, thanks to its more powerful dynamic effect on the molten pool, shows an increased penetration depth in the GMA part of the laser hybrid weld, which is around 5.0 mm deep. The areas with homogeneous filler material distribution extend up to 3.7 mm for the conventional pulse arc and up to 4.9 mm for the modified spray arc. The arc type does not have any influence on the character of dilution in the laser part of the hybrid weld. Edge preparation with a root face of 14 mm is proposed as optimum, because no filler material penetration could be detected beyond this depth limit and any metallurgical influence on the weld metal properties through the welding wire is not possible.
- (2) The peak hardness for X80 was $312 \text{ HV}_{10_{\max}}$ which is well below the maximum hardness limit specified for line pipe in API 5L or ISO 3183, which is $325 \text{ HV}_{10_{\max}}$ for steel grades X80 and above. The peak hardness for X120 was around $356 \text{ HV}_{10_{\max}}$ which is too high to fulfill the requirements of the API specification, but compared with the base material hardness of 320 HV_{10} it can be considered as tolerable.
- (3) The Charpy test results have shown that the welds of X80 produced with the metal

cored electrode MF 940 M exhibit rather high Charpy values at -60°C (190J average) and meet the requirements of API 5L and ISO 3183. The laser hybrid welds of X120 produced with metal cored electrode Böhler alform 700-MC also exhibit acceptable Charpy values (53J average) at the temperature of -40°C . The used solid wires show rather scattered results at the lower test temperatures.

- (4) The strength of the weld metal of all welds X80 was much higher than that of the base metal. The fracture location for all tested welds X80 was in the base metal. The fracture location for all tested welds X120 was in the HAZ. The requirements of API 5L are definitely fulfilled with the obtained failure stress of 940 MPa for X120 (the minimum failure stress requested for ultrahigh strength steel X120 according to API 5L is 915 MPa).

ACKNOWLEDGEMENT

The welding experiments were carried out within the FOSTA (Research Association Steel Application) project (IGF № 16415 N), provided via the AiF as part of the "Industrial Community Research and Development" (IGF) support program funded by the Federal Ministry of Economics and Technology (BMWi) according to a decision of the German Federal Parliament.

REFERENCES

- [1] Hillenbrand H., Graef M.K., Groß-Weege J., Knauf G., Marewski U. Development of Line Pipe for deepwater applications, ISOPE, The 12th International Offshore and Polar Engineering Conference & Exhibition, Kitakyushu, Japan, 26 – 31 May, 2002, pp. 287–294. (in English)
- [2] Felber S. Welding of the high grade pipeline-steel X80 and description of different pipeline-projects, *Welding in the World*, Vol. 52, 2008, No. 5/6, pp. 19–41. (in English)
- [3] Grimpe F., Meimeth S., Heckmann C., Liessem A., Gehrke, A. Development, production and application of heavy plates in grades up to X120, International Conference, Super-High Strength Steels, Roma (IT), Vol 1, 2005, No. 11, pp. 1–10. (in English)
- [4] Liu C., Bhole S.D. Challenges and developments in pipeline weldability and mechanical properties, *Science and Technology of Welding and Joining*, Vol. 18, 2013, Nr. 2, pp. 169–181. (in English)
- [5] Hillenbrandt H., Kalwa C. Production and Service Behaviour of High Strength Large Diameter Pipe, *Proceedings of Application & Evaluation of High-Grade Linepipes in Hostile Environments*, Yokohama, Japan, November 2002. (in English)
- [6] Sumpster, J.D. G. Fracture Toughness Evaluation of Laser Welds in Ship Steels; European Symposium on Assessment of Power Beam Welds, GKSS Research Center, Geesthacht, Germany, 4. – 5. Feb., 1999. (in English)
- [7] Liessem A., Erdelen-Peppler M. A critical view on the significance of HAZ toughness testing, IPC - 5th Biennial International Pipeline Conference, Calgary (CA), Vol. 5, 4. – 8th Oct. 2004, pp. 1871–1878. (in English)
- [8] Gräf M., Niederhoff K., Denys R. M. (ed.); Properties of HAZ in two-pass submerged-ARC welded large-diameter pipe, *Proceedings of the 3rd International Pipeline Technology Conference*, Laboratory Soete, Ghent University, Brugge (BE), Vol. 2, 21st – 24th May 2000, pp. 553– 566. (in English)
- [9] Vollertsen F., Grünenwald S., Rethmeier M. (ed.); Welding thick steel plates with fibre lasers and GMAW, *Welding in the world*, Vol. 54 – 3/4, 2010, pp. R62–R70. (in English)
- [10] Howse D.S., Scudamore R.J., Booth G.S. The evolution of Yb fibre laser/MAG hybrid processing for welding of pipelines, *Proceedings of The Fifteenth International Offshore and Polar Engineering Conference*, Seoul, Korea, June 19-24, 2005, pp. 90–97. (in English)
- [11] Miranda R., Quintino L., Williams S., Yapp D. Welding with High Power Fiber Laser API5L-X100 Pipeline Steel, *Materials Science Forum Vols. 636-637*, 2010, pp. 592–596. (in English)
- [12] Moore P.L., Howse D.S., Wallach E.R. Microstructures and properties of laser/arc hybrid welds and autogenous laser welds in pipeline steels, *Science and Technology of Welding and Joining*, Vol. 9, 2004, Nr. 4 , pp. 314–322. (in English)
- [13] Zhao L., Sugino T., Arakane G., Tsukamoto S., Influence of welding parameters on distribution of

- wire feeding elements in CO₂ laser GMA hybrid welding, *Science and Technology of Welding and Joining*, Vol. 14, 2009, Nr. 15, pp. 457–467 (in English)
- [14] Gao M., Zeng, X.Y., Hu Q.M., Yan J. Weld microstructure and shape of laser-arc hybrid welding, *Science and Technology of Welding and Joining*, Vol. 13, 2008, Nr. 2, pp. 106–113. (in English)
- [15] Chen M.A., Wu C.S., Li S.K., Zhang Y.M. Analysis of active control of metal transfer in modified pulsed GMAW, *Science and Technology of Welding and Joining*, Vol. 12, 2007, Nr. 1, pp. 10–14. (in English)
- [16] Budig B. EWM-forceArc - a powerful tool for MIG/MAG welding, EWM HIGHTEC WELDING GmbH. Available at: <http://www.ewm-sales.co.uk/downloads/wm030101.pdf> (in English)
- [17] High integrity welding of rail bogies, *Steel Times International*, July/August 2011, Available at: http://www.steeltimesint.com/contentimages/features/Processing_Cloos.pdf (in English)
- [18] The Merkle DeepARC Process, Available at: http://en.merkle.de/_images/uploaded/editor/File/DeepArc%20Flyer_GB.pdf (in English)
- [19] SpeedArc - For maximum MIG-MAG performance, Lorch Schweißtechnik Ltd., Available at: http://www.lorch.biz/masters-of-speed-eu/PDFs/LO_VorsprungdurchSpeed_EN.pdf (in English)
- [20] Ito R. Hiraoka K. Shiga C. Softening characteristics in ultra-narrow gap GMA welded joints of ultra-fine grained steel, *Science and Technology of Welding and Joining*, Vol. 10, 2005, Nr. 4, pp. 468–479. (in English)
- [21] Wang H.H., Wu K.M., Lei X.W., Qian Y. Effect of fast cooling process on microstructure and toughness of heat affected zone in high strength pipeline steel X120, *Science and Technology of Welding and Joining*, Vol. 17, 2012, Nr. 4, pp. 309–313. (in English)
- [22] Jung J.-G., Kim J., Noh K.-M., Park K.K., Lee Y.-K. Effects of B on microstructure and hardenability of resistance seam welded HSLA linepipe steel, *Science and Technology of Welding and Joining*, Vol. 17, 2012, Nr. 1, pp. 77–84. (in English)

HYBRID LASER ARC WELDING OF HIGH GRADE X80 AND X120 PIPELINE STEELS

S. Gook*¹, A. Gumenyuk*,², M. Rethmeier*,**³**

* *Fraunhofer Institute for Production Systems and Design Technology IPK,
Pascalstraße 8-9, Berlin 10587*

¹ *e-mail: sergej.gook@ipk.fraunhofer.de*
ORCID iD: 0000-0002-4350-3850
WoS ResearcherID: F-8636-2017

** *Federal Institute for Materials Research and Testing BAM,
Unter den Eichen 87, Berlin 12205*

² *e-mail: andrey.gumenyuk@bam.de*
ORCID iD: 0000-0002-8420-5964
WoS ResearcherID: D-6864-2017;
³ *e-mail: michael.rethmeier@bam.de*
ORCID iD: 0000-0001-8123-6696
WoS ResearcherID: B-9847-2009

Abstract – The aim of the present work was to investigate the possibilities of hybrid laser arc welding regarding reliable production of longitudinal welds of high strength pipe steels X80 and X120 and to evaluate achievable mechanical properties of laser hybrid welds. The study focused on weld toughness examination in low temperature range up to -60 °C. Suitable filler materials were identified in the context of this task. It could be shown that metal cored electrodes guaranteed sufficient Charpy impact toughness at low temperature for both investigated materials. Modern arc welding technologies such as modified pulsed spray arc were used to promote deeper penetration of the filler material into the narrow laser welding gap. Edge preparation with a 14 mm deep root face was considered as optimum, because no penetration of the filler material could be detected beyond this depth limit and therefore any metallurgical influences on the weld metal properties through the welding wire could be excluded.

Keywords: high strength steel, hybrid laser arc welding, modified spray arc, longitudinal weld, pipeline.

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

УДК 621.375

**ПРЕЦИЗИОННЫЙ РАДИАЦИОННО-СТОЙКИЙ VIJFET
ОПЕРАЦИОННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ДЛЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ
АНАЛОГОВЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ ДАТЧИКОВ¹**

© 2017 О.В. Дворников*, Н.Н. Прокопенко**,***, И.В. Пахомов**, А.А. Игнашин**,
А.В. Бугакова**

* ОАО «Минский научно-исследовательский приборостроительный институт», Минск,
Республика Беларусь

** Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону,
Россия

*** Институт проблем проектирования в микроэлектронике РАН, Зеленоград, Московская область,
Россия

Рассмотрена оригинальная архитектура и схемотехника прецизионного ViJFet операционного усилителя (ОУ), обеспечивающего систематическую составляющую напряжения смещения нуля не более 8 мкВ в диапазоне температур $-197 \div +27^{\circ}\text{C}$, при потоке нейтронов до 10^{17} н/м² и накопленной дозе радиации до 10 кГр. Схема ОУ имеет высокую симметрию входных цепей, а также три высокоимпедансных узла, что позволяет получить разомкнутый коэффициент усиления более 80дБ. Обоснован выбор САПР и SPICE-моделей транзисторов базового матричного кристалла АБМК 1.3, которые использовались для исследования характеристик ОУ.

Ключевые слова: радиационная стойкость, криогенная температура, схемотехническое моделирование, SPICE-модели, аналоговые микросхемы, датчики, аналоговые интерфейсы, напряжение смещения нуля, поток нейтронов, накопленная доза радиации.

Поступила в редакцию: 25.02.2017

ВВЕДЕНИЕ

Радиационно-стойкие интегральные схемы (ИС) находят применение в наукоемких областях техники, в том числе, ядерной электронике, космической аппаратуре, научном приборостроении, криогенных измерительных и медицинских приборах [1–4].

Для ряда задач физики высоких энергий и космического приборостроения необходимо иметь аналоговые ИС [5–10], сохраняющие работоспособность при одновременном воздействии низких температур и проникающей радиации (ПР) [11]. Значительную роль в обеспечении такого сочетания качественных показателей отводится выбору технологического процесса, а также оригинальных схемотехнических решений, обеспечивающих минимизацию чувствительности основных параметров микросхем к воздействию дестабилизирующих факторов.

Сегодня разработка радиационно-стойких низкотемпературных микросхем значительно затруднена. Это связано с тем, что типовые САПР и многие модели интегральных элементов не обеспечивают адекватные результаты схемотехнического моделирования в данных жестких условиях эксплуатации. Для выбранного ViJFet технологического процесса [12–14] эта задача решена в работе [15], что позволяет

¹ Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 16-19-00122).

обеспечить моделирование предлагаемого в статье ViJFet ОУ.

Целью настоящей статьи является рассмотрение схемотехники и результатов компьютерного моделирования (при одновременном воздействии низких температур и проникающей радиации) одного из базовых функциональных узлов аналоговых интерфейсов датчиков – прецизионного операционного усилителя (ОУ), реализованного на основе радиационно-стойкого ViJFet технологического процесса.

ОСОБЕННОСТИ PSpice МОДЕЛИРОВАНИЯ ViJFet ОУ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР И ПРОНИКАЮЩЕЙ РАДИАЦИИ

При схемотехническом моделировании ИС применяют разнообразные коммерческие САПР со встроенными моделями биполярного транзистора (БТ) и SPICE- параметрами, содержащимися в фирменных библиотеках предприятий изготовителей полупроводниковых приборов и ИС [16]. Обычно это модели Гуммеля-Пуна и Шихмана–Ходжеса (для полевых транзисторов с управляющим р-п-переходом, р-ПТП).

Однако, не все коммерческие САПР и фирменные библиотеки SPICE-параметров моделей транзисторов пригодны для схемотехнического моделирования влияния ПР и криогенной температуры на параметры аналоговых ИС.

Моделирование при низких температурах вольтамперных характеристик (ВАХ) типовых БТ в различных схемотехнических САПР (OrCAD 16.6, HSPICE, LTSpice) позволило установить, что в OrCAD, HSPICE наблюдаются «выбросы» и отклонения ВАХ при моделировании БТ при температурах менее -148°C [15]. Наряду с этим в LTSpice такое моделирование может быть проведено при условии настройки модели и определения ее температурных параметров в нужном диапазоне. Таким образом, в LTSpice может проводиться моделирование характеристик БТ и р-ПТП с учетом влияния ПР и криогенных температур.

Как показано в работе [15], для одновременного учета влияния радиации и низких температур на биполярные и полевые транзисторы в структуре ViJFet базовых матричных кристаллов [17] и микронизированных изделий [10, 12, 13] на их основе целесообразно применение:

- САПР LTSpice,
- встроенных в LTSpice типовых моделей Гуммеля-Пуна и Шихмана–Ходжеса,
- математических выражений, устанавливающих взаимосвязь параметров моделей, полупроводника и радиационного облучения,
- усредненных температурных коэффициентов параметров моделей,
- математических выражений, описывающих зависимость скорости поверхностной рекомбинации от поглощенной дозы облучения и немонотонное изменение параметра $\beta_{\text{ЭТ}}$ ПТП в диапазоне температур от -197°C до 27°C .

Апробация предложенных в [12] моделей выявила удовлетворительное совпадение результатов измерений и моделирования ВАХ БТ и р-ПТП до и после воздействия гамма-излучения, а также потока «быстрых» электронов [18].

VIJFET ОПЕРАЦИОННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ НА ОСНОВЕ ВХОДНОГО КАСКАДА БЕЗ КЛАССИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ОПОРНОГО ТОКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЕГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

При проектировании аналоговых микросхем в рамках конкретного технологического процесса значительная роль отводится использованию удачных схемотехнических решений, позволяющих иногда улучшить важнейшие качественные

показатели ИС в 5–10 раз.

Рассмотрим особенности проектирования низкотемпературных, радиационно-стойких BiJFet аналоговых компонентов на примере операционного усилителя рис. 1. Данная схема представляет собой модифицированный ОУ по патенту [19].

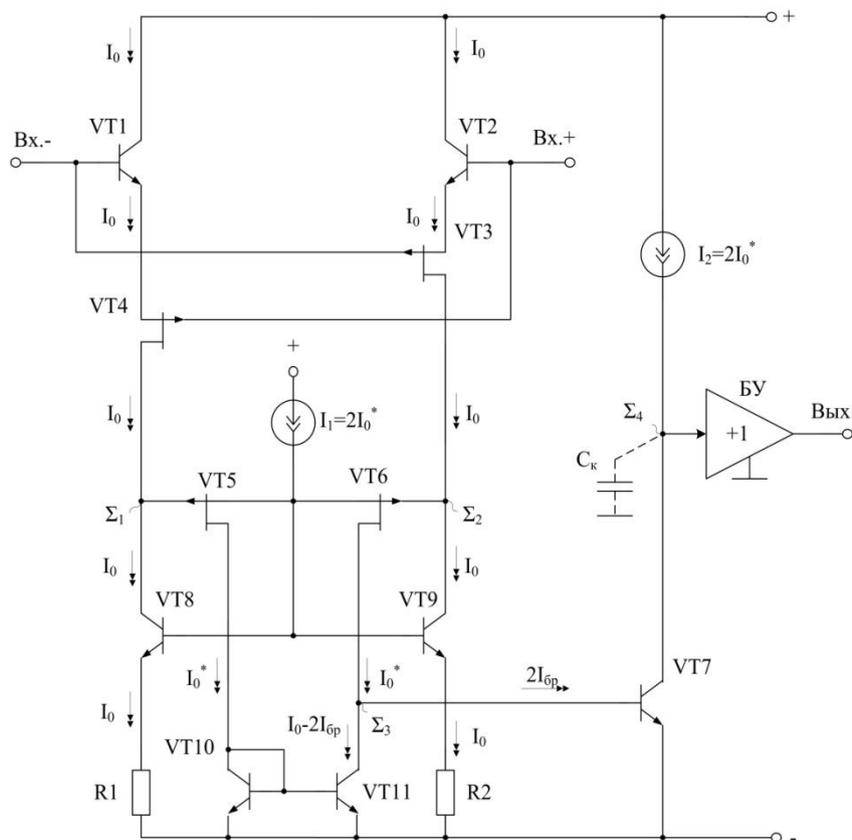


Рис. 1. – Электрическая принципиальная схема BiJFet ОУ с повышенным коэффициентом усиления

Операционный усилитель рис. 1 содержит нетрадиционный входной каскад на транзисторах VT1-VT4, рассмотренный в работах [20–21], имеющий симметричный дифференциальный выход в узлах. Это позволяет уменьшить влияние выходной подсхемы ОУ на нулевой уровень ОУ. Промежуточный дифференциальный усилитель реализован на полевых транзисторах VT5, VT6 с активной нагрузкой VT10, VT11. Выходная подсхема, обеспечивающая дополнительное усиление, выполнена на каскаде с общим эмиттером (VT7) и буферном усилителе (БУ).

В схеме рис. 1 созданы специальные условия для взаимной компенсации [22] существенной радиационной и низкотемпературной деградации коэффициентов усиления по току базы (β) транзисторов VT10, VT11, VT7, которые уменьшаются в десятки раз. Так для узла Σ_3 справедливо следующее уравнение Кирхгофа:

$$I_{c6} = I_{k11} + I_{б7}, \quad (1)$$

где $I_{c6} = I_0^*$ – ток стока VT6, I_{k11} – ток коллектора VT11, $I_{б7}$ – ток базы VT7, I_0^* – половина тока двухполюсника П.

Причем

$$I_{k11} = I_0^* - 2I_{бp}, \quad (2)$$

$$I_{б7} = 2I_{бp} = I_{к7} / \beta_7, \quad (3)$$

Из уравнений (1)-(3) следует, что в рассматриваемой схеме ОУ обеспечивается

взаимная компенсация всех составляющих токов в узле Σ_3 . Это является необходимым условием минимизации влияния деградации β транзисторов VT10, VT11 и VT7 на нулевой уровень ОУ (систематическую составляющую напряжения смещения нуля).

Следует заметить, что при других вариантах построения активной нагрузки и выходной подсистемы ОУ эффект взаимной компенсации токов в узле Σ_3 не сохраняется. Как следствие напряжение смещения нуля такого ОУ существенно увеличивается при дестабилизирующих факторах.

Операционный усилитель (рис. 1) имеет 4 высокоимпедансных узла ($\Sigma_1, \Sigma_2, \Sigma_3, \Sigma_4$), что обеспечивает повышенное значение коэффициента усиления по напряжению. При этом, входной каскад ОУ не содержит классических источников опорного тока, а его статический режим устанавливается за счет выбора геометрии полевых транзисторов VT4, VT3.

Компьютерное моделирование основных параметров ОУ рисунка 1, осуществлялось в среде LTSpice на моделях ViJFet транзисторов [15], учитывающих радиационную и низкотемпературную зависимость их параметров.

Графики рисунка 2 характеризуют зависимость систематической составляющей напряжения смещения нуля ОУ от температуры (диапазон от -197°C до 27°C), а графики рисунка 3 и рисунка 4 – от потока нейтронов и накопленной дозы радиации.

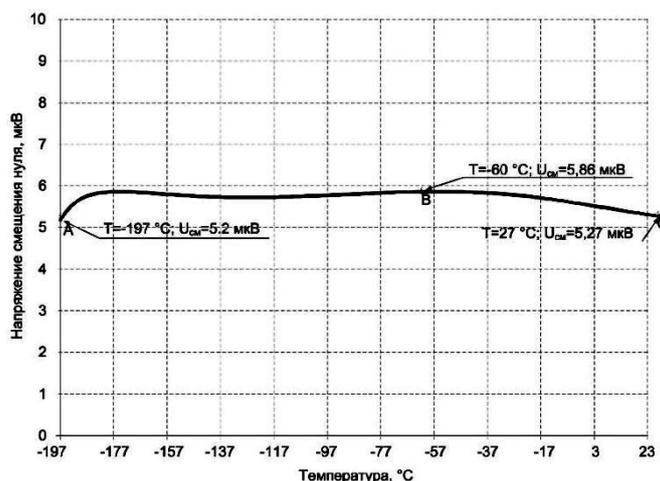


Рис. 2. – Зависимость систематической составляющей напряжения смещения нуля ОУ от температуры (диапазон от -197°C до 27°C)

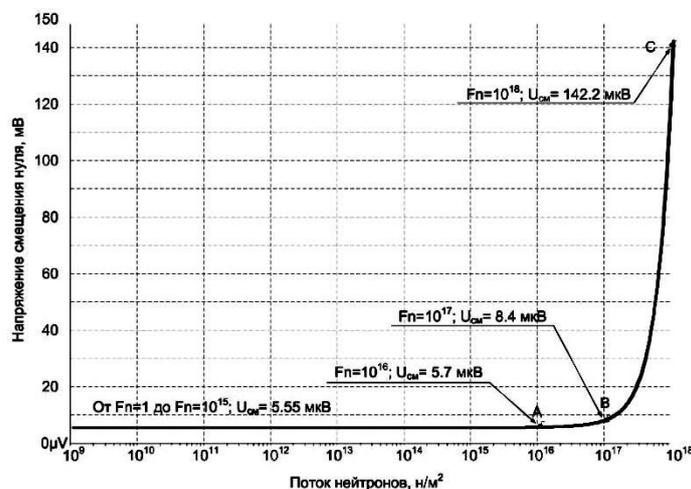


Рис. 3. – Зависимость систематической составляющей напряжения смещения нуля ОУ от потока нейтронов

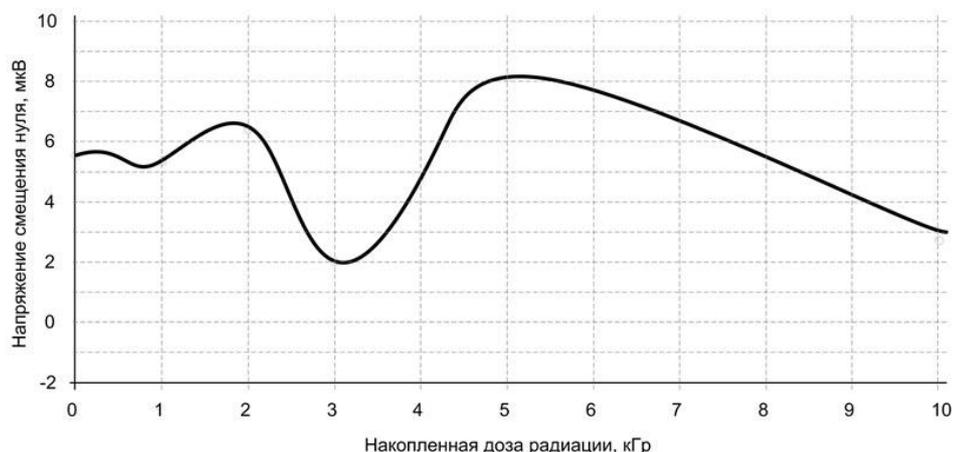


Рис. 4. – Зависимость систематической составляющей напряжения смещения нуля ОУ от накопленной дозы радиации

Амплитудно-частотная характеристика разомкнутого ОУ (рис. 5) в диапазоне температур от -197°C до 27°C и радиационных воздействий изменялась не более чем на 1дБ. Это обусловлено эффектами взаимной компенсации основных факторов, влияющих на коэффициент усиления рассматриваемой схемы ОУ.

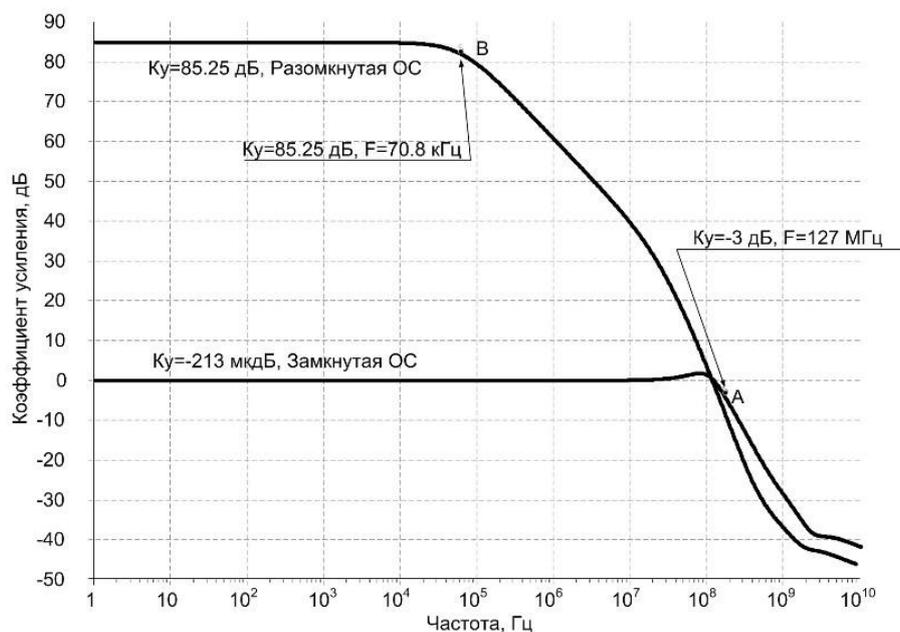


Рис. 5. – Амплитудно-частотные характеристики коэффициентов усиления ОУ в диапазоне температур от -197°C до 27°C

ВЫВОДЫ

Рассмотренные особенности проектирования операционных усилителей для аналоговых интерфейсов датчиков, работающих в условиях воздействия радиации и низких температур, показывают, что на основе BiJFet кремниевой технологии [23] возможно создание перспективных микроэлектронных изделий, успешно конкурирующих по ряду параметров с микросхемами на широкозонных полупроводниках.

Разработанный BiJFet ОУ обеспечивает систематическую составляющую напряжения смещения нуля не более 8 мкВ в диапазоне температур $-197 \div +27\text{C}$ при потоке нейтронов до 10^{17} н/м^2 и накопленной дозе радиации до 10 кГр.

В указанном диапазоне внешних воздействий амплитудно-частотная характеристика ОУ (при разомкнутом коэффициенте усиления более 80дБ) изменяется не более чем на 1дБ.

Для исследования характеристик ОУ использовалась САПР LTSpice и Spice-модели транзисторов базового матричного кристалла АБМК 1.3 [17], учитывающие радиационные и низкотемпературные изменения их параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дворников, О.В. и др.* Особенности аналоговых интерфейсов датчиков. Часть 1. [Текст] / О.В. Дворников, В. Чеховский, В. Дятлов, Н. Прокопенко // Современная электроника. – 2013. – №2. – С. 44–49.
2. *Дворников, О.В. и др.* Радиационно-стойкие аналоговые интегральные схемы [Текст] / О.В. Дворников, В.А. Чеховский, В.Л. Дятлов, Ю.В. Богатырев, С.Б. Ластовский // Проблемы разработки перспективных микро- и нанoeлектронных систем (2012). Сб. трудов; под общ. ред. академика РАН А.Л. Стемпковского. – М.: ИППМ РАН, 2012. – С. 280–283.
3. Dvornikov O.V., Tchekhovski V.A., Diatlov V.L., Prokopenko N.N. Influence of Ionizing Radiation on the Parameters of an Operational Amplifier Based on Complementary Bipolar Transistors. Russian Microelectronics, 2016, Vol. 45, No. 1, pp. 54–62. DOI: 10.1134/S10 63739716010030.
4. *Прокопенко, Н.Н. и др.* Многоканальный радиационно-стойкий инструментальный усилитель для датчиковых систем и аналоговых интерфейсов ответственного применения [Текст] / Н.Н. Прокопенко, Н.В. Бутырлагин, А.В. Бугакова, А.А. Игнашин // Глобальная ядерная безопасность. – 2016. – №1(18). – С. 76–86.
5. *Дворников, О.В. и др.* Средства регистрации импульсного видимого излучения малой интенсивности. Часть 1. Особенности и возможности многоканальных фотоприемников с внутренним усилением [Текст] / О.В. Дворников, В.А. Чеховский, В.Л. Дятлов // Приборы и методы измерений. – 2012. – №2(5). – С. 5–13.
6. *Дворников, О.В. и др.* Изменение параметров комплементарных биполярных транзисторов при воздействии ионизирующих излучений [Текст] / О.В. Дворников, В.А. Чеховский, В.Л. Дятлов, Ю.В. Богатырев, С.Б. Ластовский // Вопросы атомной науки и техники “ВАНТ”, 2015. – С. 17–22.
7. *Дворников, О.В. и др.* Модуль на малошумящих полевых транзисторах для обработки сигналов лавинных фотодиодов [Текст] / О. Дворников, В. Чеховский, В. Дятлов, Н. Прокопенко // Современная электроника. – 2014. – №8. – С. 82–87.
8. Ardelean J., Citterio M., Hrisoho A., Manfredi P.F, Speziali V., Truong K. On the noise behaviour of DMILL charge and current-sensitive preamplifier architectures. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 1998, Vol. A406, pp. 127–138.
9. *Дворников, О.В. и др.* Перспективы применения новых микросхем базового матричного и базового структурного кристаллов в датчиковых системах [Текст] / О.В. Дворников, Н.Н. Прокопенко, Н.В. Бутырлагин, А.В. Бугакова // Труды СПИИРАН–2016. Вып. 2 (45). С. 157–171. DOI: <http://dx.doi.org/10.15622/sp.45.10>
10. *Дворников, О.В. и др.* Проектирование радиационно-стойких аналоговых процессоров и преобразователей сигналов датчиков на основе базового структурного кристалла МН2ХА010 [Текст] / О.В. Дворников, Н.Н. Прокопенко, И.В. Пахомов, Н.В. Бутырлагин, А.В. Бугакова. – М.: Радиотехника, 2016, №2, С. 108–115.
11. Dvornikov O.V., Prokopenko N.N., Pakhomov I.V., Bugakova A.V. The Analog Array Chip AC-1.3 for the Tasks of Tool Engineering in Conditions of Cryogenic Temperature, Neutron Flux and Cumulative Radiation Dose Effects. IEEE EWDTs, 2016, Yerevan, October, 14-17, 2016, pp. 282–285, DOI: 10.1109/EWDTs.2016.7807724
12. Dvornikov O.V., Tchekhovski V.A., Prokopenko N.N., Bugakova A.V. The Design of the Circuits of Radiation-Hardened Charge-Sensitive Amplifiers Based on the Structured Array (МН2ХА010) and Array Chip (AC-2.1). 2016 13th International Scientific-Technical Conference on Actual problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE). In 12 Volumes. Vol. 1, Part 1, Novosibirsk, 2016. pp. 253–258, DOI: 10.1109/APEIE.2016.7802268
13. Dvornikov O.V., Bozhatkin O.A., Prokopenko N.N., Bugakova A.B., Butyrlagin N.V. Operation-routing sequence of production of the radiation-hardened microcircuits of the structured array

- MH2XA010 for multichannel sensor systems. 2016 International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering (APEDE-2016), September 22–23, 2016, Saratov, Russia.
14. Starchenko E.I., Prokopenko N.N., Budyakov P.S. The Radiation-Hardened Voltage References On Bipolar and JFET Transistors. Proceedings of the 8th IEEE GCC Conference and Exhibition, Muscat, Oman, 1–4 February, 2015, pp. 1–4. DOI: 10.1109/IEEEGCC.2015.7060065
 15. Dvornikov O.V., Dziatlau V.L., Prokopenko N.N., Petrosiants K.O., Kozhukhov N.V., Tchekhovski V.A. The Accounting of the Simultaneous Exposure of the Low Temperatures and the Penetrating Radiation at the Circuit Simulation of the BiJFET Analog Interfaces of the Sensors. Sibcon 2017, Astana, Kazakhstan.
 16. Дворников, О.В. и др. Комплексный подход к проектированию радиационноустойчивых аналоговых микросхем. Часть 1. Учет влияния проникающей радиации в “Spice-подобных” программах [Текст] / О.В. Дворников, В.Н. Гришков // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем – 2010. Сборник трудов IV Всероссийской научнотехнической конференции / под общ. ред. академика РАН А.Л. Стемпковского. – М.: ИПИМ РАН, 2010. С. 301–306.
 17. Dvornikov O.V., Prokopenko N.N., Butyrlagin N.V., Pakhomov I.V. The Differential and Differential Difference operational amplifiers of sensor systems based on bipolar- field technological process AGAMC. International Siberian Conference on Control and Communications, Moscow, SIBCON-2016, Russia, 12–14 May, 2016.
 18. Дворников, О.В. Влияние быстрых электронов на аналоговые интегральные элементы и схемы [Текст] / О.В. Дворников, В.А. Чеховский, В.Л. Дятлов, Ю.В. Богатырев, С.Б. Ластовский // Вопросы атомной науки и техники. Серия: физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. – 2012. – Выпуск 3. – С. 54–59.
 19. Дворников О.В., Бугакова А.В., Бутырлагин Н.В., Прокопенко Н.Н. Патент РФ №2014147805/08, 26.11.2014 Прецизионный операционный усилитель на основе радиационно устойчивого биполярно-полевого технологического процесса. Патент России № 2568384.
 20. Prokopenko N.N., Dvornikov O.V., Butyrlagin N.V., Bugakova A.V. The Radiation-Hardened BiJfet Differential Amplifiers with Negative Current Feedback on the Common-Mode Signal. 2016 13th International conference on actual problems of electronic instrument engineering (APEIE – 2016). Novosibirsk, October 3–6, 2016. In 12 Vol. Vol. 1, Part 1, pp. 104–108. DOI: 10.1109/APEIE.2016.7802224.
 21. Prokopenko N.N., Dvornikov O.V., Pakhomov I.V., Butyrlagin N.V. The Radiation-Hardened Differential Stages and Op Amps without Classical Reference Current Source. 2015 Conference on Radiation Effects on Components and Systems (RADECS), September 14th– 18th, 2015, Moscow, Russia. DOI: 10.1109/RADECS.2015.7365681.
 22. Prokopenko N.N., Bugakova A.V. and Pakhomov I.V. The radiation-hardened differential difference operational amplifiers for operation in the low-temperature analog interfaces of sensors. 2016 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), Yerevan, 2016, pp. 1–4, DOI: 10.1109/EWDTS.2016.7807727.
 23. Dvornikov O.V., Prokopenko N.N., Bugakova A.V., Ignashin A.A. The Radiation-Hardened Microcircuits of the Multichannel Op Amps with Current Feedback and the Analog Interfaces Based on the Structured Array MH2XA010. Proceedings of 2016 International Siberian Conference On Control And Communications (SIBCON'2016), Russia Moscow MAY 12–14, 2016, DOI: 10.1109/SIBCON.2016.7491790.

REFERENCES

- [1] Dvornikov O., Chehovskij V., Dyatlov V., Prokopenko N. Osobennosti analogovykh interfeysov datchikov. Chast 1 [Features analog sensor interfaces. Part 1]. Sovremennaja jelektronika [Modern Electronics]. 2013. Vol. 2. pp. 44-49. (in Russian)
- [2] Dvornikov O.V., Tchekhovski V.A., Diatlov V.L., Bogatyrev Yu.V., Lastovski S.B. Radiatsionno-ustoykie analogovye integralnye skhemy [Radiation hardened analog IC]. Problems of Perspective Micro- and Nanoelectronic Systems Development – 2012. Proceedings, Edited by A. Stempkovsky, M. Pub. IPPM RAS, 2012, pp. 280–283. (in Russian).
- [3] Dvornikov O.V., Tchekhovski V.A., Diatlov V.L., Prokopenko N.N. Influence of Ionizing Radiation on the Parameters of an Operational Amplifier Based on Complementary Bipolar Transistors. Russian Microelectronics, 2016, Vol. 45, No. 1, pp. 54–62. DOI: 10.1134/S1063739716010030. (in Russian).
- [4] Prokopenko N.N., Butyrlagin N.V., Bugakova A.V., Ignashin A.A. Mnogokanalnyj radiacionno-ustojkij instrumentalnyj usilitel dlya datchikovykh sistem i analogovykh interfeysov otvetstvennogo

- primeneniya [Multichannel Radiation-Hardened Instrumentation Amplifier for Sensor Systems and Analog Interfaces of Demanding Application]. *Globalnaya yadernaya bezopasnost* [Global Nuclear Safety], 2016, №1(18), ISSN 2305-414X, eISSN 2499-9733, pp. 76–86 (in Russian)
- [5] Dvornikov O.V., Chehovskij V.A., Djatlov V.L., Bogatyrev Ju.V., Lastovskij S.B. Izmenenie parametrov komplementarnykh bipolyarnykh tranzistorov pri vozdeystvii ioniziruyushchikh izlucheniy [Changing the complementary bipolar transistors when exposed to ionizing radiation]. *Voprosy atomnoj nauki i tehniki "VANT"* [Problems of Atomic Science and Technology "PAST"], 2015, pp. 17-22. (in Russian).
- [6] Dvornikov O.V., Tchekhovski V.A., Diatlov V.L. Equipments to Single Photon Registration. Part 1. Features and Possibilities of Multi-Channel Photodetectors with Intrinsic Amplification. (Review). *Devices and Methods of Measurements*, 2012, №2, pp. 5–14. (in Russian).
- [7] Dvornikov O.V., Tchekhovski V.A., Diatlov V.L., Prokopenko N.N. Modul na maloshumyashchikh polevykh tranzistorakh dlya obrabotki signalov lavinnykh fotodiodov [Low noise electronics module for avalanche photodiode signal readout]. *Sovremennaja jelektronika* [Modern Electronics], 2014, №8, pp. 82–87. (in Russian).
- [8] Ardelean J., Citterio M., Hrisoho A., Manfredi P.F., Speziali V., Truong K. On the noise behaviour of DMILL charge and current-sensitive preamplifier architectures. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, 1998, Vol. A406, pp. 127–138. (in English)
- [9] Dvornikov O.V., Prokopenko N.N., Butyrlagin N.V., Bugakova A.V. Perspektivy primeneniya novykh mikroskhem bazovogo matrichnogo i bazovogo strukturnogo kristallov v datchikovykh sistemakh [Perspectives of application of new chips of analog master slice array (AGAMC-2.1) and configurable structured array (MH2XA010) of crystals (JSC MNIPI, Minsk) in the radiation-hardened sensor systems of robots and analog processors]. *SPIIRAS Proceedings*, 2016, Issue 2(45), pp. 157–171, DOI: <http://dx.doi.org/10.15622/sp.45.10> (in Russian).
- [10] Dvornikov O.V., Prokopenko N.N., Pakhomov I.V., Butyrlagin N.V., Bugakova A.V. Proektirovanie radiacionno-stojkikh analogovykh processorov i preobrazovatelej signalov datchikov na osnove bazovogo strukturnogo kristalla MH2XA010 [Design of the radiation-hardened analog processors and signal converters of the sensors systems based on basic structural crystal MH2XA010]. *M. Pub. Radiotekhnika* [Radiotechnics], 2016, №2, pp. 107–113. (in Russian).
- [11] Dvornikov O.V., Prokopenko N.N., Pakhomov I.V., Bugakova A.V. The Analog Array Chip AC-1.3 for the Tasks of Tool Engineering in Conditions of Cryogenic Temperature, Neutron Flux and Cumulative Radiation Dose Effects. *IEEE EWDTs*, 2016, Yerevan, October, 14-17, 2016, pp. 282-285, DOI: 10.1109/EWDTs.2016.7807724 (in English)
- [12] Dvornikov O.V., Tchekhovski V.A., Prokopenko N.N., Bugakova A.V. The Design of the Circuits of Radiation-Hardened Charge-Sensitive Amplifiers Based on the Structured Array (MH2XA010) and Array Chip (AC-2.1). 2016 13th International Scientific-Technical Conference on Actual problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE). In 12 Volumes. Vol. 1, Part 1, Novosibirsk, 2016. pp. 253–258, DOI: 10.1109/APEIE.2016.7802268 (in English)
- [13] Dvornikov O.V., Bozhatkin O.A., Prokopenko N.N., Bugakova A.B., Butyrlagin N.V. Operation-routing sequence of production of the radiation-hardened microcircuits of the structured array MH2XA010 for multichannel sensor systems. 2016 International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering (APEDE-2016), September 22–23, 2016, Saratov, Russia. (in English)
- [14] Starchenko E.I., Prokopenko N.N., Budyakov P.S. The Radiation-Hardened Voltage References On Bipolar and JFET Transistors. *Proceedings of the 8th IEEE GCC Conference and Exhibition*, Muscat, Oman, 1–4 February, 2015, pp. 1–4. DOI: 10.1109/IEEEGCC.2015.7060065 (in English)
- [15] Dvornikov O.V., Dziatlau V.L., Prokopenko N.N., Petrosiants K.O., Kozhukhov N.V., Tchekhovski V.A. The Accounting of the Simultaneous Exposure of the Low Temperatures and the Penetrating Radiation at the Circuit Simulation of the BiJFET Analog Interfaces of the Sensors. *Sibcon 2017*, Astana, Kazakhstan. (in English)
- [16] Dvornikov O.V., Grishkov V.N. Kompleksnyj podkhod k proektirovaniyu radiacionnostojkikh analogovykh mikroskhem [Radiation hardened analog IC design]. Part 1. Uchet vlijanija pronikajushhej radiacii v "Spice-podobnykh" programmakh [Radiation effects simulation in the "Spice-like" programs]. *Problemy razrabotki perspektivnykh mikro- i nanoelektronnykh sistem – 2010. Sbornik trudov IV Vserossijskoj nauchno-tekhnikheskoj konferencii* [Problems of Perspective Micro- and Nanoelectronic Systems Development – 2010]. *Proceedings / edited by A. Stempkovsky, M. Pub. IPPM RAS*, 2010. pp. 301–306. (in Russian).
- [17] Dvornikov O.V., Prokopenko N.N., Butyrlagin N.V., Pakhomov I.V. The Differential and Differential Difference operational amplifiers of sensor systems based on bipolar- field technological process AGAMC. *International Siberian Conference on Control and Communications*,

- Moscow, SIBCON-2016, Russia, 12–14 May, 2016. (in English)
- [18] Dvornikov O.V., Chehovskij V.A., Djatlov V.L., Bogatyrev Ju.V., Lastovskij S.B. Vliyanie bystrykh elektronov na analogovye integralnye elementy i skhemy [Effect of fast electrons in the analog integrated circuit and elements]. *Voprosy atom-noj nauki i tehniki. Serija: fizika radiacionnogo vozdejstviya na radioelektronnuju apparaturu* [Issues of atomic science and technology. Series: Physics of radiation effects on electronic equipment], 2012, Vol. 3, pp. 54–59. (in Russian)
- [19] Dvornikov O.V., Bugakova A.V., Butyrlagin N.V., Prokopenko N.N. Patent RF №2014147805/08, 26.11.2014 Precizionnyj operacionnyj usilitel' na osnove radiacionno stojkogo bipoljarno-polevogo tekhnologicheskogo processa. Patent Rossii № 2568384 [Patent RF №2014147805/08, 26.11.2014 Precision operational amplifier based on radiation-hardened bipolar-field process. Patent of Russia № 2568384]. (in Russian)
- [20] Prokopenko N.N., Dvornikov O.V., Butyrlagin N.V., Bugakova A.V. The Radiation-Hardened BiJFet Differential Amplifiers with Negative Current Feedback on the Common-Mode Signal. 2016 13th International conference on actual problems of electronic instrument engineering (APEIE – 2016). Novosibirsk, October 3–6, 2016. In 12 Vol. Vol. 1, Part 1, pp. 104–108, DOI: 10.1109/APEIE.2016.7802224 (in English)
- [21] Prokopenko N.N., Dvornikov O.V., Pakhomov I.V., Butyrlagin N.V. The Radiation-Hardened Differential Stages and Op Amps without Classical Reference Current Source. 2015 Conference on Radiation Effects on Components and Systems (RADECS), September 14th– 18th, 2015, Moscow, Russia. DOI: 10.1109/RADECS.2015.7365681 (in English)
- [22] Prokopenko N.N., Bugakova A.V. and Pakhomov I.V. The radiation-hardened differential difference operational amplifiers for operation in the low-temperature analog interfaces of sensors. 2016 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTs), Yerevan, 2016, pp. 1–4, DOI: 10.1109/EWDTs.2016.7807727 (in English)
- [23] Dvornikov O.V., Prokopenko N.N., Bugakova A.V., Ignashin A.A. The Radiation-Hardened Microcircuits of the Multichannel Op Amps with Current Feedback and the Analog Interfaces Based on the Structured Array MH2XA010. Proceedings of 2016 International Siberian Conference On Control And Communications (SIBCON'2016), Russia Moscow MAY 12–14, 2016, DOI: 10.1109/SIBCON.2016.7491790 (in English)

Precision Radiation-Hardened BiJFet OP AMP for Low-temperature Analog Interfaces Sensors²

O.V. Dvornikov^{*1}, N.N. Prokopenko^{**2,***2}, I.V. Pakhomov^{***3}, A.A. Ignashin^{***4},
A.V. Bugakova^{***5}

** Plc., “Minsk Research Instrument-Making Institute”
Kolasa st., 73, Minsk, Belarus, 220113
¹ e-mail: Oleg_dvornikov@tut.by
ORCID iD: 0000-0001-6450-9090
Scopus Author ID: 6602465259
WoS ResearcherID: I-7207-2013*

*** Don State Technical University
Gagarina sq. 1, Rostov-on-Don, Russia, 344000
² e-mail: prokopenko@sssu.ru
ORCID iD: 0000-0001-8291-1753
Scopus Author ID: 25227786700
WoS ResearcherID: I-6599-2013;
³ e-mail: ilyavpakhomov@sssu.ru
ORCID iD: 0000-0001-9861-7153
Scopus Author ID: 56535229400
WoS ResearcherID: E-4208-2017
⁴ e-mail: igan_96@mail.ru
ORCID iD: 0000-0002-6390-4205*

² The article was prepared within the framework of the project No.16-19-00122 of the Russian Science Foundation for 2016-2018.

Scopus Author ID: 57190163883
WoS ResearcherID: E-1358-2017;
⁵ *e-mail: annabugakova.1992@mail.ru*
ORCID iD: 0000-0001-9255-0015
Scopus Author ID: 56543776600
WoS ResearcherID: E-6820-2014

**** Institute for Design Problems in Microelectronics of Russian Academy of Sciences (IPPM RAS)
Sovetskaya st. 3, Zelenograd, Russia, 124681*

Abstract – The original architecture and circuit design of the precision BiJFet operational amplifier (OA), which provides a systematic component of offset voltage no more than 8 μV in the temperature range $-197 \div + 27\text{C}$, with neutron flux up to 10^{17} N / m^2 and accumulated radiation dose up to 10 kGy, was considered. The OA circuit has a high symmetry of the input circuits, and three high-impedance nodes, this makes possible to obtain an open-loop gain more than 80 dB. The choice of CAD and SPICE-models of array chip AC 1.3 transistors, which used to research the characteristics of the op-amp, was substantiated.

Keywords: radiation hardness, cryogenic temperature, general-circuit simulation, SPICE-models, analog integrated circuit, sensors, analog interfaces, offset voltage, neutron flux, accumulated radiation dose.

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

УДК 621.791.75

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА ДУГОВОЙ
СВАРКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИНВЕРТОРНЫХ ИСТОЧНИКОВ
ПИТАНИЯ**

© 2017 А.В. Сас*, В.Н. Сорокин*, А.В. Чернов**

*Российский государственный университет (НИУ) нефти и газа имени И.М. Губкина, Москва, Россия

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

Для обеспечения стабильности процесса дуговой сварки в статье рассмотрено использование регулируемого кратковременного введения энергии за счет специальных функций инверторных источников. В работе показана возможность использования информационно-измерительной системы ИНЭМ для оценки параметров этих функций.

Ключевые слова: инверторный источник питания, короткая дуга, корень шва, горячий старт, антиприлипание, форсаж тока.

Поступила в редакцию: 20.02.2017

В настоящее время мы живем в мире технических инноваций, постоянно улучшающих не только сегодняшний технологический уклад, но и облегчающих решение многих актуальных задач. Например, при изготовлении крупногабаритных сварных изделий определенного типа. Выходные показатели их качества и эксплуатационная надежность во многом зависят от составных компонентов сварочного производства, к которым относят – свариваемые и сварочные материалы, технологические процессы сварки, персонал (сварщики и специалисты сварочного производства), а также оборудование.

Задача выбора и поддержания заданного режима сварки, обеспечивающих получение требуемого комплекса свойств сварных конструкций, не всегда имеет очевидное и однозначное решение [1]. Например, при сварке высокопрочных сталей с повышенными свойствами одновременно и по прочности и по пластичности. В данном случае особенность заключается в том, что оптимальные интервалы параметров режима более узкие, чем для обычных конструкционных сталей.

Специфика сварки, имеющая свои особенности и признаки, отличающие ее от других технологических видов производства, обусловлена протеканием при ее выполнении сложных взаимосвязанных нелинейных физико-химических и термомеханических процессов, а также ее зависимости от сопутствующих ей технологических операций. В соответствии с международным стандартом ISO 9000: 2005 (п. 3.4.1) сварка относится к специальным процессам, то есть качество конечной продукции не может быть гарантировано только проведением операционного контроля в процессе её изготовления и финишным тестированием (оценкой) для последующего допуска к эксплуатации.

Следовательно, для гарантированного обеспечения требуемого уровня

эксплуатационных параметров и безопасности сварной конструкции необходима оценка соответствия основных компонентов сварочного производства определенным требованиям технических регламентов и нормативной документации. Необходимо не только определить в состоянии ли предприятие (компания) на имеющихся мощностях выпускать сварочную продукцию, но и обеспечить выполнение данной оценки.

Одной из таких процедур является оценка соответствия выходных параметров современных сварочных источников питания (ИП) данным, приведенным в паспорте (формуляре), т.е. в основном обязательном документе, подтверждающем идентификацию ИП, изготовленного в соответствии с требованиями стандарта или технических условий.

В настоящей статье приведены отдельные результаты оценки функциональных характеристик (опций) инверторных ИП, обеспечивающих технологическую устойчивость дугового процесса. Вид, интенсивность и характер преобразования вводимой энергии – главное, что определяет назначение специальных опций ИП (горячий старт, форсаж, антиприлипание и проч.), позволяющих обеспечить стабильность данного технологического процесса. Именно энергия и способы ее преобразования (для тепловой активации соединяемых поверхностей) являются доминирующими факторами, определяющими характер процесса сварки как физико-химического явления [2].

В работе [3] было показано, что для гарантированного обеспечения требуемого качества процесса сварки при применении многофункциональных инверторных источников, необходимо наличие специального инструмента (аппаратуры) измерения и фиксации с заданной метрологической точностью текущих значений параметров режима, а также наличия и значений параметров специальных функций (дополнительных опций).

Таковыми инструментами являются регистраторы ИНЭМ (стационарные и переносные). С их помощью, с целью определения фактических параметров, в том числе показателей дополнительных опций, выполняются следующие тестовые испытания:

- *сдаточные* (приемные), изготовленных (поступивших) ИП;
- *контрольные* (регламентные), эксплуатируемых ИП;
- *внеплановые*, при наличии отказов ИП, которые проявились в результате сбоя во время их работы.

Здесь необходимо отметить, что нарушение параметров режима, связанное с параметрическими отклонениями ИП, во многих случаях гораздо опаснее по своим последствиям, чем отказ его функционирования (прекращение процесса сварки на какой-то временной период).

Результаты оценки соответствия параметров ИП приведены ниже.

Процесс получения сварных соединений подразделяют на следующие стадии: формирование корня шва, заполнение разделки и выполнение облицовочных проходов.

В качестве информационного дополнения рассмотрим некоторые специфические особенности выполнения корневого прохода. Вначале необходимо возбудить дугу, растянуть ее и некоторое время удерживать на одном месте для прогрева металла притупления стыка. Затем следует постепенно уменьшить дуговой промежуток до момента образования сварочной ванны необходимого размера и последующего поступательного перемещения электрода (проволоки) по стыку. Скорость перемещения при этом определяется по внешнему виду «ниточного» валика, т.е. характером его формирования в разделке.

На особенности сварки корневого прохода существенно влияет тип разделки стыка. При его формировании главной проблемой является обеспечение стабильности

проплавления в условиях переменного зазора между кромками или их смещения, а также других возмущений возникающих при сборке стыка и выполнении прохода.

При отклонении (длительном, кратковременном или периодическом) параметров режима от номинальных, происходит изменение топологии температурного поля в сварочной ванне, что может привести к появлению недопустимых (в той или иной степени) дефектов. Одним из технологических требований к зажиганию дуги и установлению процесса сварки является быстрое нарастание глубины проплавления в начале шва. В этом случае основным фактором является та часть электрической мощности дуги, которая расходуется на плавление электрода и основного металла конструкции.

Необходимо напомнить, что понятие «зажигание» дуги употребляется традиционно в узком и широком смысле этого слова [4]. В первом случае этот термин означает собственно первоначальное зажигание (возбуждение) дуги на начальной стадии процесса сварки. При этом тепловое воздействие на холодный металл сопровождается обрывами дуги. Во втором – обеспечение устойчивого дугового процесса при действии различных возмущений (нестабильности формы капли электродного металла, изменения ее положения на торце электрода, колебание сварочной ванны, падение напряжения на дуге, изменения вылета электрода и проч.). Например, при выполнении отдельных проходов в защитных газовых смесях в узкую (щелевую) разделку без предварительного подогрева, когда требуется осуществлять неоднократное возбуждение дуги при повышенном вылете низколегированных электродных проволок различного диаметра.

Однако во многих случаях необходимо иметь минимальную продолжительность поджига (зажигания) дуги. Поэтому современные инверторные ИП имеют специальную дополнительную функцию «горячий старт».

Горячий старт – это автоматическое кратковременное (2-5с) увеличение тока в момент начала сварки для легкого «поджига» дуги и гарантировано быстрого выхода на нужный уровень температуры металла, т.е. для начала и установления стабильного процесса сварки (рис. 1).

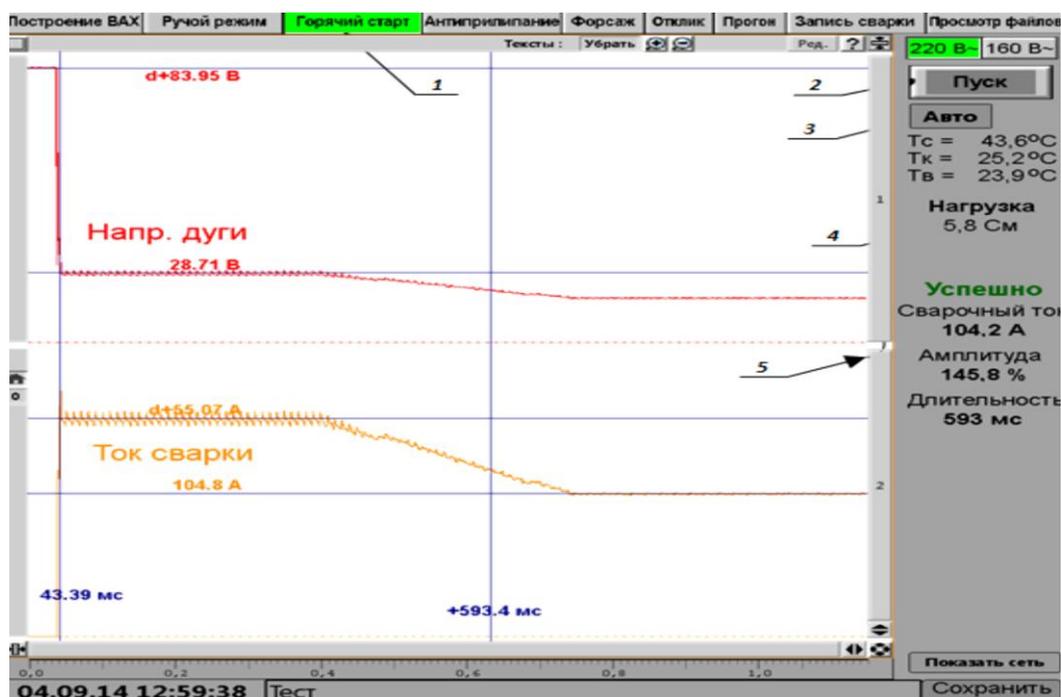


Рис. 1. – Определение параметров функции «Горячий старт»

Горячий старт при ручной дуговой сварке необходим для улучшения начального установления процесса, снижения вероятности возникновения «стартовых» дефектов и обеспечения кратковременного ускоренного плавления электрода независимо от квалификации сварщика, что обеспечивает повышение тепловой мощности дуги и кристаллизацию шва без каких-либо дефектов.

Если при данном способе сварки стабильность горения дуги в значительной степени зависит от квалификации сварщика, то при механизированной (с частыми периодическими замыканиями дугового промежутка) – в основном от свойств системы: «источник питания – привод подачи электродной проволоки – дуга». Но в обоих случаях нельзя гарантировать стабильность процесса.

Для обеспечения стабильности процесса сварки при дальнейшем заполнении разделки с учетом различных пространственных положений стыка часто используют опцию «Форсаж дуги» (рис. 2).

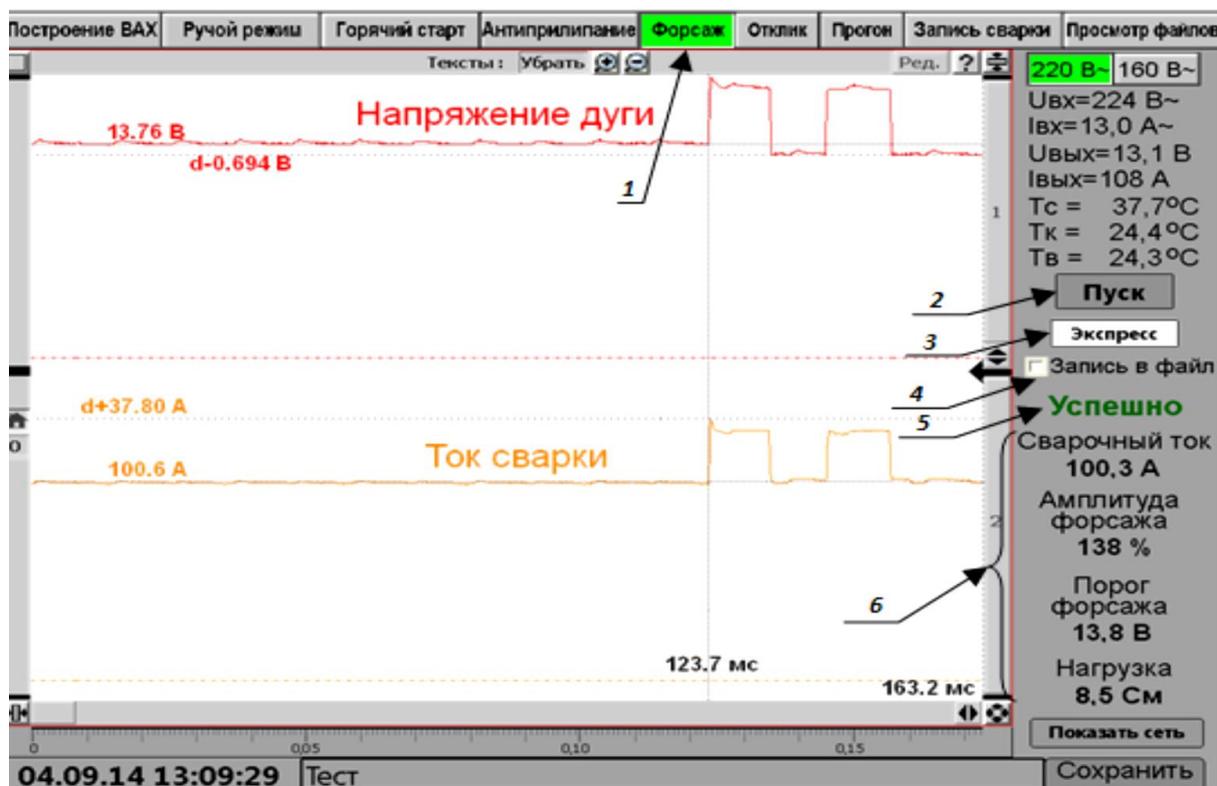


Рис. 2. – Определение параметров функции «Форсаж дуги»

Форсаж дуги – быстрое кратковременное повышение тока («наброс») в тот момент, когда напряжение на дуге становится меньше заданного (рабочего) порога, т.е. быстрый переход между разными рабочими режимами мощности в заданном температурном интервале. Наброс тока способствует отделению капли электродного металла, предотвращает прилипание электрода, при этом напряжение на дуге возвращается к рабочему. Время действия форсажа принимается в диапазоне 0,0 – 2,0 с (с шагом 0,1 с).

В процессе сварки короткой дугой при минимальных значениях сварочного тока происходит отделение капли металла от электрода. Короткая дуга обеспечивает самую низкую погонную энергию сварки, т.к. фаза горения дуги прерывается фазами короткого замыкания.

В инверторе с функцией форсаж, происходит автоматическое увеличение величины сварочного тока на очень короткий промежуток времени, что снижает

вероятность физического контакта электрода с поверхностью стыка в процессе прохода.

Данная функция так же позволяет менять такой параметр, как "жесткость" дуги. Этим можно добиться либо более "мягкой" дуги, которая обеспечит малое разбрызгивание при мелкокапельном переносе, либо, увеличив параметр форсирования, получить глубокое проплавление сварного шва.

Таким образом, регулируемая функция «Форсаж дуги» обеспечивает стабильность процесса горения.

Но здесь необходимо обратить внимание еще на один сопутствующий момент: при резком сокращении длины дуги электрод (проволока) может привариться (залипнуть) к поверхности металла. Дуга прерывается, процесс сварки нарушается.

В начале сварки, когда требуется зажечь дугу, или в процессе ее выполнения может происходить прилипание электрода к разделке стыка. В таком случае инвертор, оснащенный функцией антиприлипания, обеспечивает автоматическое снижение сварочного тока. После отрыва залипшего электрода, осуществляется возобновление установленных параметров режима (рис. 3).

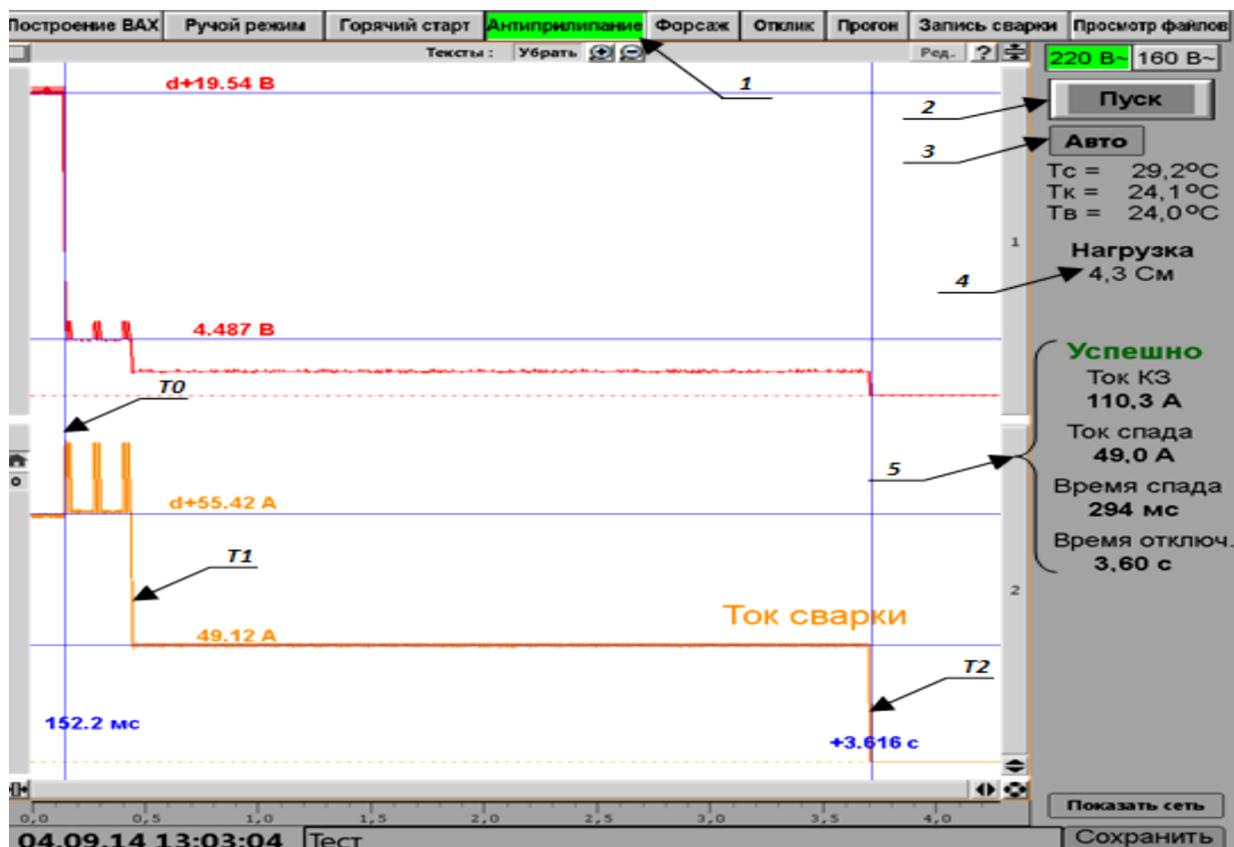


Рис 3. – Определение параметров функции «Антиприлипание»

Отрывание электрода и последующее возбуждение дуги или ее удлинение с целью предотвращения «примерзания» почти всегда сопровождается образованием дефектов в шве из-за ухудшения газовой защиты расплавленного металла. Особенно при сварке в монтажных условиях, когда наряду с обычными, назначают относительно малые сварочные токи. В этом случае для предотвращения данного явления необходимо обеспечить мелкокапельный перенос металла за счет уменьшения значений времени КЗ.

Таким образом, сочетание приведенных специальных опций позволяет повысить

устойчивость дуги (эластичность), динамику формирования сварочной ванны и качество сварных соединений, в том числе и при недостаточной квалификации сварщика (т.е. позволяет существенно снизить влияние субъективного человеческого фактора)[5].

Сварщик, как активное и главное звено выполнения процесса сварки и его контроля, является одной из основных причин образования дефектов в сварных соединениях. Но качество выполняемых им работ зависит не только от уровня его квалификации, но и от наличия в специализированных сварочных источниках питания дополнительных функций.

При этом необходимо учитывать, что по технологическому признаку можно выделить следующие группы электродов:

- для сварки корневого слоя шва стыков труб и листовых конструкций с постоянной линейной скоростью и гарантированным проплавлением;
- для сварки с дозированным тепловложением за счет исключения коротких замыканий капли с поверхностью (зеркалом) сварочной ванны;
- с повышенной скоростью плавления (с высоким коэффициентом наплавки).

Пример записи процесса сварки, выполненной рутиловым электродом, приведен на рис. 4.

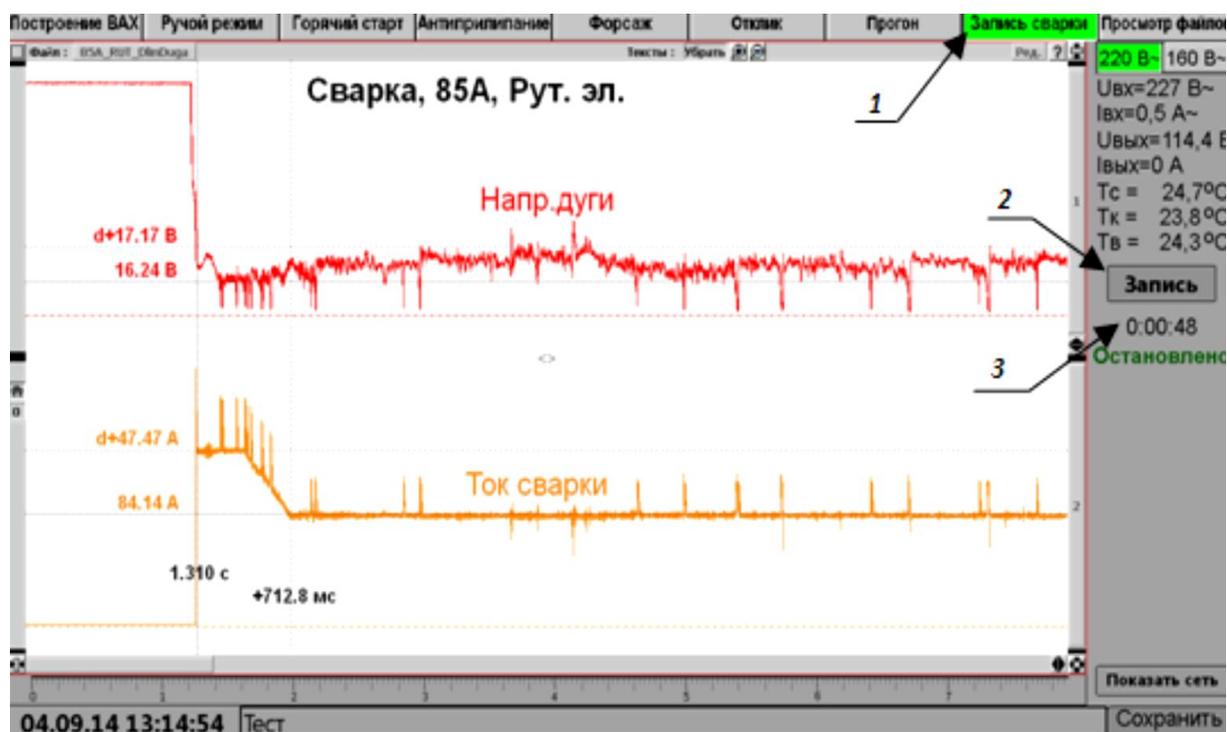


Рис. 4. – Запись сварочного процесса, выполненного электродом с рутиловым покрытием

Пример просмотра записанной осциллограммы процесса сварки выполненной электродом с основным покрытием, приведен на рис. 5.

Электроды с основным покрытием (В) характеризуются легким первичным и повторным возбуждением дуги. Но большинство таких электродов характеризуется крупнокапельным переносом металла, ухудшающим качество шва вследствие возможного их «примерзания» к поверхности свариваемого стыка.

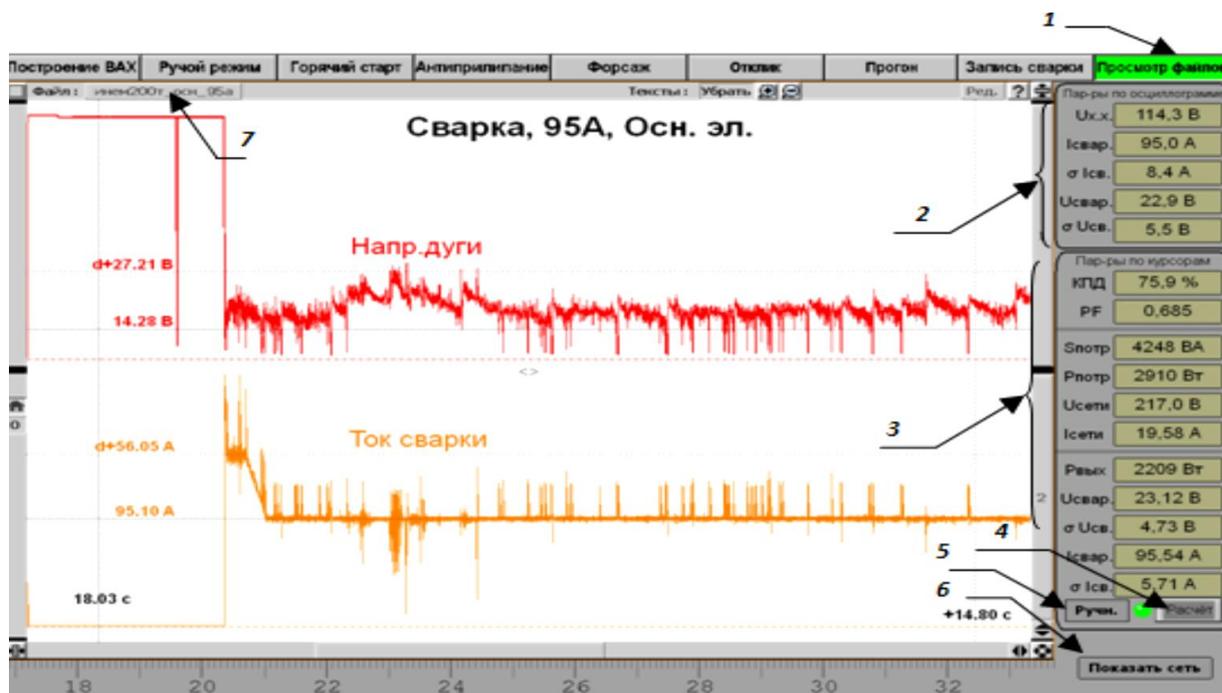


Рис 5. – Просмотр процесса сварки, выполненного электродом с основным покрытием

ВЫВОДЫ

1) Регулируемое кратковременное введение энергии за счет специальных функций способствует управляемому переносу электродного металла в сварочную ванну, стабилизации её параметров, а также может значительно снизить риски возникновения недопустимых дефектов в сварных соединениях, выполняемых сварщиками с недостаточной квалификацией.

2) Оценка специализированных источников питания на всех этапах производства сварных конструкций с применением информационно-измерительной системы ИНЭМ позволяет исключить использование установок необеспечивающих требуемую стабильность процесса сварки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гладков, Э.А. и др. Автоматизация сварочных процессов [Текст] / Э.А. Гладков, В.Н. Бродягин, Р.А. Перковский. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 421 с.: ил.
2. Лебедев В.А. и др. Алгоритм управления инверторными источниками сварочного тока для оптимизации параметров переноса электродного металла [Текст] / В.А. Лебедев, М.С. Сорокин, А.А. Белов // Сварочное производство. – 2013. – №12. – С. 3–8.
3. Сас, А.В. и др. Регистрация характеристик инверторных источников питания [Текст] / А.В. Сас, М.А. Островский // Глобальная ядерная безопасность. – 2016. – №2(19). – С. 29–32.
4. Сагиров, Х.Н. и др. Зажигание сварочной дуги [Текст] / Х.Н. Сагиров, Н.Г. Дюргеров, И.С. Морозкин. – Ростов-на Дону: Гефест, 1999. – 200 с.
5. Сас, А.В. и др. Основы создания системы эффективной подготовки высококвалифицированных операторов ручной дуговой сварки [Текст] / А.В. Сас, Б.П. Грузинцев // Сварочное производство. – 2013. – №12. – С. 47–49.

REFERENCES

- [1] Gladkov E.A., Brodiagin V.N., Perkovskii R.A. Avtomatizatsiia svarochnykh protsessov [Automation of welding processes]. M. Pub. Izdatelstvo MGTU im. N.E. Baumana [Bauman MSTU publishing house], 2014, ISBN 978-5-7038-3861-7, 421 p. (in Russian)

- [2] Lebedev V.A., Sorokin M.S., Belov A.A. Algoritm upravleniia invertornymi istochnikami svarchnogo toka dlia optimizatsii parametrov perenosa elektrodnoogo metalla [Control algorithm of inverter sources of welding current for parameter optimization of electrode metal transfer]. Svarchnoe proizvodstvo [Welding Fabrication], 2013, №12, ISSN 0491-6441, pp. 3–8. (in Russian)
- [3] Ostrovskii M.A. Registratsiia kharakteristik invertornykh istochnikov pitaniia [Registration of inverter power supply characteristics]. Globalnaia iadernaia bezopasnost [Global nuclear safety], 2016, №2(19), ISSN 2305-414X, eISSN 2499-9733, pp. 29–32. (in Russian)
- [4] Sagirov Kh.N., Diurgerov N.G., Morozkin I.S. Zazhiganie svarchnoi dugi [Ignition of a welding arch]. Rostov-on-Don. Pub. Gefest [Gefest], 1999, ISBN 5-87442-183-1, 200 p. (in Russian)
- [5] Sas A.V., Gruzintsev B.P. Osnovy sozdaniia sistemy effektivnoi podgotovki vysokokvalifitsirovannykh operatorov ruchnoi dugovoi svarki [Bases of effective training system creation of highly skilled operators of manual arc welding]. Svarchnoe proizvodstvo [Welding Fabrication], 2013, №12, ISSN 0491-6441, pp. 47–49. (in Russian)

Ensuring the Stability of Arc Welding Processes Using Inverter Power Source

A.V. Sas^{*1}, V.N. Sorokin^{*2}, A.V. Chernov^{**3}

** Gubkin Russian State University (NRU) of Oil and Gas,
65/1 Leninsky avenue. Moscow, Russia 119991*

e-mail: svarka@gubkin.ru

¹ORCID ID: 0000-0001-7894-8131

WoS Researcher ID: F-8402-2017;

²ORCID ID: 0000-0003-0237-6065

WoS Researcher ID: G-2086-2017

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

e-mail: AVChernov@mephi.ru

³ORCID ID: 0000-0002-6126-7724

WoS Researcher ID: G-3742-2017

Abstract – Article considers use of adjustable short-term introduction of energy due to special functions of inverter sources for ensuring stability of arc welding process. The possibility of use of the IECM information and measuring system for an assessment of parameters of these functions is shown.

Keywords: inverter power source, a short arc, weld root, hot start, anti-sticking, current forcing.

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

УДК 621.7(072)

РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ОЦЕНКИ
ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА ПРИ МЕХАНООБРАБОТКЕ
КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

© 2017 В.Т. Саункин*, И.Р. Григорьев**, О.Е. Драка*

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

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

В работе рассматривается проблема контроля и оценки переходного процесса при механообработке крупногабаритных изделий атомного машиностроения. Механическую обработку изделий предлагается рассматривать как процесс резания в замкнутой технологической системе «станок – приспособление – инструмент – деталь» (СПИД). Предложена методика оценки времени переходного процесса, исходя из заданной ошибки измерения в динамическом режиме работы системы.

Ключевые слова: атомное энергетическое машиностроение, система «станок – приспособление – инструмент – деталь», переходный процесс, инерционность, качество обработки изделий.

Поступила в редакцию: 15.03.2017

Рассматриваемая система относится к электромеханическим, в которых большое значение имеет инерционность движущихся и вращательных частей. Инерционность и другие факторы могут быть причиной нарушения устойчивости работы системы и негативно сказаться на качестве обработки изделий во время переходного процесса.

Для составления модели процесса резания рассмотрим схему течения с одной степенью свободы. С целью упрощения расчета система СПИД представлена одномассовой системой с массой m , связанной упругой связью, имеющей жесткость C и коэффициент демпфирования λ , со станиной станка (рис. 1).

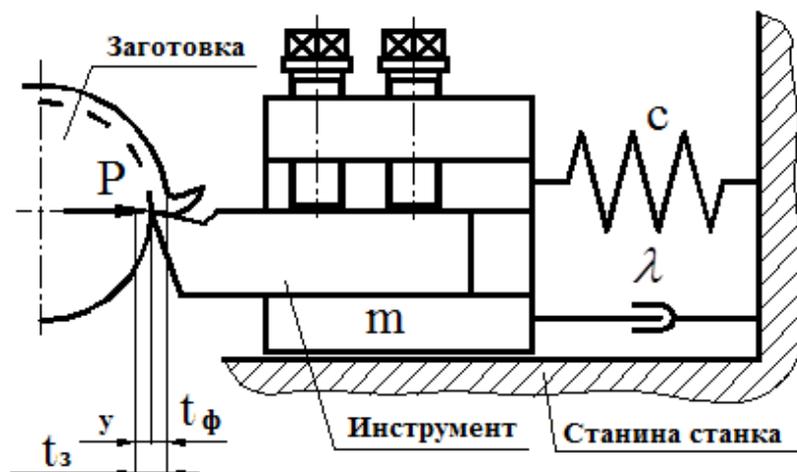


Рис. 1. – Схема модели процесса резания изделия в замкнутой технологической системе СПИД

Суппорту станка сообщается перемещение на заданную глубину резания t_3 (по лимбу станка). В результате упругих деформаций системы под действием силы резания фактическая глубина резания t_ϕ будет меньше поперечной подачи на величину упругих деформаций y :

$$t_\phi = t_3 - y. \tag{1}$$

Уравнение движения одномассовой системы имеет вид:

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + \lambda \frac{dy}{dt} + cy = P, \tag{2}$$

где P – сила резания.

Процесс резания для упрощения модели с учетом малых значений постоянной времени стружкообразования ($Tr = 10^{-4} \dots 10^{-3}$ с) представим безынерционным:

$$P = k_p t_\phi, \tag{3}$$

где k_p – коэффициент передачи звена.

Таким образом, замкнутая технологическая система СПИД будет представлена в виде следующей модели:

$$\begin{cases} t_\phi = t_3 - y, \\ m \frac{d^2 y}{dt^2} + \lambda \frac{dy}{dt} + cy = P, \\ P = k_p t_\phi. \end{cases} \tag{4}$$

Для дальнейшего исследования системы с помощью ЭВМ необходимо данную модель (4) привести к модели в пространстве состояний с помощью преобразования Лапласа. Для этого получим значение t_ϕ .

Из выражения (1) имеем:

$$y = t_3 - t_\phi, \tag{5}$$

тогда

$$y' = - \frac{dt_\phi}{dt}, \tag{6}$$

$$y'' = - \frac{d^2 t_\phi}{dt^2}. \tag{7}$$

Подставим уравнения (5), (6) и (7) в выражение (2):

$$- m \frac{d^2 t_\phi}{dt^2} - \lambda \frac{dt_\phi}{dt} + ct_3 - ct_\phi = P. \tag{8}$$

Подставим уравнение (3) в выражение (8):

$$- m \frac{d^2 t_\phi}{dt^2} - \lambda \frac{dt_\phi}{dt} + ct_3 - ct_\phi = k_p t_\phi. \tag{9}$$

Преобразуем выражение (9):

$$-m \frac{d^2 t_\phi}{dt^2} - \lambda \frac{dt_\phi}{dt} - (c + k_p) t_\phi = -ct_3. \quad (10)$$

Представим уравнение (10) в операторной форме:

$$m\rho^2 t_\phi + \lambda\rho t_\phi + (c + k_p) t_\phi = ct_3. \quad (11)$$

Освободимся от коэффициента возле свободного члена уравнения (11):

$$\frac{m}{C + K_p} \rho^2 + \frac{\lambda}{C + K_p} \rho + 1 = \frac{ct_3}{(c + k_p) t_\phi}. \quad (12)$$

Фактическую глубину резания находим из уравнения (12):

$$t_\phi = \frac{ct_3}{m\rho^2 + \lambda\rho + (c + k_p)}. \quad (13)$$

Выражение (13) является общим уравнением для исследования рассматриваемой системы СПИД.

Чтобы использовать уравнение (13) в программах для исследования системы СПИД необходимо избавиться от коэффициента ρ^2 (в знаменателе получим полином):

$$t_\phi = \frac{ct_3}{m} \frac{1}{\rho^2 + \frac{\lambda}{m} \rho + \frac{(c + k_p)}{m}}, \quad (14)$$

где $\frac{ct_3}{m}$ – коэффициент усиления.

Для исследования системы СПИД используется программа Mathcad. Исходные данные для этой программы представлены матрицей объекта размером (2×2) . В нее входят коэффициенты полинома из знаменателя уравнения (14). Первая строка матрицы A всегда имеет вид как в нижеприведенной формуле, где 1 – это коэффициент при ρ^2 :

$$A = \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ c + k_p & \lambda \\ m & m \end{vmatrix}. \quad (15)$$

Вторая строка матрицы A представляет собой коэффициенты остальных членов полинома, взятые с обратным знаком. Причем, на первом месте стоит коэффициент при свободном члене, а на втором – коэффициент при ρ . Элементы матрицы в программу вводятся построчно.

Предлагаемая методика апробирована на реально существующей системе СПИД со следующими параметрами: $m = 25000$ кг; $c = 10000$ Н/м; $\lambda = 2000$ кг/с; $k_p = 0,75$ Н/мм; $t_3 = 0,003$ м.

График переходного процесса в системе показан на рис. 2.

Как видно из графика, переходный процесс в системе колебательный затухающий. По графику можно определить время окончания переходного процесса и наступления установившегося режима в системе. Задаваясь допустимой ошибкой установившегося режима, можно определить время окончания переходного процесса системы и, следовательно, включения обработки изделия.

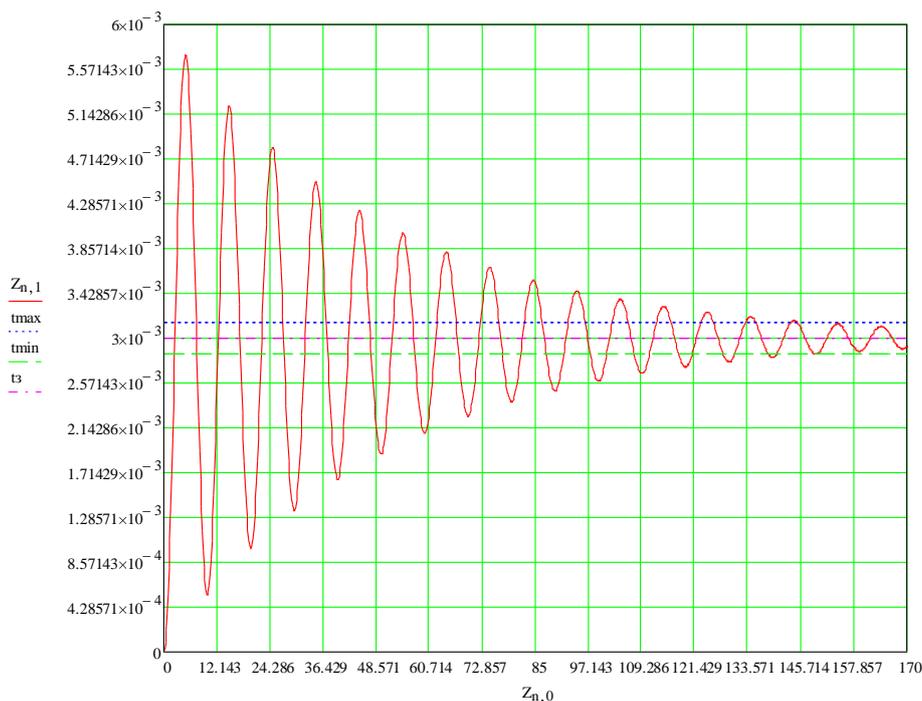


Рис. 2. – График переходного процесса системы

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Советов, Б.Я. и др.* Моделирование систем: учебник для вузов [Текст] / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – М.: Высш. шк., 2005. – 343 с.
2. *Кудрявцев, Е.М.* Компас – 3Д. Моделирование, проектирование и расчет механических систем [Электронный ресурс] / Е.М. Кудрявцев. – Электрон. текстовые данные. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 400 с.
3. *Гуськов, А.М. и др.* Устойчивость положений равновесия механических систем под действием неконсервативных (циркуляционных) сил [Электронный ресурс]: учебное пособие по курсам «Основы прикладной теории механических колебаний», «Теория устойчивости движения механических систем» / А.М. Гуськов, Т.Я. Пановко. – Электрон. текстовые данные. – М.: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2013. – 53 с.
4. *Шефер, К.* Теоретическая физика. Том 1. Часть 1. Общая механика. Механика твердого тела [Текст] / К. Шефер. – Санкт-Петербург, Книга по требованию, 2012. – 447 с.
5. *Шефер, К.* Теоретическая физика. Том 2. Часть 1. Общая механика. Механика твердого тела [Текст] / К. Шефер. – Санкт-Петербург: Книга по требованию, 2012. – 448 с.
6. *Саргосян, А.Е.* Сопротивление материалов, теории упругости и пластичности [Текст] / А.Е. Саргосян. – М.: Высшая школа, 2000.
7. *Филин, А.П.* Прикладная механика твердого деформируемого тела [Текст] / А.П. Филин. – М.: Наука, 1981.
8. *Охорзин, В.А.* Прикладная математика в системе MATHCAD: учебное пособие. 3-е изд. [Текст] / В.А. Охорзин. – СПб.: Лань, 2009. – 352 с.
9. *Гольдберг, О.* Переходные процессы в электрических машинах и аппаратах и вопросы их проектирования [Текст] / О. Гольдберг. – М.: Высшая школа. 2001.
10. *Кустов, Е.Ф. и др.* Модуль упругости, поверхностного натяжения, адгезии, идеальная и реальная прочность твердых тел [Текст] / Е.Ф. Кустов, М.Е. Кустов, В.А. Антонов // ЖТФ. – 2017. – Т. 87. – Вып. 4. – С. 563–569.

REFERENCES

- [1] *Советов В.Я., Яковлев С.А.* Modelirovanie sistem: uchebnik dlia vuzov [Modeling of systems: textbook for higher education institutions]. M. Pub. Vysshiaia shkola [Higher School], 2005, ISBN 5-06-003860-2, 343 p. (in Russian)
- [2] *Kudriavtsev E.M.* Kompas – 3D. Modelirovanie, proektirovanie i raschet mekhanicheskikh system [Compass – 3D. Modeling, design and calculation of mechanical systems]. Elektronnye tekstovye dannye [Electronic text data]. M. Pub. DMK Press, 2008, ISBN 978-5-94074-418-4, 400 p. (in Russian)

- Russian)
- [3] Guskov A.M., Panovko T.Ya. Ustoichivost polozhenii ravnovesiia mekhanicheskikh sistem pod deistviem nekonservativnykh (tsirkulatsionnykh) sil: uchebnoe posobie po kursam «Osnovy prikladnoi teorii mekhanicheskikh kolebaniy», «Teoriia ustoichivosti dvizheniia mekhanicheskikh sistem» [Stability of provisions of mechanical systems balance under the influence of nonconservative (circulating) forces [An electronic resource]: the manual at the courses "Bases of the Applied Theory of Mechanical Oscillations", "Theory of Stability of the Movement of Mechanical Systems"]. Elektronnyye tekstovyye dannyye [Electronic text data]. M. Pub. Moskovskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet imeni N.E. Baumana [Bauman Moscow State Technical University], 2013, ISBN 978-5-7038-3656-9, 53 p. Available at: http://rk5-lib.bmstu.ru/files/upb/din_mech_sist_guskov.pdf (in Russian)
 - [4] Shefer K. Teoreticheskaya fizika [перевод]. Vol. 1. Chast 1 [Theoretical Physics. Part 1]. Obshchaya mekhanika. Mekhanika tverdogo tela [General mechanics. Mechanics of a solid body]. Sankt-Peterburg [St. Petersburg]. Pub. Kniga po trebovaniyu [Book on demand], 2012, ISBN 978-5-458-49839-5, 447 p. (in Russian)
 - [5] Shefer K. Teoreticheskaya fizika. Vol. 2. Chast 1 [Theoretical Physics. Part 1]. Obshchaya mekhanika. Mekhanika tverdogo tela [General mechanics. Mechanics of a solid body]. Sankt-Peterburg [St. Petersburg]. Pub. Kniga po trebovaniyu [Book on demand], 2012, ISBN 978-5-458-37433-0, 448 p. (in Russian)
 - [6] Sargosian A.E. Soprotivlenie materialov, teorii uprugosti i plastichnosti [Resistance of materials, theories of elasticity and plasticity]. M. Pub. Vysshaya shkola [Higher School], 2000. ISBN 5-06-003866-1, Available at: sopromat.vstu.ru/metod/ucheb/ucheb_09.djvu (in Russian)
 - [7] Filin A.P. Prikladnaya mekhanika tverdogo deformiruemogo tela [Applied mechanics of a solid deformable body]. M. Pub. Nauka, 1981. (in Russian)
 - [8] Okhorzin V.A. Prikladnaya matematika v sisteme MATHCAD [Applied mathematics in the MATHCAD system]: Uchebnoe posobie [Manual]. 3-e izdanie [3rd edition]. Sankt-Peterburg [St. Petersburg]. Pub. Lan [Lan], 2009, ISBN 978-5-8114-0814-6, 352 p. (in Russian)
 - [9] Goldberg O. Perekhodnye protsessy v elektricheskikh mashinakh i apparatakh i voprosy ikh proektirovaniia [Transition processes in electrical machines and devices and questions of their design]. M. Pub. Vysshaya shkola [Higher School], 2001, ISBN 5-06-003844-0, 512 p. (in Russian)
 - [10] Kustov E.F., Kustov M.E., Antonov V.A. Modul uprugosti, poverkhnostnogo natiazheniia, adgezii, idealnaya i realnaya prochnost tverdykh tel [Module of elasticity, superficial tension, adhesion, ideal and actual durability of solid bodies]. Zhurnal tekhnicheskoi fiziki [Magazine of technical physics], 2017, Vol. 87, Vypusk 4 [Issue 4]. ISSN 0044-4642, DOI: 10.21883/JTF.2017.04.44317.2026, pp. 563–569. (in Russian)

Development of Methodical Recommendations of Transition Process Assessment When Processing Large-Size Products Mechanically

V.T. Saunkin*¹, I.R. Grigoriev², O.E. Draka*³**

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

e-mail: VITkafIUS@mephi.ru

¹ *ORCID iD: 000-0002-3462-4853*

WoS ResearcherID: F-3352-2017;

³ *ORCID iD: 000-0002-3397-6830*

WoS ResearcherID: F-3316-2017

** *Volgodonsk branch of JSC «AEM-technologies» «Atomash», Zhukovskoye shosse, 10, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360*

² *ORCID iD: 000-0002-5654-5021*

WoS ResearcherID: F-3370-2017

Abstract – The problem of control and an assessment of transition process when processing large-size products of atomic mechanical engineering is considered in the work. Machining of products is offered to be considered as process of cutting in the closed technological system "machine – adaptation – tool - detail" (MATD). The technique of an assessment of transition process time, proceeding from the set measurement error in a dynamic operating mode of system is offered.

Keywords: atomic power engineering, "machine – adaptation – tool - detail" system, transition process, lag effect, product processing quality.

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

УДК 621.311.25.004.7

**ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЕМОНТАЖА
ОБОРУДОВАНИЯ БЛОКОВ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ
С УЧЕТОМ НОРМАТИВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
ИХ ВЫВОДА ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

© 2017 С.А. Томилин, А.И. Берела, Н.Н. Подрезов, А.Г. Федотов

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

В работе рассмотрены вопросы проектирования работ по демонтажу оборудования блоков атомных станций с учетом действия нормативного регулирования процесса их вывода из эксплуатации.

Ключевые слова: вывод из эксплуатации, блок атомной станции, демонтажные работы, проект производства работ, нормативное регулирование.

Поступила в редакцию: 11.01.2017

Вывод из эксплуатации блоков атомных станций (АС) – заключительная стадия их жизненного цикла. Под выводом блока из эксплуатации [1,2] понимается процесс реализации комплекса мероприятий, осуществляемый после удаления ядерного топлива и ядерных материалов с блока АС, направленный на достижение заданного конечного состояния блока АС, исключающий использование его в качестве источника энергии и обеспечивающий безопасность работников (персонала), населения и окружающей среды. Это весьма сложный и дорогостоящий процесс, оценка его длительности по разным данным составляет до 70 лет и более, а стоимость достигает 10 – 12% стоимости выработанной блоком электроэнергии.

Вывод из эксплуатации блоков АС предусматривает проведение значительного объема работ (включая, организационные и проектировочные) по демонтажу оборудования, систем и металлоконструкций (далее по тексту – оборудования) [3–6].

До настоящего времени стадия вывода из эксплуатации энергоблоков АС преимущественно попадает под категорию «отложенные решения». Как следствие, реальный практический опыт по реализации технологических процессов демонтажа оборудования весьма ограничен. В то же время на протяжении достаточно длительного времени осуществляется разработка нормативной документации, регламентирующей правила и требования, предъявляемые к подготовке проектной документации в отношении вывода блоков АС из эксплуатации, в том числе, и проведения демонтажных работ.

В процессе разработки проектной документации должны быть решены задачи, связанные с поиском и выбором технических решений по проведению демонтажных работ (методов, способов и средств технологического обеспечения их реализации), соблюдением их безопасности (технической, пожарной и радиационной) и оптимизацией экономических показателей. При этом решения принимаются в рамках ресурсных ограничений (материальных, финансовых, людских, дозовых, временных и других).

В настоящей работе рассмотрены некоторые вопросы, связанные с особенностями проектирования работ по демонтажу оборудования с учетом нормативного регулирования вывода из эксплуатации блоков АС, представляемого действующей документацией Ростехнадзора, Санэпиднадзора и эксплуатирующей организации. Указанная нормативная документация разработана на базе действующих законов Российской Федерации в этой области и соответствующих рекомендаций МАГАТЭ.

Спецификой процесса вывода из эксплуатации жизненного цикла блоков АС, во многом определяющей особенности проектирования технологических процессов демонтажа оборудования, является наличие остаточной радиоактивности (радиоактивного загрязнения и активации) части оборудования, строительных защитных конструкций, боксов и помещений.

Объективную информацию о техническом и радиационном состоянии блока получают по результатам комплексного инженерного и радиационного обследования (КИРО), являющегося необходимой и важнейшей информационной составляющей реализации заключительной стадии его жизненного цикла. Регламентная часть проведения КИРО определена [2] как «комплекс мероприятий, необходимых для разработки проекта вывода из эксплуатации блока АС и направленных на получение информации об инженерно-техническом состоянии зданий, сооружений, строительных конструкций и оборудования, а также о радиационной обстановке в помещениях и на площадке блока АС, объемном и поверхностном загрязнении радиоактивными веществами помещений, оборудования и площадки блока АС, качественном и количественном составе радиоактивных отходов на блоке АС».

Результаты КИРО используются непосредственно для проектирования технологических процессов демонтажа оборудования, а также определения объемов и классификации возникающих радиационных отходов, прогноза их изменения со временем выдержки, расчета дозовых нагрузок работников (персонала), прогноза изменения радиационной обстановки.

Поскольку технологические процессы демонтажа оборудования создаются на базе машиностроительных технологий (включая операции перемещения), то ведущую роль в их проектировании занимают специалисты этой отрасли, подготовленные также и в части ее экономических аспектов. Такие специалисты формируют из совокупности U технологических знаний пространство технологических решений первого отбора (рис. 1), соответствующих техническим параметрам и характеристикам демонтажных работ.

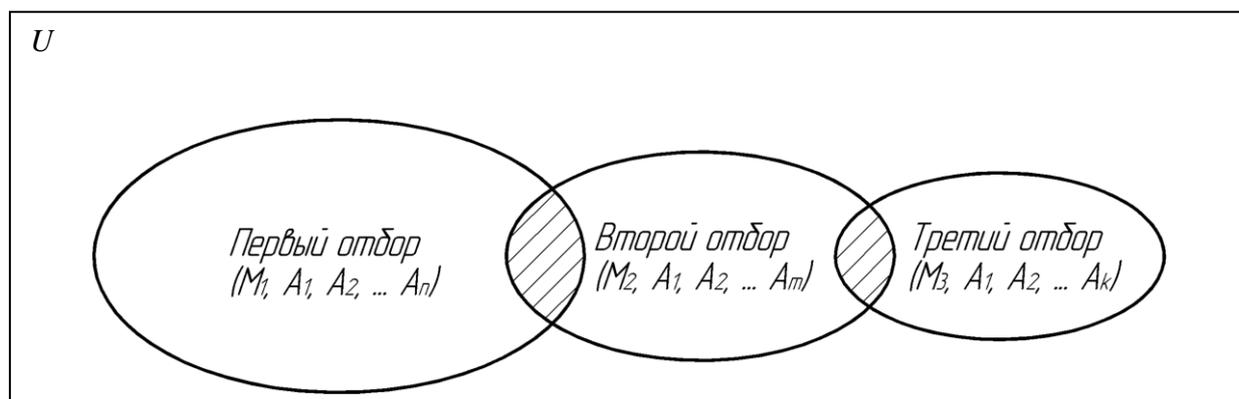


Рис. 1. – Пространства технологических решений ($n > m > k$)

Пространство решений первого отбора учитывает также строительно-архитектурные параметры: высотные отметки расположения оборудования, размеры

рабочих зон, в том числе зон перемещения демонтированных объектов, несущие способности строительных конструкций и др. Решения первого отбора не могут носить гипотетический характер, они формируются исходя из существующих технических и радиационных условий реализации проекта демонтажа оборудования.

Исходя из положений теории множеств известно, что пространство указанных технологических решений можно представить как множество объектов, между которыми имеются некоторые отношения, позволяющие решать задачи и достигать цели проектирования технологических процессов.

На основе собственных экономических знаний и во взаимодействии с консультантами по экономическим вопросам разработчик-технолог выполняет отбор рациональных технологических решений и формирует из них пространство второго отбора. Одновременно во втором отборе кроме фактора финансовых ресурсов задействованы известные на момент проектирования другие граничные ресурсные факторы – материальные, временные, людские (необходимого профессионального уровня). За границами отбора должны остаться самые затратные по ресурсам решения, для которых предполагается возможность альтернативных решений. Например, в операциях демонтажа оборудования в активных рабочих зонах целесообразно применение дистанционно управляемой техники вместо роботизированной. Оставшиеся во втором отборе технологические решения будут укладываться в рамки приемлемых ресурсных затрат, предусмотренных технико-экономическим обоснованием вывода блока АС из эксплуатации.

Окончательный набор проектных технологических решений, образующих пространство третьего отбора, определяется после тщательного анализа на соответствие требованиям радиационной безопасности, в том числе и возможности адаптации к этим требованиям. Для осуществления данного отбора привлекаются специалисты по радиационной безопасности. Требования, сформулированные в нормативной документации [7–10], должны быть уточнены «по месту» специальной инструкцией по радиационной безопасности работ по выводу из эксплуатации конкретного блока АС. В настоящее время инструкции по обеспечению радиационной безопасности в процессе эксплуатации действуют на всех блоках отечественных АС.

Следует ожидать, что в пограничных зонах между пространствами первого–второго и второго–третьего отборов будут находиться некоторые решения неявного характера, не попадающие при отборе под заключение типа «да»/«нет». Применение неявных решений потребует дополнительных обоснований, в том числе полученных, например, опытным путем.

Особенность перехода от пространства второго отбора технологических решений к пространству их третьего отбора заключается в необходимости учета действующей нормативной документации применительно к выводу из эксплуатации блоков АС. Подход такого рода необходим для технологов, занимающихся разработкой радиационно безопасных демонтажных технологий.

Нормативный документ федерального уровня НП 091-14 [7] и руководящий документ эксплуатирующей организации – АО «Концерн Росэнергоатом» РД ЭО 1.1.2.01.0013-2014 [8] задают общие и основные положения обеспечения безопасности вывода из эксплуатации блоков АС, которые необходимо соблюдать с первых шагов проектирования технологии демонтажа оборудования. В этом ряду находится и руководство по безопасности РБ 031-04 [9], которое задает общие требования к обеспечению безопасности вывода блока АС из эксплуатации еще на стадии его проектирования.

Нормативный документ СП ВЭ БАС-07 [10] – наиболее полный из принятых для регулирования радиационной безопасности в процессе вывода из эксплуатации блоков

АС. В нем прослеживается обеспечение радиационной безопасности на всех этапах вывода из эксплуатации. Данный нормативный документ разработан в целях реализации требований действующих в Российской Федерации норм радиационной безопасности НРБ-99, на основе и в развитие общих санитарных правил обеспечения радиационной безопасности ОСПОРБ-99/2010 и в дополнение к санитарным правилам проектирования и эксплуатации атомных станций (СП АС-03) СанПиН 2.6.1.24-03.

Обеспечение радиационной безопасности при выводе блоков АС из эксплуатации считается достаточным, если техническими средствами и организационными мерами, предусмотренными проектом вывода из эксплуатации, обеспечивается не превышение основных пределов доз облучения персонала и населения и реализация основных принципов радиационной безопасности, установленных НРБ-99 и ОСПОРБ-99/2010.

Радиационная защита населения, проживающего в районе расположения выводимого из эксплуатации блока АС, и предотвращение радиоактивного загрязнения окружающей среды должны осуществляться в соответствии с требованиями СП АС-03.

Следует подчеркнуть, что большая часть правил и норм относится к организационным и организационно-техническим мероприятиям, сопровождающим работы по выводу из эксплуатации блоков АС, которые опираются на опыт эксплуатации блоков АС и применения в условиях эксплуатации соответствующих нормативных документов по радиационной безопасности. Наибольшую ценность имеет опыт проведения ремонтных работ – достаточно близких (в технологической части) демонтажным работам при выводе из эксплуатации блоков АС.

Данными правилами и нормами не определены конкретные технологические решения и процедуры их нахождения, но они способствуют их выбору в части возможности встраивания содержащихся в документе требований и рекомендаций в технологический процесс и соответственно в технологическую документацию демонтажных работ. В то же время они в полной мере должны быть отражены в проекте производства работ (ППР), который рассматривается как составная часть проекта вывода из эксплуатации блока АС. Именно в ППР представляются организационные и организационно-технические мероприятия как по обеспечению санитарно-радиационной безопасности, так и по другим видам безопасности работ (технической, пожарной, экологической). В разработке ППР участие специалистов-технологов является обязательным.

Приведем некоторые примеры использования правил обеспечения радиационной безопасности при выполнении демонтажных работ на загрязненном радионуклидами оборудовании и в работах по обращению с радиоактивными отходами в процессе демонтажа оборудования (таблица 1). Конкретно в технологической документации с этой целью разрабатывается карта подготовительной операции.

Таблица 1. – Мероприятия и процедуры обеспечения радиационной безопасности в технологических процессах демонтажа «загрязненного» оборудования и обращения с радиоактивными отходами демонтажа

<i>Формулировка правил и требований в документе СП ВЭ БАС-07</i>	<i>Процедуры, предусматриваемые в нормативной документации и включаемые в технологическую документацию</i>
1	2
Прогноз радиационной обстановки	Извлечение соответствующей информации из отчета КИРО Радиационный мониторинг рабочих зон демонтажных работ Радиационный контроль, осуществляемый по ситуации

Продолжение таблицы 1

1	2
<p>Планирование мероприятия по обеспечению радиационной безопасности персонала и населения</p>	<p>Проведение работ по нарядам-допускам, определяющим допустимое время работы Приведение перечня средств индивидуальной защиты и условий его применения Своевременная замена спецодежды загрязненной выше допустимых значений Использование защитных экранов Обеспечение мер по предотвращению ингаляционного поступления радиоактивных аэрозолей при проведении термической резки и сварочных работ путем использования средств индивидуальной защиты и установок местного отсоса пыли-, газовыделений Указание схем перемещения персонала в рабочих зонах Инструктаж персонала Присутствие во время работ на рабочих местах только необходимого персонала Организация оперативного индивидуального дозиметрического контроля Применение переносных саншлюзов, организация санитарных барьеров и других мероприятий по ограничению распространения радиоактивных загрязнений из зоны проведения работ Стендовая (макетная) отработка персоналом демонтажных операций и другие возможные меры снижения доз облучения персонала при выполнении радиационно опасных работ Наличие комплекта специальной оснастки и приспособлений для комплексной механизации работ</p>
<p>Разработка схемы обращения с радиоактивными отходами</p>	<p>Запись об условиях и маршрутах перемещения демонтированного загрязненного оборудования в рабочих зонах, на территории блока и за ее границами (если таковое предусмотрено проектом вывода из эксплуатации) Мероприятия по подавлению сбросов и выбросов вторичных радиоактивных отходов, выделяющихся при демонтажных работах и др. Организация и проведение дезактивации демонтируемого оборудования, отдельных узлов и агрегатов по результатам предварительного и текущего радиационного контроля, а также технологического оборудования и инструмента, получившего радиоактивное загрязнение</p>

Такой подход позволяет создать технологический процесс, отвечающий требованиям данных документов, и будет способствовать его согласованию в службах, представляющих регулирующие органы.

В ППР, в частности, включаются также следующие положения СП ВЭ БАС-07 [10]:

– радиационно-опасные работы, при выполнении которых ожидаемые коллективные дозы превышают 0,5 чел.·Зв или 10 мЗв по эффективной индивидуальной дозе, должны выполняться по специальным программам обеспечения радиационной безопасности, разработанным администрацией АС и согласованным с органами Госсанэпиднадзора;

– для работ, при выполнении которых коллективные дозы облучения могут превысить 1,0 чел.·Зв или максимальная индивидуальная эффективная доза может превысить 15 мЗв, программа дополнительно должна быть согласована с

эксплуатирующей организацией.

Следует отметить, что в нормативно-технической документации ГК «Росатом» до последнего времени отсутствовал документ, устанавливающий для всех участников работ по выводу из эксплуатации блоков АС требования к составу, содержанию, порядку разработки ППР по демонтажу оборудования. Этот недостаток в настоящее время устранен введением стандарта организации СТО СРО-С 60542960 00065-2016 «Разработка проектов производства работ по демонтажу оборудования при выводе блоков АС из эксплуатации», подготовленный ООО «Центр технических компетенций атомной отрасли» и внесённый на утверждение Советом СРО НП «СОЮЗАТОМСТРОЙ».

В указанном документе рассмотрены структура и содержание ППР, степень детализации технологических решений, порядок разработки, согласования и утверждения проекта ППР, правила его оформления. В пояснительной записке ППР отражаются: основания, цели, задачи и исходные данные разработки ППР; необходимые подготовительные работы; технология выполняемых работ; обращение с РАО; обеспечение безопасности (прежде всего – радиационной); календарно-сетевое планирование работ; перечень документации, разрабатываемой в составе ППР; технические и экономические показатели; оценка и контроль качества.

В общем случае в графическую часть ППР рекомендуется включать:

- схемы блока АС с нанесением на нее рабочей зоны ППР, включая опасные, образуемые подвижными частями механизмов, зоны обслуживания подъемными сооружениями, линиями электропередач и другими факторами опасности;
- схемы разметки, строповки и складирования (штабелирования) демонтируемого оборудования и/или его фрагментов;
- схемы размещения подмостей, ограждений, переходов, лестниц, предупреждающих знаков и т.д.;
- схемы организации временного электроснабжения и вентиляции;
- схемы движения персонала к рабочей зоне с указанием мест его расстановки, отдыха, временных укрытий и т.п.;
- рабочие чертежи монтажных приспособлений, такелажной оснастки и т.д.

В приложениях к пояснительной записке должны быть приведены необходимые расчеты и обоснования, подтверждающие технико-экономические показатели ППР и, при наличии соответствующего требования заказчика или по инициативе организации-разработчика, визуальная модель (или выполняется интерактивное имитационное трехмерное моделирование) процесса производства монтажных работ (рис. 2). Применение визуальной модели существенно повышает конкурентоспособность ППР у потенциальных заказчиков.

Визуальная модель разрабатывается в соответствии с СТО СРО-П 60542948 00041-2015 «Объекты использования атомной энергии. Визуализация процессов управления строительством. Производственный анализ и контроль» и требованиями, приведенными в приложении Г СТО СРО-С 60542960 00065-2016.

В дополнение к представленному материалу, необходимо добавить, что анализу нормативного регулирования вывода из эксплуатации блоков АС и современных требований к разработке технологий и ППР монтажных работ необходимо уделять особое внимание при подготовке специалистов соответствующего направления. В частности есть необходимость в дополнении образовательного модуля, представленного в работе [12], новыми элементами и компетенциями.

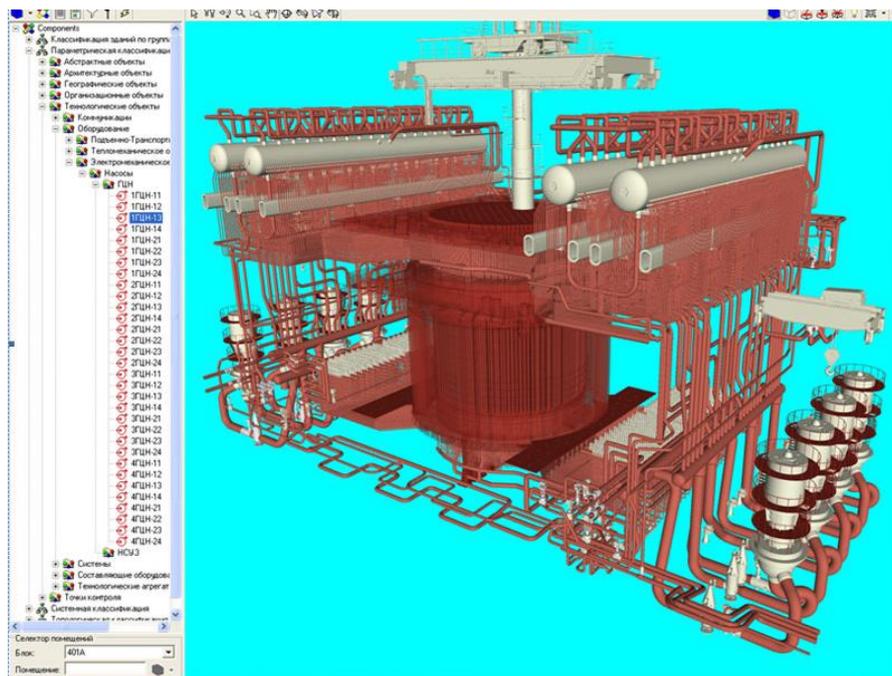


Рис. 2. – 3D-модель информационной системы базы данных вывода из эксплуатации реакторно-технологической части первого блока Ленинградской АЭС [11]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1) К настоящему времени обеспечена необходимая нормативная поддержка для разработки проектов работ по выводу из эксплуатации (в том числе и демонтажу оборудования) блоков АС.

2) Проекты производства работ по демонтажу оборудования выводимых из эксплуатации блоков АС должны отвечать требованиям СТО СРО-С 60542960 00065-2016 и другой рассмотренной в данной работе нормативно-технической документации, а технологические процессы и задействованные средства технологического оснащения – обеспечивать радиационную безопасность персонала, населения и окружающей среды на всех этапах его реализации.

3) Необходимую поддержку специалистам-технологам и конструкторам в процессе разработки технологических проектов и ППР по демонтажу оборудования выводимых из эксплуатации блоков АС обеспечивает взаимодействие со специалистами по радиационной безопасности в целях отбора технологических и конструктивных решений, отвечающих регламентированным отраслевым процедурам и мероприятиям.

4) Повсеместное внедрение визуализации процесса демонтажа или интерактивного имитационного трехмерного моделирования в значительной степени упростит внедрение и повысит качество проектов по проведению демонтажных работ на блоках АС.

5) При подготовке специалистов, занимающихся проектированием и организацией процессов вывода из эксплуатации блоков АС, необходимо дополнительно уделять внимание повышению их квалификационного уровня в области автоматизации проектирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. НП 012-99. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. «Правила обеспечения безопасности при выводе из эксплуатации блока атомной станции [Текст]. – Госатомнадзор России, 1999.

2. ОПБ – 88/97 (НП-001-97; ПНАЭГ-01-011-97) Общие положения обеспечения безопасности атомных станций [Текст]. – Госатомнадзор России, 1998.
3. Берела, А.И. и др. Разработка технологических процессов демонтажа 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/ru/magazine/archive/n2y2013/1734> – 11.01.2017.
4. Берела, А.И. и др. Адаптация технологии демонтажа 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. – С. 98. – Режим доступа: URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2416> – 11.01.2017.
5. 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.
6. Берела, А.И. и др. Реализация процедур обеспечения радиационной безопасности в технологических процессах демонтажа оборудования при выводе блоков АЭС из эксплуатации [Электронный ресурс] / А.И. Берела, С.А. Томилин, А.Г. Федотов // Инженерный вестник Дона. – 2015. – Т. 33. – №1-1. – С. 25. – Режим доступа: URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2766> – 11.01.2017.
7. НП 091-14. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. «Обеспечение безопасности при выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии. Общие положения» [Текст]. – Федеральная служба по экологическому, техническому и атомному надзору, 2014.
8. РД ЭО 1.1.2.01.0013-2014. Подготовка и вывод из эксплуатации блока атомной станции. Основные положения [Текст]. – ОАО «Концерн Росэнергоатом», 2014.
9. РБ 031-04. Руководство по безопасности. «Состав и содержание отчета по обоснованию безопасности при выводе из эксплуатации блока атомной станции» [Текст]. – Федеральная служба по атомному надзору, 2004.
10. СП 2.6.1.2205-07. Обеспечение радиационной безопасности при выводе из эксплуатации блока атомной станции. Санитарные правила СП ВЭ БАС-07 [Текст]. – Санэпиднадзор России, 2007.
11. Перегуда, В. и др. Эффективность эксплуатации атомных станций [Электронный ресурс] / В. Перегуда, В. Шапошников, В. Кононов и др. // Энергетическая стратегия. – 2011. – Май. – С. 58–60. – Режим доступа: URL: http://neolant.ru/upload/neolant_EnS_3.pdf – 11.01.2017.
12. 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. 111–119.

REFERENCES

- [1] NP 012-99. Federalnye normy i pravila v oblasti ispolzovaniia atomnoi energii. «Pravila obespecheniia bezopasnosti pri vyvode iz ekspluatatsii bloka atomnoi stantsii [NP 012-99. Federal standards and rules of atomic energy use. “Rules of safety decommission of nuclear power plant”]. Gosatomnadzor Rossii [State atomic supervision of Russia], 1999. (in Russian)
- [2] ОПБ – 88/97 (НП-001-97; ПНАЭГ-01-011-97) Obshchie polozheniia obespecheniia bezopasnosti atomnykh stantsii [OPB – 88/97 (NP-001-97; PNAEG-01-011-97) General provisions safety of nuclear power plants]. Gosatomnadzor Rossii [State atomic supervision of Russia], 1998. (in Russian)
- [3] Berela A.I., Fedotov A.G., Tomilin S.A., Bylkin B.K. Razrabotka tekhnologicheskikh protsessov demontazha oborudovaniia pri vyvode iz ekspluatatsii atomnykh stantsii [Development of technological processes of dismantle of the equipment at nuclear power plants decommission]. Inzhenernyi vestnik Dona [Engineering bulletin of Don], 2013, Vol. 25, №2(25), ISSN 2073–8633, p. 64. Available at: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1734> (in Russian)
- [4] Berela A.I., Bylkin B.K., Tomilin S.A., Fedotov A.G. Adaptatsiia tekhnologii demontazha oborudovaniia vyvodimykh iz ekspluatatsii blokov AES k trebovaniiam radiatsionnoi bezopasnosti [Adaptation of technology of equipment dismantle of the NPP unit decommission to requirements of radiation safety]. Inzhenernyi vestnik Dona [Engineering bulletin of Don], 2014, Vol. 29, №2, ISSN 2073–8633, p. 98. Available at: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2416> (in Russian)

- [5] Berela A.I., Fedotov A.G., Tomilin S.A. Tekhnologicheskoe oborudovanie, primeniaemoe v rabotakh po vyvodu iz ekspluatatsii blokov AES [The processing equipment used in the NPP unit decommission]. Globalnaya yadernaya bezopasnost [Global nuclear safety], 2013, №1(6), ISSN 2305–414X, eISSN 2499-9733, pp. 58–66. (in Russian)
- [6] Berela A.I., Tomilin S.A., Fedotov A.G. Realizatsiia protsedur obespecheniia radiatsionnoi bezopasnosti v tekhnologicheskikh protsessakh demontazha oborudovaniia pri vyvode blokov AES iz ekspluatatsii [Implementation of procedures of ensuring radiation safety in technological processes of equipment dismantle at the NPP unit decommission], Inzhenernyi vestnik Dona [Engineering bulletin of Don], 2015, Vol. 33, №1–1, ISSN 2073–8633, pp. 25. Available at: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2766> (in Russian)
- [7] NP 091-14. Federalnye normy i pravila v oblasti ispolzovaniia atomnoi energii. «Obespechenie bezopasnosti pri vyvode iz ekspluatatsii obiektov ispolzovaniia atomnoi energii. Obshchie polozheniia» [NP 091-14. Federal standards and rules of use of atomic energy. "Safety of decommission of subjects to use of atomic energy. General provisions"]. Federalnaia sluzhba po ekologicheskomu, tekhnicheskomu i atomnomu nadzoru [Federal service on ecological, technical and atomic supervision], 2014. (in Russian)
- [8] RD EO 1.1.2.01.0013-2014. Podgotovka i vyvod iz ekspluatatsii bloka atomnoi stantsii. Osnovnye polozheniia [RD EO 1.1.2.01.0013-2014. Preparation and decommission of nuclear power plant. Basic provisions]. OAO «Kontsern Rosenergoatom» [JSC Rosenergoatom Concern], 2014. (in Russian)
- [9] RB 031-04. Rukovodstvo po bezopasnosti. «Sostav i sodержanie otcheta po obosnovaniiu bezopasnosti pri vyvode iz ekspluatatsii bloka atomnoi stantsii» [RB 031-04. Safety Guide. "Composition and content of the report on the safety justification for nuclear power plant unit decommissioning"]. Federalnaia sluzhba po atomnomu nadzoru [Federal Atomic Supervision Service], 2004. (in Russian)
- [10] SP 2.6.1.2205-07. Obespechenie radiatsionnoi bezopasnosti pri vyvode iz ekspluatatsii bloka atomnoi stantsii. Sanitarnye pravila SP VE BAS-07 [SP 2.6.1.2205-07. Ensuring radiation safety during decommissioning of a nuclear power plant unit. Sanitary rules of the joint venture SR VE BAS-07]. Sanepidnadzor Rossii [Sanitary and Epidemic Control of Russia], 2007. (in Russian)
- [11] Pereguda V., Shaposhnikov V., Kononov V. etc. Effektivnost ekspluatatsii atomnykh stantsii [Efficiency of nuclear power plant operation]. Energeticheskaya strategiya [Energy Strategy], 2011, May. pp. 58–60. Available at: http://neolant.ru/upload/neolant_EnS_3.pdf – 11.01.2017. (in Russian)
- [12] Berela A.I., Tomilin S.A., Fedotov A.G., Iakubenko I.A. Obrazovatelnyi modul dlia podgotovki spetsialistov po proizvodstvu demontazhnykh rabot pri vyvode iz ekspluatatsii blokov AES [Educational module for the training of specialists in the production of dismantling work in the decommissioning of nuclear power units]. Globalnaia yadernaia bezopasnost [Global nuclear safety]. 2014, №2(11), ISSN 2305–414X, eISSN 2499-9733, pp. 111–119. (in Russian)

Design Features of Nuclear Power Plant Unit Equipment Dismantle Taking into Account Decommission Regulation Standard

S.A. Tomilin*, A.I. Berela**, N.N. Podrezov***, A.G. Fedotov****

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

e-mail: VITkafMPM@mephi.ru

** ORCID iD: 0000-0001-8661-8386*

WoS ResearcherID: G-3465-2017;

*** ORCID iD: 0000-0002-2314-9823*

WoS ResearcherID: G-3828-2017;

**** ORCID iD: 0000-0002-0314-2413*

WoS ResearcherID: G-3892-2017;

***** ORCID iD: 0000-0001-8522-1715*

WoS ResearcherID: G-3692-2017

Abstract – Questions of design features of nuclear power plant unit equipment dismantle taking into account regulation standard of decommission process are considered in the work.

Keywords: decommission, nuclear power plant unit, dismantling works, project of work production, regulation standard.

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

УДК 621.565.9:536.24

**ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ РАБОТЫ ВОЗДУШНОГО
ТЕПЛООБМЕННИКА АВАРИЙНОГО РАСХОЛАЖИВАНИЯ**

© 2017 А.М. Беседин^{*}, А.Ю. Смолин^{*}, А.С. Шамароков^{**}, С.Б. Кравец^{***},
А.С. Мирзалиев^{*}

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

^{**} АО «Всероссийский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт атомного энергетического машиностроения (ВНИИАМ)», Москва, Россия

^{***} Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций ОАО «ВНИИАЭС», Москва, Россия

На полномасштабной модели выполнено исследование аэродинамики, теплообмена, вибрации и напряжений теплообменного аппарата, поверхность нагрева которого набрана из эвольвентных ширм. Оценена вибропрочность трубчатки и шибера аппарата. Определено влияние вытеснителей и их геометрии на интенсивность теплообмена.

Даны рекомендации по выравниванию распределения потока воздуха, повышению надежности шибера и трубчатки.

Ключевые слова: теплообменный аппарат, поверхность нагрева, эвольвентные ширмы, аэродинамическое сопротивление, теплоотдача, вибрация, тензометрирование, поля скоростей и температур, надежность, АЭС.

Поступила в редакцию: 15.03.2017

КОНСТРУКЦИЯ НАТУРНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА

С целью повышения безопасности при эксплуатации энергоблоков с реакторами на быстрых нейтронах (БН-600 и БН-800) была разработана система аварийного расхолаживания реактора (САРХ), состоящая из трех автономных каналов. САРХ предназначена для отвода тепла от реактора при аварийных ситуациях (прекращение отвода тепла к третьему контуру). В состав каждого канала САРХ входят воздушный теплообменник (ВТО) с воздушными шиберами, два электромагнитных насоса, трубопроводы обвязки и система электрообогрева.

В качестве ВТО для САРХ энергоблоков с реактором БН-800 планировалось применять теплообменник, разработанный во ВНИИАМ [1]. Конструктивно он выполнен как вертикальный кожухотрубный аппарат с противоточным движением натрия (сверху вниз) и воздуха (Рисунок 1).

Внутренний диаметр корпуса 1 равен 4,1 м, а высота (по обечайке) – 8,5 м. В корпусе по продольной оси располагается коллектор 2 с наружным диаметром 0,83 м и высотой около 3,6 м. В коллекторе имеются 2640 отверстий диаметром 16,25 мм для запрессовки концов трубок.

Трубчатка состоит из 132 ширм 3, изогнутых по эвольвенте. Начало эвольвенты на диаметре 1,7 м, конец – 4,05 м. Шаг между ширмами по эвольвенте – 40 мм. Ширма набрана из 10 трубок (Ø16 x 1,4мм) с шагом 36 мм на горизонтальных участках и 25 мм – на вертикальных. Вид эвольвентных ширм в плане схематично показан на рисунке 2. Число рядов трубок по ходу воздуха с учетом шахматного расположения – 80. Длина поперечно омываемых участков трубок равна 8,85 м, что составляет 86,2 % всей

поверхности теплообмена, а продольно омываемых – 1,422 м (13,8 %). Часть трубочки вытеснена под коробчатый вытеснитель, предназначенный для удобства ее сборки. Вытеснитель располагается в канале шириной 94 мм. На входе и выходе аппарата располагаются шиберы 4.

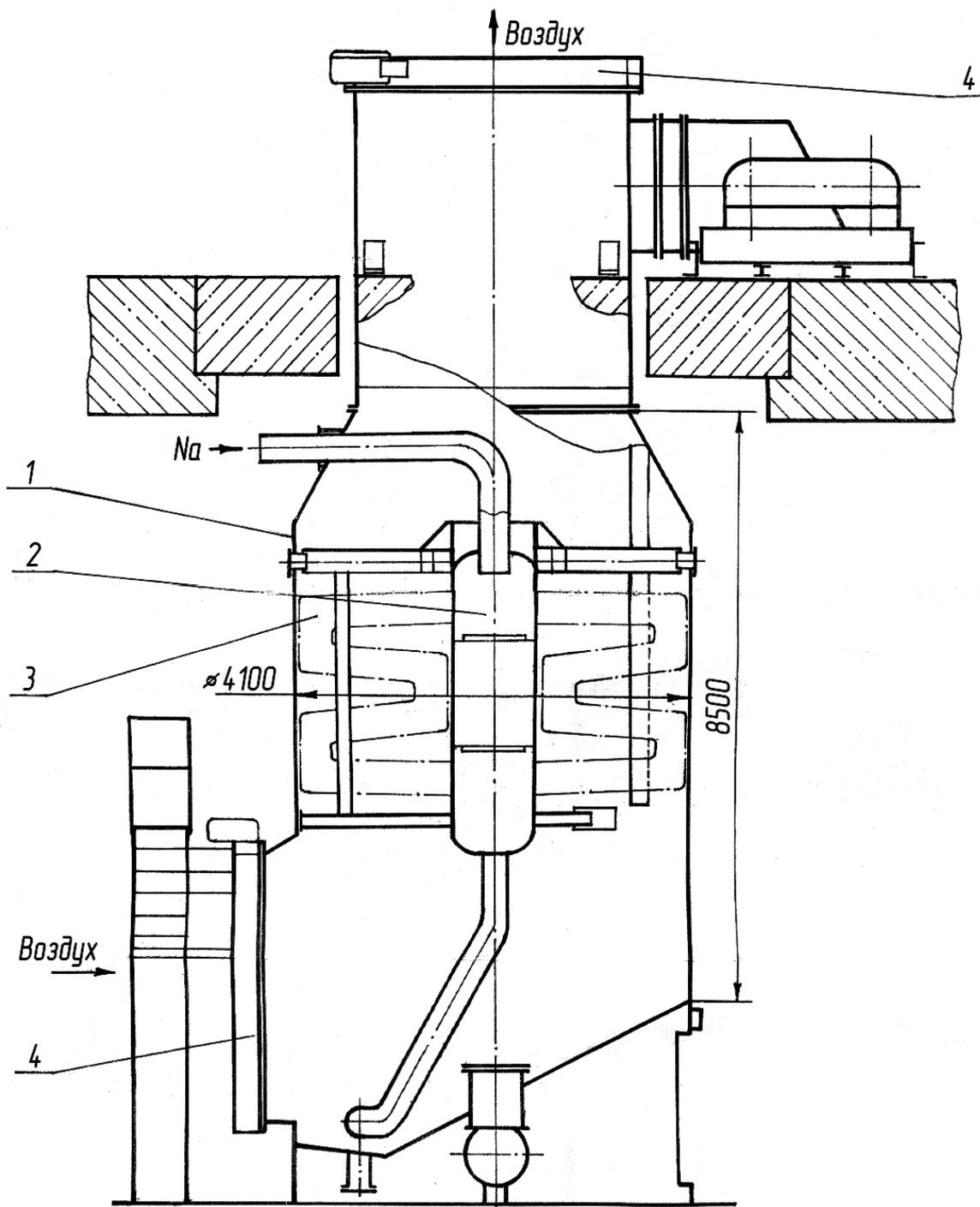


Рис. 1. – Воздушный теплообменник:
1–корпус; 2–коллектор; 3–ширма; 4–шибер.

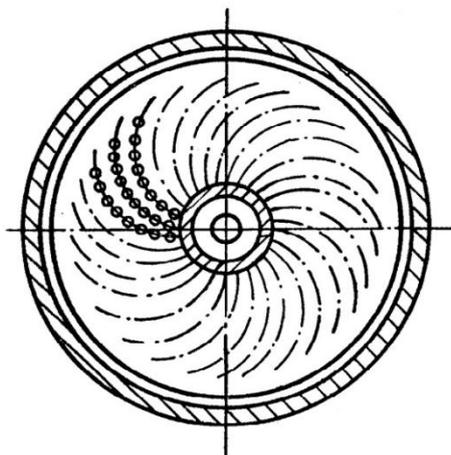


Рис. 2. – Схема эвольвентных ширм

Параметры режима работы теплообменника по воздушному тракту: циркуляция естественная; температура на входе – 30°C ; температура на выходе – 300°C ; расход воздуха – $94,8 \text{ кг/с}$; средняя скорость при поперечном омывании трубочки – $5,8 \text{ м/с}$; число Рейнольдса – 3028 .

Параметры режима работы теплообменника по тракту натрия: давление на входе – $0,6 \text{ МПа}$; температура на входе – 500°C ; температура на выходе – 300°C .

КОНСТРУКЦИЯ НАТУРНОГО ШИБЕРА

Шибер является запорным органом, состоящим из шести вращающихся створок, поворачивающихся на угол 90° (рисунок 3). Он предназначен для управления расходом воздуха путем перекрытия воздуховода.

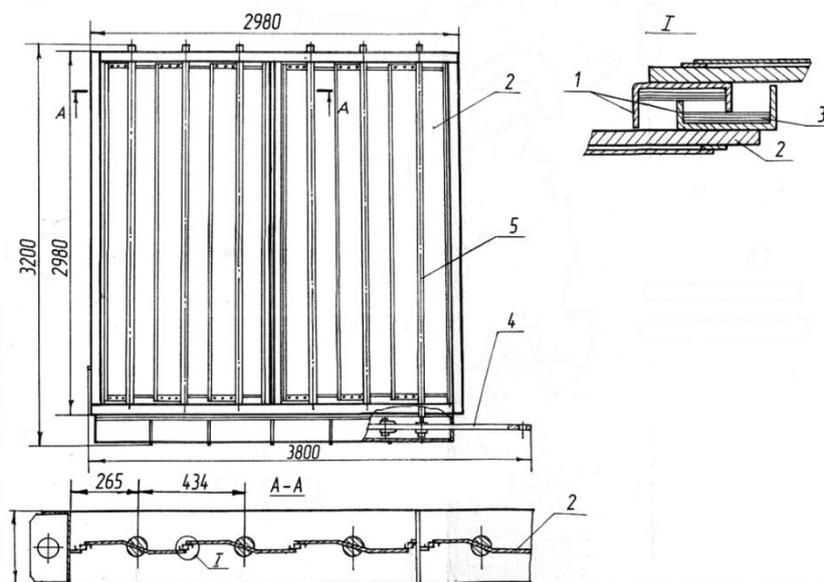


Рис. 3. – Натурный шибер:

1 – желобок; 2 – лопатка; 3 – полоска уплотняющая; 4 – рычаг; 5 – ось.

Уплотняющими элементами служат встречные желобки 1, которые приварены к лопаткам (створкам) 2. Для повышения плотности шибера в желобках располагаются полоски 3 из тонколистовой стали 08X18H10T. Вращение лопаток производится с помощью рычага 4, соединенного шарнирно с осями 5.

КОНСТРУКЦИЯ МОДЕЛИ ТЕПЛООБМЕННИКА

Модель теплообменника была разработана в соответствии с рекомендациями, представленными в книге [2]. Она состоит из пяти эвольвентных ширм натуральных размеров со штатными устройствами дистанционирования и крепления. Трубки запрессованы в трубные доски по штатной технологии. Ширмы размещены в коробе, состоящем из двух эвольвентных боковых стенок, внутренней стенки с радиусомгиба равным радиусу коллектора теплоносителя (натрия) и периферийной стенки с радиусомгиба равным радиусу обечайки корпуса. На периферии ширм были установлены штатные вытеснители, предназначенные для улучшения условий теплообмена. Ширмы прижимались друг к другу боковыми стенками. Между вытеснителями и корпусом (периферийной стенкой) предусмотрен зазор, который может выбираться с помощью стального листа, устанавливаемого по всей высоте ширм. На входе трубочки установлена решетка для выравнивания расхода воздуха по сечению модели в соответствии с образцом (натурным теплообменником).

Модель выполнена разъемной для ревизии и ремонта средств контроля и измерения.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Схема установки представлена на рисунке 3. В качестве теплоносителя использовался насыщенный пар с давлением 0,7 МПа.

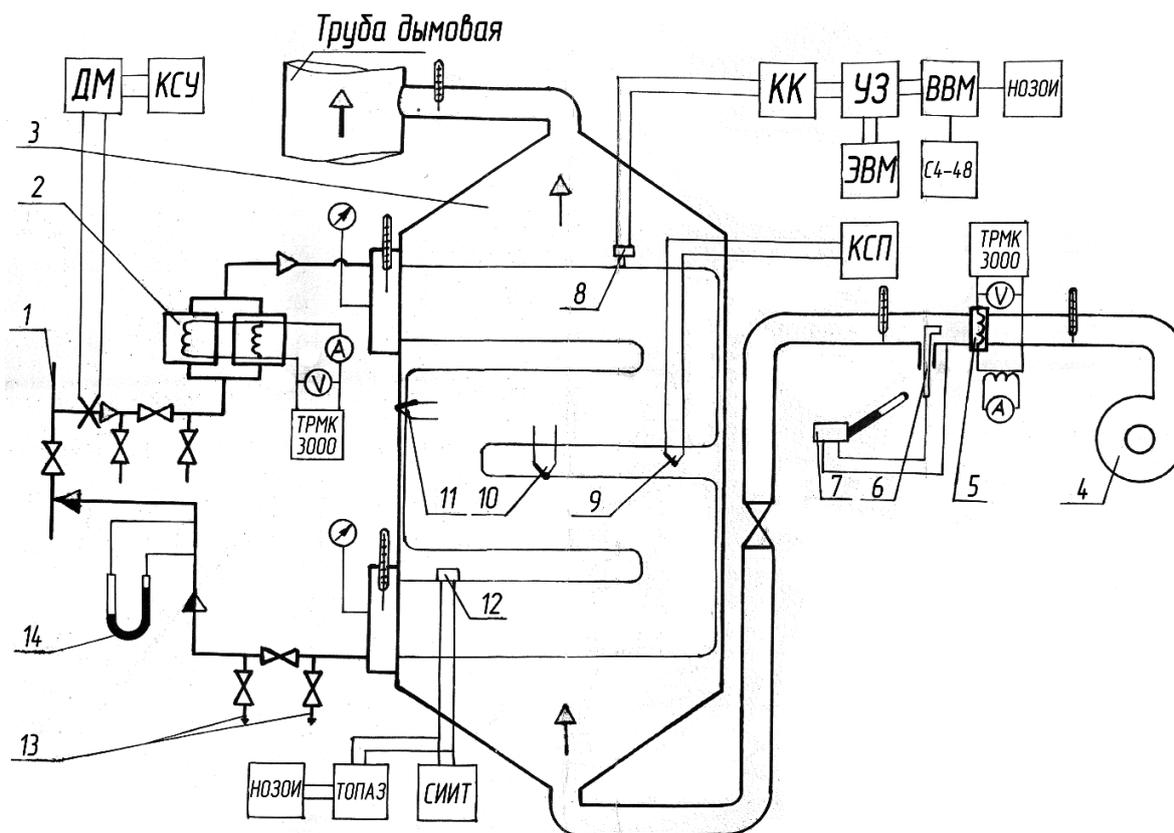


Рис. 3. – Схема установки:

1 – паропровод; 2 – пароперегреватель; 3 – модель теплообменника; 4 – вентилятор; 5 – калориметр; 6 – аэродинамический зонд; 7 – микроманометр; 8 – вибродатчик; 9, 10, 11 – термопары; 12 – тензодатчик; 13 – трубопровод конденсата; 14 – дифманометр

Пар отбирался из паропровода I и направлялся в пароперегреватель 2, после которого – во входной коллектор модели 3. После модели пар сбрасывался в паропровод за запорной задвижкой, а затем в паросепарационное устройство. Расход пара измерялся с помощью дифманометра.

Параметры пара измерялись в коллекторах на входе и выходе ширм. Давление - образцовыми манометрами со шкалой 0 – 0,1 МПа, а температура – ртутными термометрами с ценой деления шкалы 0,1° С.

Воздух прокачивался с помощью вентилятора 4 типа ВД–II. К модели он подводился по воздуховоду квадратного сечения, со стороной 0,5 м. После модели воздух сбрасывался в дымовую трубу.

Расход воздуха измерялся различными способами [3] в зависимости от величины расхода. При малых значениях – калориметром 5 и термоанемометром ТАИК-3, а при больших – трех- и пятиканальными зондами 6, протарированными в аэродинамической трубе.

Параметры вибрации измерялись с помощью вибродатчиков 8, закрепленных на ширмах и подключенных к вторичным приборам.

Температура воздуха в межтрубном пространстве измерялась термопарами типа КТМС диаметром 3 мм, закрепленными к стенкам модели. Спаи термопар были выведены в зону средней ширмы. Температура металла трубок измерялась поверхностными термопарами 10. В стенке, соединяющей входную и выходную камеры теплоносителя, были заделаны термопары II для контроля ее температуры с целью оценки влияния разности температур коллектора и дистанционирующих планок на напряжение в месте заделки трубок. Термопары были подключены к самопишущим потенциометрам типа КСП.

Механические напряжения в элементах трубчатки определялись с помощью тензодатчиков 12, подключенных к тензометрической станции типа СИИТ.

АЭРОДИНАМИКА МОДЕЛИ

Поле скоростей воздуха в межтрубном пространстве модели определялось в пяти точках по глубине трубного пучка.

Аэродинамическое сопротивление трубного пучка определялось с помощью U-образного дифманометра, подключенного к входному и выходному воздуховодам.

Расход воздуха устанавливался по полям скоростей, определяемым зондом по двум взаимно перпендикулярным направлениям по 22 точкам [3].

Предварительно, с целью проверки, было получено практически полное совпадение значений расхода, найденных с помощью зонда и термоанемометра (расхождение не превышало 5 %). Прямолинейность потока на контрольном участке была подтверждена с помощью пятиканального шарового зонда.

Коэффициент сопротивления шибера определялся при пониженных числах Рейнольдса с использованием второй автомодельной области при соблюдении условия: Re модели больше его граничного значения [2, 4].

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИИ

Экспериментальное исследование вибрации заключалось в измерении величин виброускорения и спектральных характеристик вибросигнала на различных участках ширмы и на коллекторах, а также регистрации свободных колебаний ширмы.

В качестве первичных преобразователей использовались 9 пьезоакселерометров 2ПА-22, обеспечивающих измерение вибрации в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

ТЕНЗОМЕТРИРОВАНИЕ

Тензометрирование проводилось с целью измерения деформации и напряжений, возникающих в трубках вблизи заделки в коллектор, на подвесках трубного пучка, а также на ближайшей к коллектору дистанционирующей планке. Для измерения использовались тензорезисторы типа КФ5-П1 и НМТ-450с основой из фольги [5, 6]. Измерения проводились в динамическом и статическом режимах.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ШИБЕРА

Зависимости коэффициента сопротивления шибера (отнесенного к скорости в трубопроводе перед шибером) x от угла поворота створок для исследованных вариантов регулирования приведены в таблицах 1 – 3, где указана и погрешность среднего значения ξ , рассчитанная по [7] и обусловленная главным образом ошибкой установки створок шибера на заданный угол.

Таблица 1. – Коэффициент сопротивления ξ для шести створок

α , град.	ξ	Погрешность, %
5	330	12
10	149	12
20	43	23
30	18,5	17
40	7,5	18
50	3,4	20
60	1,8	26
70	0,88	29
80	0,42	33
90	0,35	50

Таблица 2. – Коэффициент сопротивления ξ для трех створок рядом

α , град.	ξ	Погрешность, %
5	855	10
20	172	9
30	82	8
60	12	15
70	7.7	10
90	5.6	32

Таблица 3. – Коэффициент сопротивления ξ для одной створки

α , град.	ξ	Погрешность, %
5	2155	6
10	1129	17
20	598	10
30	372	12
40	268	29
50	209	21
60	174	22
70	154	22
80	154	11
90	161	17

Из представленных данных следует, что шибер имеет наибольшее сопротивление при регулировании одной створкой и наименьшее – шестью. Коэффициент очень сильно зависит от угла α в диапазоне его значений $0 - 40^\circ$ и слабо – при $60 - 90^\circ$.

Зависимость весового расхода воздуха, обусловленного холостыми протечками, от напора перед шибером для образца приведена в таблице 4.

Таблица 4. – Расход холостых протечек $G_{x,пр}$.

Напор h , мм вод.ст.	Расход $G_{x,пр}$, кг/с
665	1,76
659	1,96
546	1,83
511	1,74
476	1,52
409	1,57
327	1,23
130	1,16

Из представленных данных следует, что холостые протечки воздуха линейно зависят от его напора перед шибером. Следует отметить, что расход холостых протечек на натурном шибере будет меньше значений приведенных в таблице 4, так как при температуре воздуха равной $300 - 500^\circ\text{C}$ в зависимости от режима работы ВТО, его вязкость в $3 - 5$ раз больше, чем на модели при температуре $20 - 40^\circ\text{C}$.

НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕМЕНТАХ ТРУБЧАТКИ

Тензометрирование выполнялось при "холодных" продувках (температура воздуха $25-30^\circ\text{C}$) и при "горячих" продувках (в трубках протекал пар со средней температурой 120°C).

Проведенные исследования показали, что динамические деформации, возникающие в элементах конструкции вследствие их вибрации малы.

Напряжения в трубках в области заделки в коллектор при "холодных" продувках изменялись в диапазоне $6-15$ МПа.

Максимальные напряжения при горячих продувках были равны $66-92$ МПа.

Приведенные данные свидетельствуют, что температурные напряжения в трубках значительно превышают напряжения, возникающие под действием потока воздуха.

Напряжения в подвесках ширм при "холодных" продувках не превышали 3,5 МПа, а при "горячих" продувках они увеличились в среднем в 3-8 раз и достигли максимального значения равного 26 МПа.

В ближайшей к коллектору дистанционирующей планке при "холодных" продувках действовали растягивающие напряжения, достигающие 6 МПа. При "горячих" продувках максимальные напряжения увеличились до 9,5 МПа.

Влияние способа разделки отверстия в трубной доске (коллекторе) на деформации, возникающие в трубке, изучалось для двух случаев: отверстие без обработки кромки и отверстие со скруглением кромки. Деформации измерялись на разных расстояниях от трубной доски при статическом изгибе трубки. Расхождение значений относительной деформации для двух рассмотренных случаев не превышало 13 %, что свидетельствует о малом влиянии способа разделки кромки на деформацию трубки при статическом изгибе.

ТЕПЛОТДАЧА ПО ВОЗДУШНОЙ СТОРОНЕ

Результаты определения коэффициента теплоотдачи представлены в таблице 5.

Таблица 5. – Результаты исследования теплоотдачи

Условия работы	Средняя скорость W , м/с	α_B^{cp} , $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$	α_B^p , $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$	Расхождение γ , %
Периферийный зазор Штатные вытеснители	7,92	93,08	115,01	-19,1
	5,65	74,72	96,83	-22,8
Без периферийного зазора Штатные вытеснители	7,52	95,74	115,01	-16,8
	5,7	79,38	97,36	-18,5

В таблице 5:

α_B^{cp} – средний по проходному сечению коэффициент теплоотдачи от трубочки к воздуху, определенный экспериментально;

α_B^p – то же, рассчитанный по методике [8, 9].

Из таблицы следует, что наибольшее расхождение γ соответствует наличию периферийного зазора, что приводит к байпасированию части воздушного потока.

Коэффициент теплоотдачи увеличивается с ростом средней скорости воздуха в обоих вариантах.

ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЯ

Ресурс работы трубного пучка из эвольвентных ширм, рассчитанный по методике в [10], равен 40 лет с учетом экспериментально определенных вибропараметров.

Аэродинамические исследования показали, что шибер имеет наибольшее сопротивление при регулировании одной створкой и наименьшее – шестью, причем коэффициент сопротивления очень сильно зависит от угла установки створок в

диапазоне его значений $0 - 40^\circ$. Холостые протечки воздуха линейно зависят от его напора перед шибером.

Характеристика шибера $\xi = f(\alpha)$ может заметно измениться при неточном изготовлении и монтаже, а также из-за деформации и коробления створок при температуре воздуха $500 - 550^\circ\text{C}$, что является серьезным недостатком конструкции.

Расхождение между расчетным коэффициентом теплоотдачи и полученным экспериментально не превысило 18,5 %. При наличии периферийного зазора значение расхождения достигало 23 %, что объясняется погрешностью определения скорости воздуха в пучке из-за байпасирования.

При работе ширм без упора в корпус при скорости воздуха 4,3 м/с виброперемещения не превышают значения $2 \cdot 10^{-5}$ м, а при упоре ширм в корпус виброперемещения при скорости 5,5 м/с не превышают значения 10^{-6} м. Таким образом, вибростойкость конструкции обеспечена, как при разогреве, так и в рабочем режиме.

Тензометрирование трубчатки показало, что возникающие вследствие вибрации элементов конструкции динамические напряжения малы ($\sigma_{\max} = 1,5$ МПа), что свидетельствует о высокой вибропрочности трубного пучка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зорин, В.А. Атомные электростанции [Текст] / В.А. Зорин. – М.: Издательский дом МЭИ, 2012. – 672 с.
2. Мигай, В.К. Моделирование теплообменного энергетического оборудования [Текст] / В.К. Мигай. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 264 с.
3. Блинов, О.М. и др. Теплотехнические измерения и приборы [Текст] / О.М. Блинов, А.М. Беленький, В.Ф. Бердышев. – Л.: Металлургия, 1993. – 288 с.
4. Петухов, Б.С. и др. Теплообмен в ядерных энергетических установках [Текст] / Б.С. Петухов, Л.Г. Генин, С.А. Ковалев, С.Л. Соловьев. М.: Изд.-во МЭИ, 2003. – 548 с.
5. Дайчак, М.Л. и др. Методы и средства натурной тензометрии [Текст] / М.Л. Дайчак, М.И. Пригоровский, Г.Х. Хуршудов. – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с.
6. Кобаяси, А. Экспериментальная механика [Текст] / А. Кобаяси. – М.: Мир, 1990. – 616 с.
7. Новицкий, П.В. и др. Оценка погрешностей результатов измерений [Текст] / П.В. Новицкий, И.А. Зограф. – Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 304 с.
8. Кириллов, П.Л. и др. Справочник по теплогидравлическим расчетам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы) [Текст] / П.Л. Кириллов, Ю.С. Юрьев, В.П. Бобков. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 384 с.
9. РТМ 108.031.05 – 84. Оборудование теплообменное АЭС. Расчет тепловой и гидравлический [Текст]. – Л.: НПО ЦКТИ, 1986. – 96 с.
10. РТМ 108.302.03-86. Парогенераторы АЭС. Расчет вибрации теплообменных труб [Текст] // Л.: НПО ЦКТИ, 1987. – 74 с.

REFERENCES

- [1] Zorin V.A. Atomnye elektrostancii [Nuclear power plants]. M. Pub. Izdatelskij dom MEI [MPEI Publishing house], 2012, ISBN 978-5-383-00604-7, 672 p. (in Russian)
- [2] Migaj V.K. Modelirovanie teploobmennogo energeticheskogo oborudovaniya [Modeling of heat-exchange power equipment]. Leningrad. Pub. Energoatomizdat [Energoatomizdat], 1987, 264 p. (in Russian)
- [3] Blinov O.M., Belenkij A.M., Berdyshev V.F. Teplotexnicheskie izmereniya i pribory [Thermotechnical measurements and instruments]. Leningrad. Pub. Metallurgia [Metallurgy], 1993, ISBN 5-229-00836-9, 288 p. (in Russian)
- [4] Petuxov B.S., Genin L.G., Kovalev S.A., Solovjev S.L. Teploobmen v yadernyh energeticheskikh ustanovkah [Heat transfer in nuclear power plants]. M. Pub. Izdatelstvo MEI [MPEI Publishing house], 2003, ISBN 5-7046-0843-4, 548 p. (in Russian)
- [5] Dajchak M.L. Prigorovskij M.I., Hurshudov G.X. Metody i sredstva naturnoj tenzometrii [Methods and means of full strainometry]. M. Pub. Mashinostroenie [Mechanical engineering], 1989, 240 p. (in Russian)
- [6] Kobayasi A. Eksperimentalnaya mehanika [Experimental Mechanics]. M. Pub. Mir [Mir], 1990, ISBN 5-03-001543-4, 616 p. (in Russian)

- [7] Novickij P.V., Zograf I.A. Ocenka pogreshnostej rezultatov izmerenij [Estimation of errors in measurement results]. Leningrad. Pub. Energoatomizdat [Energoatomizdat], 1991, ISBN 5-283-04513-7, 304 p. (in Russian)
- [8] Kirillov P.L., Yuryev Yu.S., Bobkov V.P. Spravochnik po teplogidravlicheskim raschetam (yadernye reaktory, teploobmenniki, parogeneratory) [Handbook of thermohydraulic calculations (nuclear reactors, heat exchangers, steam generators)]. M. Pub. Energoatomizdat [Energoatomizdat], 1984, 384 p. (in Russian)
- [9] RTM 108.031.05–84. Oborudovanie teploobmennoe AES. Raschet teplovoj i gidravlicheskoj [RTM 108.031.05 - 84. Heat exchanging equipment for nuclear power plants. Thermal and hydraulic calculation]. Leningrad. Pub. NPO CKTI [NPO CKTI], 1986, 96 p. (in Russian)
- [10] RTM 108.302.03-86. Parogeneratory AES. Raschet vibracii teploobmennyx trub [RTM 108.302.03-86. Steam generators of nuclear power plants. Calculation of vibration of heat exchange tubes]. Leningrad. Pub. NPO CKTI [NPO CKTI], 1987, 74 p. (in Russian)

Operating Condition Research of Air Heat Exchanger of Emergency Cooling

A.M. Besedin^{*1}, A.Yu. Smolin^{*2}, A.S. Shamarokov^{**3}, S.B. Kravets^{***4},
A.S. Mirzaliyev^{*5}

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

e-mail: VITIkafAE@mephi.ru

¹ ORCID iD: 0000-0002-0348-8844

WoS ResearcherID: F-6138-2017;

² ORCID iD: 0000-0002-0148-2086

WoS ResearcherID: F-4089-2017;

⁵ ORCID iD: 0000-0003-1704-431X

WoS ResearcherID: F-7464-2017

*** Russian Research and Development Institute for Nuclear Power Production Sector Engineering,
Kosmonavta Volkova St., 6A, Moscow, Russia 125171*

e-mail: mail@vniiam.ru

³ ORCID iD: 0000-0003-3013-8062

Researcher ID: G-1504-2017

**** All-Russian Scientific and Research Institute for Nuclear Power Plant Operation,
Pherganskaya St., 25. Moscow, Russia 109507*

e-mail: vniiAES@vniiAES.ru

⁴ ORCID iD: 0000-0001-8297-3102

ResearcherID: F-7817-2017

Abstract – The research of aerodynamics, heat exchange, vibration and tension of the heatexchange device which surface of heating being gathering from evolvent screens is made on full-scale model. The vibration resistance of the tube and the gate of the apparatus is estimated. The influence of propellants and their geometry on the intensity of heat exchange is determined. Recommendations are given for equalizing the distribution of the air flow, accessibility of the slide and tubing.

Keywords: heat exchanger, heating surface, evolvent shields, aerodynamic resistance, heat transfer, vibration, strain gauge, velocity and temperature fields, reliability, NPP.

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

УДК 378:621

**ПОДГОТОВКА КВАЛИФИЦИРОВАННЫХ КАДРОВ
ДЛЯ ЗАРУБЕЖНЫХ АЭС КАК ФАКТОР ОБЕСПЕЧЕНИЯ
БЕЗОПАСНОСТИ В ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ**

© 2017 В.А. Руденко, С.А. Томилин, В.Г. Бекетов

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

В работе представлен опыт ВИТИ НИЯУ МИФИ по организации и проведению практической подготовки иностранных студентов по эксплуатации, техническому обслуживанию, ремонту и инжиниринговому сопровождению атомных электрических станций в Ресурсном центре НИЯУ МИФИ. Реализация такой подготовки является одним из важнейших факторов, способствующих надежной и безаварийной эксплуатации атомных электрических станций и обеспечивающих экономическую и экологическую безопасность.

Ключевые слова: ресурсный центр, практическая подготовка, подготовка иностранных студентов, безопасность в области использования атомной энергии.

Поступила в редакцию: 25.02.2017

Сегодня наша страна является мировым лидером по количеству энергоблоков, сооружаемых за рубежом. Это обусловлено, прежде всего, применением новейших разработок и технологий. Все реализуемые ГК «Росатом» проекты соответствуют современным международным требованиям и рекомендациям МАГАТЭ. В настоящее время ГК «Росатом» имеет крупные комплексные контракты в области атомной энергетики с Индией, Бангладеш, Китаем, Вьетнамом, Ираном, Турцией, Финляндией, ЮАР и с рядом стран Восточной Европы и СНГ. По состоянию на декабрь 2015 года, портфель заключенных зарубежных контрактов и соглашений ГК «Росатом» насчитывал более 30 энергоблоков атомных электрических станций (далее – АЭС) в разных странах. При этом основным экспортным вариантом является АЭС с реактором ВВЭР. Корпусное оборудование этих установок производится, в том числе, и на производственной площадке Филиала АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонск (далее – завод «Атоммаш»).

Важнейшим конкурентным преимуществом ГК «Росатом» на мировом рынке атомной энергии является комплексное предложение по оказанию услуг сооружения, эксплуатации и обслуживания АЭС за рубежом, включая и помощь в подготовке квалифицированного персонала.[1] При этом предоставление качественных образовательных услуг для иностранных студентов рассматривается не только с позиции коммерческой выгоды. Такой подход является важнейшим фактором обеспечения надежной и безаварийной эксплуатации АЭС, экономической и экологической безопасности. В этой связи задача кадрового обеспечения предприятий атомной энергетики за рубежом отечественными образовательными организациями и, в

частности, Национальным исследовательским ядерным университетом «МИФИ» (НИЯУ МИФИ), как профильным в этой области, стоит особенно остро.

В современных условиях задача подготовки квалифицированного персонала для зарубежных предприятий атомной энергетики требует для своего решения инновационных подходов. Важнейшим элементом обучения выступает практическая подготовка иностранных студентов, реализация которой может эффективно осуществляться совместно с отечественными предприятиями атомной отрасли. Ведь, «в атомной энергетике ошибки недопустимы... прежде чем допустить человека к самостоятельной работе, нужны не только диплом, но еще и хороший опыт» [2].

Обучение иностранных студентов имеет целый ряд сложностей, обусловленных их ментальностью, наличием языкового барьера, уровнем и особенностями базовой подготовки и т.д. Несмотря на это система образования должна быть построена так, чтобы результатом обучения стал высококвалифицированный специалист, обеспечивающий надежную и безаварийную эксплуатацию и ремонт оборудования АЭС.

Одной из эффективных форм взаимодействия образовательных организаций и предприятий атомной отрасли, позволяющей обеспечить необходимую практическую подготовку обучающихся, являются отраслевые ресурсные центры. Условия обучения в таких центрах максимально приближены к условиям выполнения реальных трудовых действий производственного персонала, осуществляющего качественную и безопасную работу по обслуживанию оборудования АЭС. Реализуемый подход представляется как инновационная, практико-ориентированная модель подготовки специалистов (в том числе и иностранных) для атомной отрасли [3].

В г. Волгодонске на базе Волгодонского инженерно-технического института – филиала НИЯУ МИФИ (далее – ВИТИ НИЯУ МИФИ) и предприятий атомной отрасли, расположенных в городе, открыт Ресурсный центр, который в 2016 году принял своих первых студентов. В настоящей работе представлен опыт организации подготовительных мероприятий и собственно проведения практической подготовки иностранных студентов для атомной отрасли в рамках данного Ресурсного центра.

Концепция создания и развития в г. Волгодонске Ресурсного центра НИЯУ МИФИ по подготовке кадров для эксплуатации, технического обслуживания, ремонта и инжиниринга зарубежных АЭС предусматривала переход к инновационной практико-ориентированной подготовке специалистов высокотехнологичного производства в целях реализации конкурентных преимуществ ГК «Росатом» на внутреннем и мировых рынках. Инициатором его создания выступила ГК «Росатом». Выбор г. Волгодонска для реализации поставленной задачи обусловлен наличием уникального комплекса факторов и конкурентных преимуществ, а также потенциалом развития регионального наукоемкого и высокотехнологичного производства. Соглашение о его создании было достигнуто на совещании, в работе которого приняли участие представители ГК «Росатом», АО «Концерн Росэнергоатом», АО «Атомэнергомаш», АО «АЭМ-технологии» (в том числе завода «Атоммаш»), НИЯУ МИФИ (в том числе ВИТИ НИЯУ МИФИ). Участники совещания признали необходимость создания такой структуры на базе существующего научно-производственного кластера в г. Волгодонске. Реализация проекта была поручена ВИТИ НИЯУ МИФИ совместно с предприятиями дивизионов ГК «Росатом», расположенными в г. Волгодонске. Предполагалось задействовать ресурсы завода «Атоммаш», Учебно-тренировочного подразделения филиала АО «Концерн Росэнергоатом» «Ростовская атомная станция» (далее – УТП РоАЭС), Волгодонского филиала АО «НИАЭП» – «Дирекция Генерального подрядчика на Ростовской атомной станции», АО «Атоммашэкспорт», ООО «Полесье», которые должны обеспечить совместно с подразделениями НИЯУ

МИФИ высококачественную практическую подготовку иностранных студентов на различных этапах их обучения.

Существенными условиями подготовки специалистов для атомной энергетики являются:

- материально-техническое обеспечение практического обучения на оборудовании, которое устанавливается на АЭС;
- учебно-методическое обеспечение, позволяющее сформировать необходимые компетенции и практические навыки у обучающихся;
- поэтапность формирования компетенций, выделенных в соответствии с требованиями профессиональных [4 – 7] и Федеральных государственных образовательных стандартов;
- обеспечение оптимального структурированного содержания и чередования теоретического и практического обучения;
- повышение квалификации педагогических кадров, обеспечивающих руководство практико-ориентированным обучением студентов;
- обеспечение эффективного сетевого взаимодействия образовательных организаций и других субъектов.

Реализация данных условий позволяет обеспечивать эффективную подготовку специалистов для атомной энергетики, которые без длительной адаптации будут способны выполнять свои должностные обязанности, обеспечивая надежную и безаварийную эксплуатацию основного и вспомогательного оборудования АЭС.

Перед Ресурсным центром НИЯУ МИФИ в г. Волгодонске были поставлены следующие задачи:

- консолидация и эффективное использование потенциальных возможностей и ресурсов предприятий ГК «Росатом», расположенных на территории г. Волгодонска и ВИТИ НИЯУ МИФИ;
- совершенствование условий для практического обучения студентов и специалистов атомной отрасли на оборудовании, изготавливаемом для АЭС с реактором ВВЭР;
- создание условий для разработки и реализации совместных образовательных программ разного уровня;
- совершенствование условий для развития международного сотрудничества в научно-исследовательской области в соответствии с приоритетными научными направлениями атомной отрасли;
- совершенствование системы координации, мониторинга и анализа качества обучения студентов и специалистов атомной отрасли;
- формирование и осуществление активной PR-политики на разных уровнях в сфере международной деятельности с целью продвижения достижений ГК «Росатом» за рубежом;
- расширение экспорта образовательных услуг.

Основными целями создания Ресурсного центра НИЯУ МИФИ в г. Волгодонске были определены:

1) Объединение ресурсов расположенных на территории города Волгодонска предприятий ГК «Росатом» и научно-образовательного кластера НИЯУ МИФИ. Уникальное расположение Ресурсного центра позволяет обеспечить высококачественную подготовку специалистов для инжинирингового сопровождения оборудования АЭС: изготовление оборудования, строительство, монтаж и эксплуатация. Стажер получает возможность проследить весь жизненный цикл эксплуатируемого на АЭС оборудования от момента его изготовления на заводе «Атоммаш» до получения готового изделия, его эксплуатации и ремонта. Кроме того,

появляется возможность изучения технологий диагностики и ремонта оборудования, разработанных Научно-исследовательским институтом атомного энергетического машиностроения ВИТИ НИЯУ МИФИ.

Обучаемые могут «заглянуть» внутрь чистого (с радиационной точки зрения) оборудования АЭС на этапе его изготовления, что позволяет им на качественно более высоком уровне представлять себе его внутреннее устройство, а значит и более эффективно осуществлять эксплуатацию и ремонт. Такая возможность особенно ценна для демонстрации корпусного оборудования реакторной установки для иностранных заказчиков.

2) Обеспечение высокого уровня профессионально-практической подготовки студентов на основе интегративного подхода к обучению, с использованием материально-технической базы Ресурсного центра и привлечением высококвалифицированного профессорско-преподавательского состава ВИТИ НИЯУ МИФИ.

3) Привитие студентам навыков культуры безопасности на всех этапах изготовления, монтажа и эксплуатации.

4) Обмен опытом по подготовке специалистов для атомной энергетики.

5) Привлечение через Ресурсный центр к образовательной деятельности научных и производственных кадров по технической эксплуатации и ремонту оборудования АЭС региональных предприятий ГК «Росатом».

6) Разработка и совершенствование информационно-методических материалов в целях обеспечения подготовки высококвалифицированных кадров для атомной отрасли.

7) Выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ с привлечением студентов, аспирантов и молодых ученых (в том числе, в рамках НИРС), с последующим использованием полученных результатов в образовательной и практической деятельности.

В качестве средств обучения в Ресурсном центре используется полномасштабное оборудование энергоблоков АЭС (расположенное на производственных площадках завода «Атоммаш», ООО «Полесье» и др.), тренажеры, симуляторы, тепломеханическое и др. оборудование (расположенные в УТП РоАЭС). Все это позволяет добиваться формирования у обучаемых знаний, умений и навыков, необходимых для выполнения трудовых функций и трудовых действий из широкого набора профессиональных стандартов работников отрасли.

В целях апробации предварительно был реализован пилотный проект по проведению производственной практики продолжительностью 2 недели для отечественных студентов специальности 14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг. После его завершения был проведен анализ его результатов, определены и реализованы корректирующие мероприятия.

Для подготовки иностранных студентов различных уровней образования были разработаны Дорожные карты практики с указанием времени (по часам) и места проведения отдельных ее элементов (практических занятий по изучению конструкции оборудования АЭС на полномасштабных образцах, технологических процессов его изготовления, методов контроля, изучению запорной и регулирующей арматуры, датчиков систем контроля и регулирования, систем безопасности энергоблока, систем и оборудования различных цехов и т.д.; тренингов по культуре безопасности; инструктажей; контрольных мероприятий), оборудования предприятий, на которых проводились конкретные занятия, и определен состав ответственных лиц, обеспечивавших организацию отдельных этапов практики, представителей предприятий и преподавателей ВИТИ НИЯУ МИФИ, проводивших инструктажи,

занятия и контрольные мероприятия. На этом этапе важнейшей составляющей являлось взаимодействие со структурными подразделениями (кафедрами) НИЯУ МИФИ, обеспечивавшими обучение этих студентов. Например, в рамках подготовки проведения производственной практики для иностранных студентов состоялся демонстрационный визит сотрудников Обнинского института атомной энергетики – филиала НИЯУ МИФИ (ИАТЭ НИЯУ МИФИ) в г. Волгодонск, в ходе которого выполнено знакомство с возможностями ВИТИ НИЯУ МИФИ и указанных выше предприятий для проведения практики, рассмотрена учебно-методическая документация (в том числе рабочий учебный план, по которому в ИАТЭ НИЯУ МИФИ иностранные студенты обучаются), содержание практики. После предварительного рассмотрения в дистанционном режиме шло согласование содержания программы.

Коллективом исполнителей от ВИТИ НИЯУ МИФИ были разработаны комплекты учебно-методических материалов (отдельно для каждой группы студентов), учитывающие содержание образовательной программы, особенности обучения студентов из разных стран, восприятия ими информации вследствие языкового барьера, ментальности и т.д. Были подготовлены рабочая тетрадь, памятки и инструкции, материалы обзорных лекций, планы практических занятий, контрольно-измерительные материалы для входного, текущего и итогового контролей. Применение этих материалов позволило обеспечить проведение практики на высоком организационном, научном и методическом уровнях. Кроме того, разработан пакет нормативно-правовой документации, регламентирующей прохождение практики, выполнены работы по сопровождению постановки иностранных студентов на миграционный учет.

На производственной площадке завода «Атоммаш», посредством подъемно-транспортных устройств, выполнено сосредоточенное размещение полномасштабных образцов оборудования АЭС, задействованных в процессе практики. Это позволило обеспечить более полную концентрацию внимания студентов на этом оборудовании, повысить эффективность и качество практических занятий и обеспечить безопасность прохождения практики студентами.

Непосредственно перед заездами в Ресурсный центр каждой группы иностранных студентов проводились организационные совещания о порядке прохождения производственной практики. Определялись (корректировались) ответственные исполнители для реализации намеченных мероприятий. Разрабатывался, обсуждался и корректировался план ежедневных досуговых мероприятий, учитывающий национальные особенности и ментальность студентов каждой групп. При заезде каждой группы студентов проводились вводные лекции и инструктажи, входной контроль их теоретической подготовки.

В период с 20 марта по 30 апреля 2016 г. была успешно проведена производственная практика студентов из Вьетнама (3 группы по 2 недели каждая), общее количество 64 человека. В период с 16 по 21 мая 2016 г. – учебная практика студентов (магистрантов и аспирантов) из Иордании (одна группа, продолжительность 1 неделя), общее количество 16 человек. Кроме того, успешно реализованы планы досуговых мероприятий.

По результатам прохождения практики студентами всех групп было отмечено успешное освоение программы практики и значительное повышение уровня подготовки в сравнении с данными входного контроля. Кроме того, для магистрантов и аспирантов из Иордании проведены консультации ведущими специалистами ВИТИ НИЯУ МИФИ и предприятий, на которых проходила практика, по вопросам научных исследований и намечены пути дальнейшего научного сотрудничества.

3 июня 2016 года в УТП РоАЭС прошел Круглый стол с участием представителей ГК «Росатом», завода «Атоммаш», Филиала АО «Концерн

Росэнергоатом» «Ростовская атомная станция», НИЯУ МИФИ по вопросу функционирования в г. Волгодонске Ресурсного центра, на котором были высоко оценены достигнутые результаты.

На основании анализа полученного опыта организации и проведения практической подготовки иностранных студентов открываются возможности для:

- расширения географии участников практико-ориентированной подготовки студентов путем привлечения филиалов и организаций ГК «Росатом», образовательных организаций в единую сеть Ресурсных центров НИЯУ МИФИ;
- открытия и развития Ресурсного центра НИЯУ МИФИ в г. Нововоронеж;
- создания сквозных рабочих программ практико-ориентированной подготовки на базе сети Ресурсных центров НИЯУ МИФИ;
- адаптации программ практико-ориентированной подготовки для зарубежных студентов в соответствии с существующими формами допуска к информации (после предварительного рассмотрения порядка и спецификации допуска иностранных студентов к информации, получаемой при прохождении практики);
- предоставления возможности студентам различных уровней образования в процессе выполнения выпускных квалификационных работ осуществлять в Ресурсном центре сбор и систематизацию практического материала.

Таким образом, практико-ориентированная подготовка квалифицированных кадров для зарубежных АЭС с использованием возможностей и потенциала Ресурсного центра НИЯУ МИФИ в г. Волгодонске позволяет осваивать целый ряд трудовых функций и трудовых действий еще на этапе обучения в образовательной организации и, как следствие, является важнейшим компонентом обеспечения безопасности в области использования атомной энергии за счет снижения влияния человеческого фактора на надежность и безаварийность работы АЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Строящиеся АЭС за рубежом [Электронный ресурс]. 2017. – Режим доступа: URL: http://archive.rosatom.ru/aboutcorporation/activity/energy_complex/designandbuilding/bild_npp_2/ – 15.02.2017.
2. Росатом создаст новые стандарты в сфере подготовки специалистов [Электронный ресурс]. 2017. Режим доступа: URL: <http://www.ocks-rosatoma.ru/about/press/smi/b772c58048d6406f8df69f7934e86c8e> – 15.02.2017.
3. Руденко, В.А. и др. Особенности современной реализации практикоориентированного подхода подготовки кадров для атомной отрасли в условиях ресурсных центров предприятий [Текст] / В.А. Руденко, Н.П. Василенко // Глобальная ядерная безопасность. – 2015. – №2(15). – С. 111–116.
4. Руденко, В.А. и др. Новые профессиональные стандарты для атомной отрасли и Производственная система «Росатом» [Текст] / В.А. Руденко, Н.Н. Подрезов, С.А. Томилин, Ю.В. Заяров, Г.А. Доблер, В.В. Синельщиков, А.Э. Гюок // Новый университет. Серия: Технические науки. – 2014. – №9(31). – С. 4–8.
5. Профессиональный стандарт 24.032 Специалист в области теплоэнергетики (реакторное отделение) (зарегистрирован в Минюсте России 26 мая 2015 г. №37394) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://fgosvo.ru/uploadfiles/profstandart/24.032.pdf> – 15.02.2017.
6. Профессиональный стандарт 24.037 Специалист по обслуживанию и ремонту механического оборудования атомных станций (зарегистрировано в Минюсте России 11 июня 2015 г. №37644) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://fgosvo.ru/uploadfiles/profstandart/24.037.pdf> – 15.02.2017.
7. Руденко, В.А. и др. Разработка профессионального стандарта для специалистов по обслуживанию и ремонту механического оборудования АЭС [Текст] / В.А. Руденко, С.А. Томилин, А.Г. Федотов, В.Г. Бекетов // Глобальная ядерная безопасность. – 2014. – №1(10). – С. 68–72.

REFERENCES

- [1] Stroiashchiesia AES za rubezhom [The NPPs under construction abroad]. 2017. Available at: http://archive.rosatom.ru/aboutcorporation/activity/energy_complex/designandbuilding/bild_npp_2/ (in Russian)
- [2] Rosatom sozdat novye standarty v sfere podgotovki [Rosatom will create new standards in the sphere of training of specialists]. 2017. Available at: <http://www.ocks-rosatoma.ru/about/press/smi/b772c58048d6406f8df69f7934e86c8e> (in Russian)
- [3] Rudenko V.A., Vasilenko N.P. Osobennosti sovremennoi realizatsii praktikoorientirovannogo podkhoda podgotovki kadrov dlia atomnoi otrasli v usloviakh resursnykh tsentrov predpriatii [Features of modern realization of the practical focused approach of training for nuclear industry in the conditions of the enterprise resource centers]. *Globalnaya yadernaya bezopasnost* [Global nuclear safety], 2015, №2(15), ISSN 2305-414X, pp. 111–116. (in Russian)
- [4] Rudenko V.A., Podrezov N.N., Tomilin S.A., Zaiarov Iu.V., Dobler G.A., Sinelshchikov V.V., Gook A.E. Novye professionalnye standarty dlia atomnoi otrasli i Proizvodstvennaia sistema «Rosatom» [New professional standards for nuclear industry and Rosatom Production system]. *Novyi universitet. Seriya: Tekhnicheskie nauki* [перевод], 2014, №9(31), ISSN 2221-9552, pp. 4–8. (in Russian)
- [5] Professionalnyi standart 24.032 Spetsialist v oblasti teploenergetiki (reaktoroe otdelenie) (zaregistririvan v Miniuste Rossii 26 maia 2015 g. №37394) [The professional standard 24.032 the Expert in the field of power system (reactor building) (№ 37394 is registered in the Ministry of Justice, Russian Federation on May 26, 2015)]. Available at: <http://fgosvo.ru/uploadfiles/profstandart/24.032.pdf> (in Russian)
- [6] Professionalnyi standart 24.037 Spetsialist po obsluzhivaniiu i remontu mekhanicheskogo oborudovaniia atomnykh stantsii (zaregistririvano v Miniuste Rossii 11 iunია 2015 g. №37644) [The professional standard 24.037 the Specialist in service and repair of the mechanical equipment of nuclear power plants (it is registered in the Ministry of Justice, Russian Federation on June 11, 2015 № 37644)]. Available at: <http://fgosvo.ru/uploadfiles/profstandart/24.037.pdf> (in Russian)
- [7] Rudenko V.A., Tomilin S.A., Fedotov A.G., Beketov V.G. Razrabotka professionalnogo standarta dlia spetsialistov po obsluzhivaniiu i remontu mekhanicheskogo oborudovaniia AES [Development of the professional standard for specialists in service and repair of the NPP mechanical equipment]. *Globalnaya yadernaya bezopasnost* [Global nuclear safety], 2014, №1(10), ISSN 2305-414X, pp. 68–72. (in Russian)

Training of Qualified Personnel for the Foreign NPPs as Providing Safety Factor in Nuclear Energy Using

V.A. Rudenko*, S.A. Tomilin, V.G. Beketov*****

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

* ORCID iD: 0000-0002-6698-5469

WoS ResearcherID: B-7730-2016;

** ORCID iD: 0000-0001-8661-8386

WoS ResearcherID: G-3465-2017;

*** ORCID iD: 0000-0003-0242-6745

WoS ResearcherID: G-3866-2017

The work presents the experience of VETI NRNU MEPhI in the organization and carrying out of practical training of foreign students in operation, maintenance, repair and engineering support of nuclear power plants in the NRNU MEPhI Resource Center. The implementation of such training is one of the most important factors contributing to the reliable and accident-free operation of nuclear power plants and ensuring economic and environmental safety.

Keywords: resource center, practical training, foreign student training, safety in nuclear energy using.

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

УДК [006:621.039]:377/378

**ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОГО ЭТАПА РАЗРАБОТКИ
ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ СТАНДАРТОВ
ДЛЯ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

© 2017 Е.Б. Весна*, И.Ю. Конюхов*, В.А. Руденко**, Н.П. Василенко**

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

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

В работе выделены особенности современного этапа разработки профессиональных стандартов, который характеризуется активной, в соответствии с нормативными документами, стадией их внедрения, а также завершением жизненного цикла стандартов, разработанных ранее. Создаются структуры, обеспечивающие административное сопровождение внедрения профессиональных стандартов, повышается уровень ответственности работодателей, привлекаемых к проведению экспертизы разрабатываемых документов, появляются возможности анализа допущенных неточностей в ранее утвержденных профессиональных стандартах. Отмечена необходимость учета трудовых действий профессиональных стандартов при разработке основной образовательной программы высшего и среднего специального образования.

Ключевые слова: атомная отрасль, профессиональные стандарты, подготовка специалистов.

Поступила в редакцию: 16.03.2017

Разработка профессиональных стандартов работников атомной отрасли имеет большое значение не только для отрасли, но и для общества в целом. Качество исполнения своих должностных обязанностей работниками, выполнение трудовых действий с применением соответствующих умений и знаний оказывают влияние на безопасность, являясь в некоторых случаях причинами нарушений и аварий, связанных с человеческим фактором, роль которого в обеспечении ядерной безопасности постоянно возрастает. Для решения проблемы дефицита работников в отрасли используется комплексный подход, ключевым направлением которого еще в 2013 году было определено формирование концепции системы профессионального обучения квалифицированных рабочих кадров атомной отрасли. Основными механизмами реализации данной концепции являются - разработка профессиональных стандартов, формирование системы ресурсных центров нового поколения, совершенствование нормативно-правовой базы [1].

В связи с этим, в 2013 году в Госкорпорации «Росатом» и ее организациях стартовал проект по разработке профессиональных стандартов для специалистов предприятий атомной энергетики, промышленности и науки. По данным Реестра профессиональных стандартов, уже в 2014 году в Минюсте России было зарегистрировано около 25 отраслевых стандартов, вступивших в силу с 2015 года. В 23 из них уже внесены изменения, и с 2017 года они действуют в новой редакции. В

2015 году в Минюсте России было зарегистрировано уже около 45 профессиональных стандартов отрасли. В настоящее время идет обсуждение проектов документов, разработанных в 2016 году [2]. Продолжается работа над проектированием и обсуждением стандартов и в 2017 году, в частности, профессиональным стандартом «Специалист учебно-тренировочного подразделения атомной станции (технические средства обучения)».

Особую роль в работе над профессиональными стандартами играют соответствующие законодательные новации. Так, в 2013 году, вступление в силу приказов Министерства труда и социального развития РФ привело к работе по актуализации действующих ПС. В новых требованиях были изменены подходы в определении макета профессиональных стандартов с учетом утвержденных уровней квалификации, ставшие объектом особого внимания экспертов [3], а также нормативной основой для работы над новыми проектами профессиональных стандартов. В частности, авторами статьи в 2014 г. был разработан профессиональный стандарт "Специалист в области профессионального обучения персонала", с определением:

- вида профессиональной деятельности: «Деятельность по обеспечению работоспособности атомных электростанций»;
- возможных наименований должностей: инструктор общей подготовки персонала, начальник учебно-тренировочного подразделения, заместитель начальника учебно-тренировочного подразделения;
- квалификационных уровней (полномочий и ответственности);
- обобщенных трудовых функций с учетом возможности аттестации работника в отдельности по каждой из них;
- трудовых действий и соответствующих им навыков и знаний [4].

Подобные подходы к разработке профессиональных стандартов продолжают применяться, однако, происходят постоянные корректировки, дополнения, вызванные необходимостью их совершенствования. Так, ранее, при определении наименования должности, тарификации работ, установлении системы оплаты труда работодатели могли в равной степени использовать как квалификационные справочники, так и профессиональные стандарты, но уже с 1 июля 2016 г., в соответствии с Федеральным законом от 2 мая 2015 г. №122-ФЗ «О внесении изменений в Трудовой кодекс Российской Федерации и статьи 11 и 73 Федерального закона «Об образовании в Российской Федерации», применение профессиональных стандартов работодателями стало обязательным в части требований к квалификации, необходимой работнику для выполнения его трудовых функций. В соответствии с данными изменениями профессиональные стандарты должны использоваться работодателями при формировании кадровой политики и в управлении персоналом, при организации обучения и аттестации работников, при тарификации работ и присвоении тарифных разрядов работникам и при установлении систем оплаты труда (рис. 1) [5].

Отличительной особенностью современного этапа процесса разработки и внедрения профессиональных стандартов, обусловленной острой актуальностью этого процесса, является непрерывный тщательный контроль за их соответствием установленным требованиям. В первую очередь, это Постановление Правительства РФ от 27 июня 2016 г. №584 «Об особенностях применения профессиональных стандартов в части требований, обязательных для применения государственными внебюджетными фондами Российской Федерации, государственными или муниципальными учреждениями, государственными или муниципальными унитарными предприятиями, а также государственными корпорациями, государственными компаниями и хозяйственными обществами, более пятидесяти процентов акций (долей) в уставном капитале которых находится в государственной собственности или муниципальной

собственности».

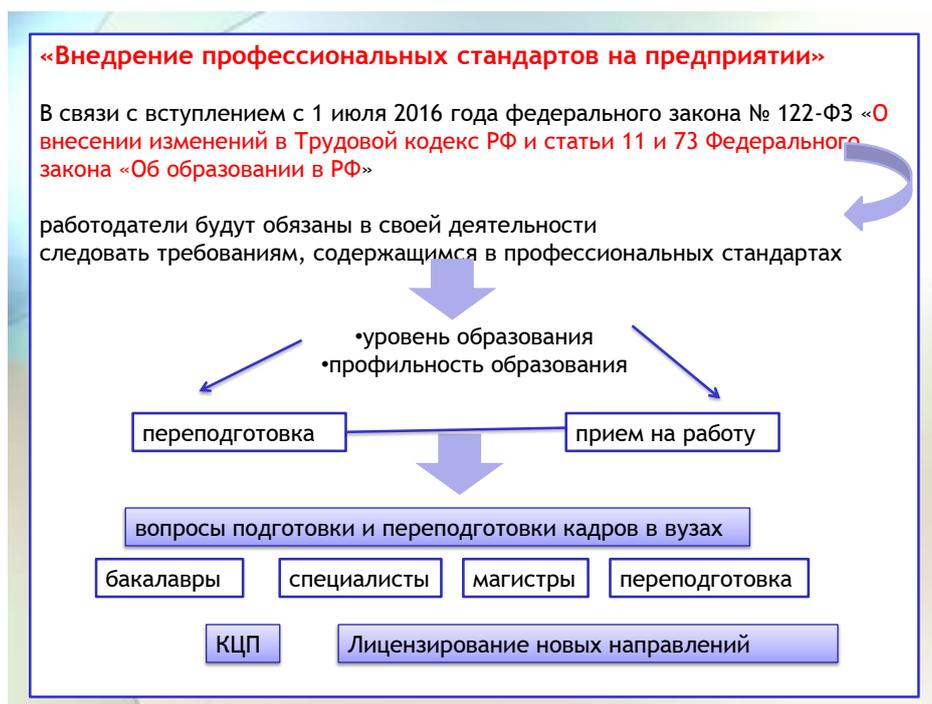


Рис. 1. – Направления организационной деятельности вуза в связи с внедрением профессиональных стандартов на предприятии

В документе подчеркивается, что «профессиональные стандарты в части требований к квалификации, необходимой работнику для выполнения определенной трудовой функции, установленных Трудовым кодексом Российской Федерации, другими федеральными законами, актами Президента Российской Федерации, Правительства Российской Федерации и федеральных органов исполнительной власти, применяются поэтапно, на основе локальных нормативных актов и других документов организаций, указанных в первом абзаце документа, в том числе по вопросам аттестации, сертификации и других форм оценки квалификации работников, подлежащих изменению в связи с учетом положений профессиональных стандартов, подлежащих применению до 1 января 2020 г.». Кроме того, документ содержит рекомендации федеральным органам власти, органам исполнительной власти субъектов Российской Федерации, органам местного самоуправления и организациям «направлять предложения по актуализации профессиональных стандартов (при наличии) в Министерство труда и социальной защиты Российской Федерации в целях организации их рассмотрения в установленном порядке в Национальном совете при Президенте Российской Федерации по профессиональным квалификациям» [6].

Национальный совет при Президенте Российской Федерации по профессиональным квалификациям проводит анализ проектов профессиональных стандартов и дает заключения, на основании которых принимается решение об их утверждении. Национальный совет координирует работу, направленную на повышение качества профессионального образования, по приведению федеральных государственных стандартов профессионального образования в соответствие с профессиональными стандартами. Для реализации этих задач была создана Рабочая группа Национального совета по применению профессиональных стандартов в системе профессионального образования и обучения, а также утвержден «Регламент взаимодействия участников процесса разработки и актуализации федеральных

государственных образовательных стандартов профессионального образования в соответствии с принимаемыми профессиональными стандартами» [7].

Деятельность Национального совета очень актуальна, поскольку внедрение профессиональных стандартов вызвало множество вопросов, выявило проблемы, связанные с обновлением нормативных документов в атомной отрасли и системе образования. Поэтому перед разработчиками современного варианта ПС и теми, кто актуализирует действующие варианты, стоит новая задача – анализ несоответствий, претензий работодателей, учет новых нормативных документов и своевременное внесение коррективов.

При подготовке ПС необходимо ориентироваться на то, что на их основе (при наличии) «должно осуществляться формирование требований федеральных государственных образовательных стандартов профессионального образования к результатам освоения основных образовательных программ профессионального образования в части профессиональной компетенции». Федеральные государственные образовательные стандарты профессионального образования, утвержденные до 1 июля 2016 г., «подлежат приведению в соответствие указанному требованию» [5].

Авторами проанализированы разработанные ранее профессиональные стандарты для атомной отрасли и образовательные стандарты, действующие в системе высшего образования [8]. Оценка проводилась по разделам утвержденных профессиональных стандартов атомной отрасли в соответствии с нормативными документами (табл. 1).

Ниже, в таблице 1 представлены данные отдельных разделов профессиональных стандартов.

Таблица 1. – Данные отдельных разделов профессиональных стандартов

Специалист в области теплоэнергетики (реакторное отделение)	1. Инженер реакторного цеха (отделения) 2. Инженер II категории реакторного цеха (отделения) 3. Инженер I категории реакторного цеха (отделения) 4. Инженер по организации эксплуатации и ремонту 5. Сменный инженер (по эксплуатации тепломеханического оборудования) 6. Инженер по техническому надзору 7. Инженер по техническому надзору I категории 8. Инженер по техническому надзору II категории 9. Инженер по ремонту 10. Инженер-технолог (по ремонту)		1. Ведущий инженер реакторного цеха (отделения) 2. Ведущий инженер 3. Ведущий инженер по организации эксплуатации и ремонту 4. Старший инженер по организации эксплуатации и ремонту 5. Ведущий инженер по техническому надзору 6. Ведущий инженер по ремонту реакторного цеха (отделения)		1. Заместитель начальника реакторного цеха (отделения) по эксплуатации 2. Заместитель начальника реакторного цеха (отделения) по ремонту 3. Начальник смены реакторного цеха (отделения) 4. Начальник смены цеха (отделения) 5. Старший начальник смены реакторного цеха (отделения) 6. Начальник участка реакторного цеха (отделения)	
	Б		С, М		С, М	
	А-6		В-7		С-7	
Специалист по обслуживанию и ремонту механического оборудования атомных станций	Техник		1. Мастер 2. Инженер 3. Инженер-технолог 4. Инженер-электрик 5. Инженер-электроник		1. Старший мастер 2. Начальник участка	
	Б		Б		Б	
	А-5		В-6		С-6	
Специалист в области производственно-технологической комплектации на атомных станциях	Техник		Инженер по комплектации оборудования АС		1. Ведущий инженер 2. Начальник отдела 3. Заместитель начальника управления	
	СП		Б		С, М	
	А-5		В-6		С-7	
				Начальник управления		
				С, М		
				D-7		

Проведенная работа позволила определить, что во всех профессиональных стандартах, требующих специалистов с высшим образованием, предусмотрен уровень бакалавриата – в основном, это специалисты для выполнения обобщенных и трудовых функций 5-го и 6-го уровней квалификации с возможными наименованиями должностей: инженер, старший оператор, мастер участка и т.д. Для выполнения обобщенных и трудовых функций 7-го и выше уровней квалификации с возможными наименованиями должностей – руководитель/начальник отдела, заместители начальника отдела, ведущий инженер, ведущий специалист, главный инженер, заместитель главного инженера, директор, начальник участка/службы, начальник управления и другие руководящие должности – требуются работники с уровнем образования «специалитет» или «магистратура».

В результате, можно сделать вывод о том, что вуз должен представить возможность своим студентам, обучающимся по программам бакалавриата, выбрать траекторию своего дальнейшего обучения по программам магистратуры. Однако, в некоторых профессиональных стандартах, разработанных до 2014 года, для трудовых функций данного уровня указаны такие коды специальностей по образованию, по которым в настоящее время ведется подготовка только по направлению бакалавриата, а специалитета и магистратуры нет (в соответствии с разъяснениями Министерства образования и науки Российской Федерации по вопросам применения установленных соответствий при утверждении новых перечней профессий, специальностей и направлений подготовки, указанных в предыдущих перечнях («переходник»)).

Учитывая, что жизненный цикл профессиональных стандартов определяется в 2-3 года, очевидно, что в обновленных профессиональных стандартах таких несоответствий уже не повторится. В то же время, анализ трудовых действий, умений и знаний работников, представленных в профессиональных стандартах, уже сейчас, до выхода в свет образовательных стандартов четвертого поколения, ориентирует профессорско-преподавательский состав вуза на коррекцию содержания образовательных программ, учебно-методических материалов и фондов оценочных средств.

В качестве важной особенности разработки современных профессиональных стандартов следует выделить повышение роли работодателей при их обсуждении и экспертной оценке. На сайте Союза работодателей атомной промышленности, энергетики и науки России отмечается: «Для повышения качества разрабатываемых стандартов, с целью всестороннего их профессионально-общественного обсуждения разработчиком НИЯУ МИФИ проводятся круглые столы с участием специалистов предприятий, в том числе членов Союза работодателей атомной промышленности, энергетики и науки России. Информация о ходе разработки профессиональных стандартов размещается в СМИ, профильных изданиях, в сети Интернет» [9].

В процессе разработки профессионального стандарта «Специалист учебно-тренировочного подразделения атомной станции (технические средства обучения)» авторы статьи пришли к выводу о высокой степени заинтересованности руководителей Учебно-тренировочных подразделений АЭС, досконально проанализировавших все предлагаемые разработчиками обобщенные и трудовые функции, соответствующие им умения и знания, возможные наименования должностей, требования к образованию и опыту практической работы. Экспертом от Балтийской АЭС выступил начальник УТП, от Нововоронежской АЭС – начальник отдела эксплуатации ТСО УТП, от Ростовской АЭС – начальник ОЭТСО УТП и инженер-программист 1к УТП, от Калининской АЭС – и.о. начальника УТП и начальник отдела эксплуатации ТСО, от Ленинградской АЭС – начальник УТЦ.

Работа по подготовке указанного профессионального стандарта велась разработчиками в соответствии с «Типовым положением об учебно-тренировочном подразделении атомной станции», где приведены наименования должностей, соответствующие Общероссийскому классификатору профессий рабочих, должностей служащих и тарифных разрядов. Как показала практика, в Положениях об УТП АС нет единого подхода к определению должностей в отделах эксплуатации ТСО. Рекомендовано, в соответствии со штатным расписанием АС, в Положении об УТП указать конкретные наименования должностей. Разрабатываемый профессиональный стандарт воспринимается как документ к исполнению после утверждения, и, следовательно, как посыл к изменениям. Это подтверждено соответствующими замечаниями экспертов.

Таким образом, в результате анализа выявлено, что современный этап разработки профессиональных стандартов характеризуется активной, в соответствии с нормативными документами, стадией их внедрения. Завершается жизненный цикл ранее подготовленных профессиональных стандартов, создаются структуры, обеспечивающие их административное сопровождение. Отмечается более ответственное отношение работодателей к проведению экспертизы разрабатываемых документов, необходимость анализа допущенных неточностей в ранее утвержденных профессиональных стандартах и требование учета трудовых действий профессиональных стандартов при разработке основной образовательной программы высшего и среднего специального образования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уварова, Г. Человеческий фактор в обеспечении ядерной безопасности [Электронный ресурс] / Г. Уварова // Ваш партнер-консультант. – 2013. – №20(9486). – Режим доступа: URL: <https://www.eg-online.ru/article/211801/> – 05.02.2017.
2. Разработка Профессиональных стандартов предприятий атомной энергетики, промышленности и науки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://srrosatom.ru/node/1281> – 15.03.2017.
3. Руденко, В.А. и др. К вопросу об актуализации действующих профессиональных стандартов [Текст] / В.А. Руденко, Н.Н. Подрезов, Г.А. Доблер, Н.В. Абрисимова // Глобальная ядерная безопасность. – 2013. – №3(8). – С. 82–85.
4. Руденко, В.А. и др. Разработка профессиональных стандартов для атомной отрасли [Текст] / В.А. Руденко, Н.П. Василенко, Г.А. Доблер, С.А. Томилин, В.Г. Бекетов, А.Г. Федотов // Глобальная ядерная безопасность. – 2014. – №1(10). – С. 87–90.
5. Федеральный закон «О внесении изменений в Трудовой кодекс Российской Федерации и статьи 11 и 73 Федерального закона «Об образовании в Российской Федерации» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://pravo.gov.ru> – 15.03.2017.
6. Постановление Правительства РФ от 27 июня 2016 г. №584 «Об особенностях применения профессиональных стандартов в части требований, обязательных для применения государственными внебюджетными фондами Российской Федерации, государственными или муниципальными учреждениями, государственными или муниципальными унитарными предприятиями, а также государственными корпорациями, государственными компаниями и хозяйственными обществами, более пятидесяти процентов акций (долей) в уставном капитале которых находится в государственной собственности или муниципальной собственности» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: www.garant.ru/hotlaw/federal/767456 – 15.03.2017.
7. Национальный совет при Президенте Российской Федерации по профессиональным квалификациям [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: nspkrf.ru/documents – 15.03.2017.
8. Руденко, В.А. и др. Основные проблемы организации подготовки специалистов для атомной отрасли в условиях внедрения профессиональных стандартов [Текст] / В.А. Руденко, С.А. Томилин, Н.П. Василенко // Глобальная ядерная безопасность. – 2016. – №3(20). – С. 80–87.
9. Официальный сайт Союза работодателей атомной промышленности, энергетики и науки России. 2017. - Режим доступа: URL: <http://www.srrosatom.ru/> - 10.03.2017.

REFERENCES

- [1] Uvarova G. Chelovecheskij faktor v obespechenii yadernoj bezopasnosti [The human factor in ensuring nuclear safety]. Vash partner-konsultant [Your partner-consultant], 2013, №20(9486). Available at: <https://www.eg-online.ru/article/211801/> (in Russian)
- [2] Razrabotka Professionalnykh standartov predpriyatij atomnoj energetiki, promyshlennosti i nauki [Elaboration of Professional Standards for Enterprises of Nuclear Power Engineering, Industry and Science]. Available at: <http://srrosatom.ru/node/1281> (in Russian)
- [3] Rudenko V.A., Podrezov N.N., Dobler G.A., Abrosimova N.V. K voprosu ob aktualizacii dejstvuyushhikh professionalnykh standartov [Actualization of existing professional standards]. Globalnaya yadernaya bezopasnost [Global nuclear safety], 2013, №3(8), ISSN 2305-414X, eISSN 2499-9733, pp. 82–85. (in Russian)
- [4] Rudenko V.A., Vasilenko N.P., Dobler G.A., Tomilin S.A., Beketov V.G., Fedotov A.G. Razrabotka professionalnykh standartov dlya atomnoj otrasli [Development of professional standards for the nuclear industry]. Globalnaya yadernaya bezopasnost [Global nuclear safety], 2014, №1(10), ISSN 2305-414X, eISSN 2499-9733, pp. 87–90. (in Russian)
- [5] Federalnyj zakon «O vnesenii izmenenij v Trudovoj kodeks Rossijskoj Federacii i stati 11 i 73 Federalnogo zakona «Ob obrazovanii v Rossijskoj Federacii» [The Federal Law "Amendments to the Labor Code of the Russian Federation and Articles 11 and 73 of the Federal Law "Education in the Russian Federation"]. Available at: <http://pravo.gov.ru> (in Russian)
- [6] Postanovlenie Pravitelstva RF ot 27 iyunya 2016 g. №584 «Ob osobennostyakh primeneniya professionalnykh standartov v chasti trebovanij, obyazatelnykh dlya primeneniya gosudarstvennymi vnebyudzhetynymi fondami Rossijskoj Federacii, gosudarstvennymi ili municipalnymi uchrezhdeniyami, gosudarstvennymi ili municipal'nymi unitarnymi predpriyatiyami, a takzhe gosudarstvennymi korporacijami, gosudarstvennymi kompaniyami i hozyajstvennymi obshhestvami, bolee pyatidesyati procentov akcij (dolej) v ustavnom kapitale kotorykh nakhoditsya v gosudarstvennoj sobstvennosti ili municipalnoj sobstvennosti» [Resolution of the Russian Government dated June 27, 2016 №584 "Peculiarities of application of professional standards in terms of mandatory requirements for the application of state non-budgetary funds of the Russian Federation, state or municipal institutions, state or municipal unitary enterprises and state corporations, state-owned companies and business entities, over fifty percent of shares (stakes) in the authorized capital of which is state-owned or municipal property"]. Available at: www.garant.ru/hotlaw/federal/767456 (in Russian)
- [7] Nacionalnyj sovet pri Prezidente Rossijskoj Federacii po professionalnym kvalifikacijam [The National Council of the President of the Russian Federation for Professional Qualifications]. Available at: nspkrf.ru/documents (in Russian)
- [8] Rudenko V.A., Tomilin S.A., Vasilenko N.P. Osnovnye problemy organizacii podgotovki specialistov dlya atomnoj otrasli v usloviyakh vnedreniya professionalnykh standartov [The main problems of training specialists for the nuclear industry in the context of the introduction of professional standards]. Globalnaya yadernaya bezopasnost [Global nuclear safety], 2016, №3(20), ISSN 2305-414X, eISSN 2499-9733, pp. 80–87. (in Russian)
- [9] Official site. The Union of employers of the atomic industry, power and science of Russia. 2017. Available at: <http://www.srrosatom.ru>

Modern Peculiarities of Professional Standard Development for the Nuclear Industry

E.B. Vesna*¹, I.Yu. Konyukhov*², V.A. Rudenko³, N.P. Vasilenko**⁴**

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

¹ *e-mail: EBVesna@mephi.ru*

ORCID iD: 0000-0001-5509-6693

WoS ResearcherID: G-6663-2017

² *e-mail: IYKonyukhov@mephi.ru*

ORCID iD: 0000-0001-6557-1873

WoS ResearcherID: G-6656-2017

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

³*ORCID iD: 0000-0002-6698-5469*

WoS ResearcherID: B-7730-2016

⁴*ORCID iD: 0000-0001-7054-1302*

WoS ResearcherID: G-4963-2017

Abstract – The article highlighted the present stage of professional standard development which is characterized by active stage of their introduction, completion of earlier developed professional standards, creation of administrative structures of the developed standards accompanying their development and deployment, a responsible attitude of employers to examination of the developed standards, a possibility of the analysis of the allowed inaccuracies in the previous professional standards and need of the accounting of professional standard labor actions when developing the main educational program of the higher and secondary vocational education.

Keywords: nuclear industry, professional standards, training of specialists.

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

УДК 159.9:62

**ПРЯМЫЕ И КОСВЕННЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ
РЕАКЦИИ ОПЕРАТОРА УПРАВЛЕНИЯ АЭС¹**

© 2017 М.В. Алюшин, А.М. Алюшин, М.Э. Аткина

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

Предложен подход к определению времени реакции оператора управления АЭС непосредственно в процессе выполнения им своих производственных обязанностей. Подход базируется на использовании возможностей дистанционных неконтактных технологий по регистрации биопараметров человека. Подход ориентирован на использование автоматизированных средств обработки данных в реальном масштабе времени.

Ключевые слова: время реакции, прямые и косвенные методы измерения, человеческий фактор.

Поступила в редакцию: 24.02.2017

Одним из интегральных параметров, характеризующих текущее эмоциональное и психоэмоциональное состояние операторов управления АЭС, а также других опасных производств и объектов является время реакции (ВР). Данный параметр имеет чрезвычайно важное значение с точки зрения обеспечения надежной и безаварийной работы АЭС и других опасных объектов, так как обуславливает своевременность ответных действий в случае возникновения аварийных и нештатных ситуаций [1]. Увеличенные значения ВР обычно свидетельствуют об усталости, сильном утомлении, либо даже о стрессовом состоянии оператора управления опасным объектом. При этом, как правило, величина ВР коррелирует с вероятностью совершения ошибочных действий. По этой причине постоянный контроль данного параметра позволит снизить риск возникновения, а также уменьшить последствия возможных катастроф техногенного происхождения за счет своевременного выявления операторов с недопустимо большим значением данного показателя непосредственно в процессе выполнения ими своих производственных обязанностей [2–7].

В настоящее время на практике в большинстве случаев используются преимущественно прямые методы измерения параметра ВР. Предельно допустимые значения данного параметра для операторов управления опасными объектами в различных областях регламентируются соответствующими отраслевыми стандартами. Наиболее показательным в этом плане является, например, железнодорожный и авиационный транспорт, для которых разработаны достаточно подробные методики и инструкции для определения ВР соответственно для машинистов скоростных поездов и пилотов. В таблице 1, например, представлены предельно допустимые значения ВР для

¹ Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (РНФ) № 16-18-00069 «Снижение риска возникновения и уменьшение последствий катастроф техногенного происхождения за счет минимизации влияния человеческого фактора на надежность и безаварийность работы АЭС и других опасных объектов».

наиболее типичных простых и сложных сенсомоторных реакций машиниста при проведении планового тестирования [6]. Превышение указанных показателей является основанием для отказа в допуске на управление скоростным поездом.

К сожалению, разработанные к настоящему времени методические и технические средства для указанных областей ориентированы только на применение исключительно прямых методов измерения ВР, предполагающих измерение интервала времени между моментом появления зрительного, либо акустического раздражителя и моментом времени появления ответной простой, либо сложной сенсомоторной реакции. Реализация такого методического подхода возможна, в основном, только в лабораторных условиях, как правило, при периодических медицинских осмотрах, либо при проведении предсменного контроля.

Таблица 1. – Предельно допустимые значения ВР для простых и сложных сенсомоторных реакций

№ п/п	ВР, с	Типовая тестовая задача	Тип сенсомоторной реакции
1.	Не более 0,36	Нажатие кнопки «Стоп» при включении только красной лампочки	Простая
2.	Не более 0,6	Дифференциация зрительных сигналов в сочетании с активностью в двигательной сфере	Сложная

Данное исследование направлено на создание методики и технических средств определения ВР непосредственно в процессе выполнения оператором управления своих производственных функций. Для этой цели предлагается использовать непрямые косвенные методы измерения ВР, так как применение прямых методов в большинстве случаев достаточно проблематично как с методической, так и с технической точек зрения, либо просто невозможно.

Основными факторами, затрудняющими использование прямых методов и средств измерения ВР оперативного персонала непосредственно в процессе осуществления ими функций управления опасным объектом, являются:

- трудности классификации типа ответной сенсомоторной реакции (простая, либо сложная) для правильной оценки ВР в реальной производственной обстановке;
- нежелательность, либо невозможность применения дополнительных технических устройств и элементов для определения ВР непосредственно на рабочем месте оператора;
- трудность систематизации и учета действия отвлекающих и мешающих помех различного характера.

Первый фактор обычно обусловлен сложностью интерфейса взаимодействия оператора управления с применяемой технической системой управления опасным объектом, а также сложностью реализуемого алгоритма управления, особенно в нештатных и аварийных ситуациях. Типичными примерами могут служить многощитовая многоприборная система управления АЭС, многоприборная (многоэкранная) система управления современным самолетом, скоростным поездом, автотранспортом. Системы управления такого класса обычно содержат десятки или даже сотни элементов управления, измерительных приборов и индикаторов. Ответная реакция оператора управления, как правило, предполагает наличие достаточно продолжительного по времени этапа осмысления новой информации, проверку

значений целой совокупности контрольных параметров в случае необходимости, а также определенную последовательность действий по управлению объектом, включающую, например, воздействие на различные кнопки, рычаги и регуляторы, расположенные либо в различных местах одной панели управления, либо даже на различных панелях управления.

Широкий спектр возможных ответных двигательных реакций различной сложности, зависимость ВР от характера внешнего раздражителя (звуковой, оптический) [6, 7] является принципиальным моментом, затрудняющим применение унифицированных, предельно допустимых значений для ВР. Необходимо отметить, что и сами предельно допустимые значения для ВР варьируются достаточно сильно даже для ответных реакций одного уровня, например, простых, что в значительной степени обусловлено спецификой и возможностями реализуемого способа измерения ВР.

Второй фактор обусловлен не только проблемами применения дополнительного технических средств, но также сложностью современных систем управления опасными объектами, практически полностью исключаящими возможность отвлечения операторов от выполняемых ими функций управления объектом с целью измерения ВР прямыми методами.

Третий фактор обусловлен, в первую очередь, случайной природой возникновения оптических и акустических помех, влияющих на ВР оператора управления опасным объектом [7].

Практически все применяемые на практике прямые методы определения ВР можно подразделить на две группы, предполагающие использование либо механических тренажеров, либо компьютерной техники.

Типичным представителем первой группы является, например, метод измерения ВР, основывающийся на использовании падающей линейки. Сущность данного метода заключается в том, что тестирующий (тестирующее устройство) неожиданно отпускает вертикально ориентированную линейку, которую тестируемый должен успеть схватить, так как она падает с ускорением. В зависимости от скорости реакции тестируемого линейка будет схвачена им в различных местах, при этом расстояние, которое успела пролететь линейка (соответствует месту захвата линейки тестируемым) может быть использовано для определения ВР. При использовании простой линейки длиной 30 сантиметров возможный диапазон измерения ВР обычно составляет от 0,125с до 0,25с.

Основным достоинством рассмотренного метода является его простота. По этой причине он широко используется, например, в учебных и спортивных учреждениях. Однако недостаточно широкий диапазон измерения ВР, а также значительное увеличение погрешности определения ВР для больших значений ВР, обусловленное существенным возрастанием скорости падения линейки, ограничивает сферу его возможных применений. В целом, подобные технологии на практике используются преимущественно в домашних условиях с целью приблизительной оценки ВР, например, при занятии спортом. При этом желательно использовать линейку длиной не менее 0,5 м, что позволит осуществить измерение ВР в большем временном диапазоне.

Вторая группа методов, основывающихся на использовании компьютерной техники, является более универсальной и допускает различные варианты практической реализации. Так, например, в последнее время активно развиваются дистанционные технологии, которые позволяют любому человеку в режиме реального времени осуществить оценку своего текущего ВР, используя только персональный компьютер, имеющий клавиатуру и мышь. Для этого достаточно зайти на один из специализированных сайтов и пройти процедуру тестирования, которая, как правило, основывается на анализе интервалов времени между появлением на мониторе компьютера определенного графического символа (знака, условного обозначения,

текстового сообщения) и моментом времени нажатия на определенную клавишу клавиатуры, либо кнопку компьютерной мышки. При этом специализированная программа с достаточно высокой точностью определит персональное значение ВР, которое может варьироваться в широком диапазоне в зависимости от возраста, текущего психоэмоционального и функционального состояния тестируемого. В табл. 2 показаны типичные качественные оценки состояния тестируемого в зависимости от полученного значения ВР с помощью компьютерных технологий.

К сожалению, применение рассмотренных компьютерных технологий определения ВР для таких сфер, как атомная энергетика, авиация, скоростной транспорт, опасные химические производства и многие другие, характеризующиеся сложнейшими системами управления, непосредственно в процессе работы затруднительно, в первую очередь, по причине невозможности их совмещения с действующими системами управления данными объектами без существенной модернизации последних.

Таким образом, применение прямых методов измерения ВР оператора управления современным опасным объектом на практике является невозможным, либо чрезвычайно сложным, так как требует логического анализа сложившейся ситуации и последовательности ответных действий, включая анализ двигательной активности оператора. Тем не менее, в перспективе при внедрении в системы управления опасными объектами элементов искусственного интеллекта данный подход может быть успешно реализован на практике.

Таблица 2. – Компьютерные методы оценки ВР

№	ВР, с	Оценка текущего состояния тестируемого	Пример/ вывод
1.	Менее 0,15	Высокий уровень профессиональной подготовки. Очень хорошая физическая форма	Военный летчик
2.	0,15 – 0,21	Хороший уровень профессиональной подготовки. Хорошая физическая форма	Мастер спорта, кандидат в мастера спорта
3.	0,21 – 0,27	Хороший уровень профессиональной подготовки, Удовлетворительная физическая форма	Активное занятие спортом
4.	0,27 – 0,35	Среднее состояние, типичное для большинства людей	Большинство обычных людей
5.	0,35 – 0,5	Плохая подготовка, плохое состояние	Сильное утомление, усталость
6.	Более 0,5	Очень плохая подготовка и состояние	Возможно проблемы со здоровьем

Предлагаемая технология косвенного определения ВР оператора основывается на использовании объективных данных о ВР оперативного состава управления, полученных с помощью рассмотренных выше прямых методов, а также на существующей зависимости ВР от текущего функционального и психоэмоционального состояния оператора. В настоящее время разработаны технологии и технические средства для достоверной оценки текущего состояния оператора на основе неконтактных и дистанционных технологий [2, 3]. Учитывая эти технологические возможности, предлагается следующий подход к определению ВР непосредственно в процессе работы оператора, включающий в себя следующие основные этапы:

- измерение ВР оператора прямыми методами одновременно с регистрацией его основных биопараметров, характеризующих работу сердечно-сосудистой системы, системы дыхания, периферической нервной системы [4, 5], при различных уровнях нагрузки, например, при периодических медицинских осмотрах;
- построение персональной функциональной модели (ПФМ), описывающей зависимость ВР оператора от измеренных биопараметров на основе корреляционного анализа экспериментальных данных, полученных описанным выше способом [6];
- определение биопараметров для оператора с помощью дистанционных неконтактных технологий непосредственно в процессе выполнения им своих производственных обязанностей;
- использование полученной ранее ПФМ для определения ВР оператора непосредственно в процессе его работы;
- периодическое уточнение параметров ПФМ в процессе периодических медицинских осмотров и проведении предсменного контроля;
- учет влияния внешних мешающих факторов (акустические шумы) для уточнения полученных значений параметра ВР [7].

Основными достоинствами предлагаемой технологии являются возможность ее интеграции с существующими техническими средствами (пультами) управления опасными объектами без их существенной модернизации, а также без изменения алгоритмов их эксплуатации, что особенно важно в случае возникновения нештатных и аварийных ситуаций, во время которых знание текущего состояния оператора наиболее ценно.

На рисунке 1 представлена общая структурная схема, иллюстрирующая предлагаемую технологию определения ВР оперативного персонала управления опасными объектами.



Рис. 1. – Технология определения ВР оперативного состава управления опасным объектом непосредственно во время производственного процесса

Первоначально при проведении медицинского обследования и психоэмоционального тестирования в качестве исходной ПФМ может быть использована простая линейная модель [2, 3], связывающая значения текущих, зарегистрированных с помощью дистанционных неконтактных технологий биопараметров оператора с ВР, измеренным одним из прямых методов. Коэффициенты (веса) линейной модели, как правило, определяются с помощью корреляционного анализа полученных таким образом исходных экспериментальных данных. В том случае, если в результате корреляционного анализа линейная форма представления ПФМ окажется недостаточно адекватной, то необходимо рассмотреть более сложные модели, предполагающие другие формы учета вклада тех, либо иных биопараметров, например, степенную, мультипликативную (структурная адаптация ПФМ). В ряде случаев оказывается удобным использовать табличную форму представления ПФМ, которая допускает эффективное использование современной вычислительной техники.

Учет влияния акустических и оптических помех может быть осуществлен с помощью поправочных коэффициентов [6], значения которых определяются при проведении тестирования, например, на тренажерах, и хранятся в базе персональных данных. Необходимо отметить, что под оптическими и акустическими помехами необходимо рассматривать не только помехи естественного происхождения, например, блики солнца, шум дождя, автомашин, но и техногенные помехи, обусловленные спецификой эксплуатации опасного объекта. Так, например, к данным помехам необходимо отнести также и свет, и мигание от приборов щита управления, компьютеров, и, соответственно, шум от переговоров, звуки сирен, звонков, отвлекающих оператора управления от выполнения им своих производственных задач, особенно в условиях сильного стресса в случае возникновения нештатных и аварийных ситуаций. С технической точки зрения для измерения текущего уровня таких техногенных помех не требуется сложного дополнительного оборудования. Он легко может быть измерен с помощью обычных шумомеров и видеокамер общего назначения.

Ввиду возможных значительных кратковременных и систематических индивидуальных изменений значений ВР целесообразно осуществить периодическую настройку (параметрическую адаптацию) ПФМ. На рисунке 2 показаны основные этапы структурной и параметрической адаптации ПФМ.

Применение структурной и параметрической адаптации позволило обеспечить высокую достоверность получаемых оценок ВР с помощью предлагаемой технологии. Лабораторные испытания показали возможность минимизации ошибки определения ВР, которая в общем случае не превышает 10% в течение 8-часовой производственной деятельности, что дает возможность правильно классифицировать психоэмоциональное и функциональное текущее состояние оператора управления опасным объектом, в первую очередь, такого как АЭС.

Предложенная технология позволяет одновременно построить ПФМ числа ошибочных действий в зависимости от измеряемых дистанционными методами персональных биопараметров. Для тех случаев, когда принципиальное значение имеют как ВР, так и вероятность совершения ошибок, может быть использована целевая функция, интегрирующая в себе вероятность совершения ошибок и ВР. Особенно важно данное обстоятельство для АЭС, так как в конечном счете важна безаварийная эксплуатация опасного объекта, а в случае возникновения нештатных либо аварийных ситуаций – правильные и своевременные действия по их устранению.

Таким образом, рассмотренный подход к определению ВР позволяет существенно расширить сферу практического применения данного информативного параметра, что

дает возможность минимизировать влияние человеческого фактора на надежность и безаварийность работы АЭС и других опасных объектов.

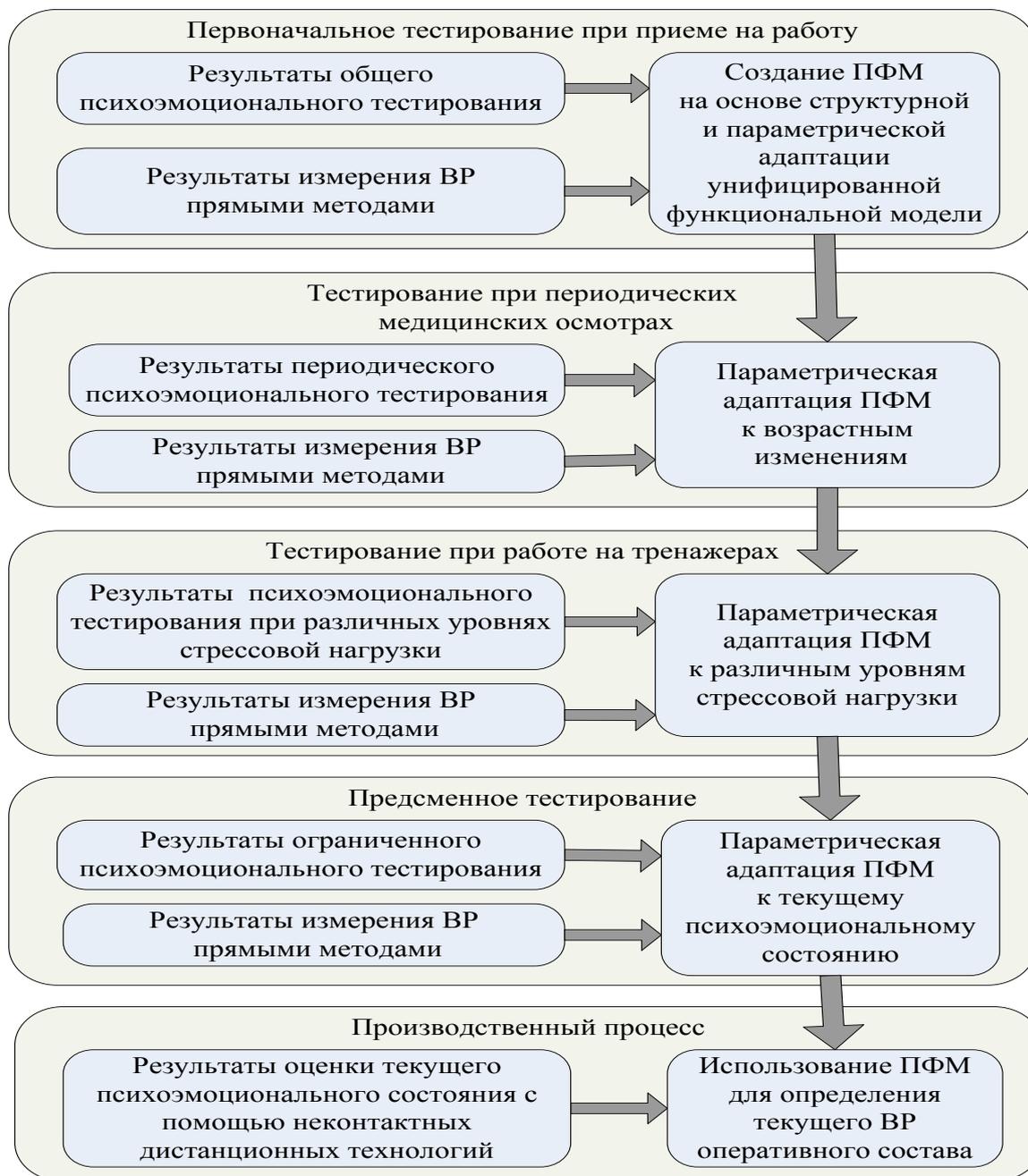


Рис. 2. – Повышение точности определения ВР при использовании непрямых методов измерения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алюшин, М.В. и др.* Профессиональный отбор персонала по психологическим качествам на основе методов, разработанных в рамках теории принятия решений [Текст] / М.В. Алюшин, Л.В. Колобашкина, А.В. Хазов // Вопросы психологии. – 2015. – №2. – С. 88–94.
2. *Алюшин, М.В. и др.* Мониторинг биопараметров человека на основе дистанционных технологий [Текст] / М.В. Алюшин, Л.В. Колобашкина // Вопросы психологии. – 2014. – №6. – С. 135–144.
3. *Алюшин, М.В. и др.* Дистанционные и неконтактные технологии регистрации биопараметров оперативного персонала как средство управления человеческим фактором и повышения безопасности АЭС [Текст] / М.В. Алюшин, А.В. Алюшин, Л.О. Андриюшина, Л.В. Колобашкина, В.В. Пшенин // Глобальная ядерная безопасность. – 2013. – №3(8). – С. 69–77.

4. *Алюшин, М.В. и др.* Оптические технологии для систем мониторинга текущего функционального состояния оперативного состава управления объектами атомной энергетики [Текст] / М.В. Алюшин, А.В. Алюшин, В.М. Белопольский, Л.В. Колобашкина, В.Д. Ушаков // Глобальная ядерная безопасность. – 2013. – №2(7). – С. 69–77.
5. *Алюшин, В.М.* Диагностика психоэмоционального состояния на основе современных акустических технологий [Текст] / В.М. Алюшин // Вопросы психологии. – 2015. – №3. – С. 145–152.
6. *Алюшин, М.В. и др.* Методика измерения времени реакции оператора управления [Текст] / М.В. Алюшин, В.М. Алюшин // Вопросы психологии. – 2015. – №5. – С. 157–165.
7. *Алюшин, М.В. и др.* Экспериментальное исследование времени реакции человека в условиях действия акустических помех [Текст] / М.В. Алюшин, В.М. Алюшин // Вопросы психологии. – 2016. – №1. – С. 163–168.

REFERENCES

- [1] Aliushin M.V., Kolobashkina L.V., Khazov A.V. Professionalnyi otbor personala po psikhologicheskim kachestvam na osnove metodov, razrabotannykh v ramkakh teorii priniatia reshenii [Professional selection of personnel on psychological qualities on the basis of the methods developed within the theory of decision-making]. *Voprosy psikhologii* [Psychology questions], 2015, №2, ISSN 0042-8841, pp. 88–94. (in Russian)
- [2] Aliushin M.V., Kolobashkina L.V. Monitoring bioparametrov cheloveka na osnove distantsionnykh tekhnologii [Monitoring of bioparameters of the person on the basis of remote technologies]. *Voprosy psikhologii* [Psychology questions], 2014, №6, ISSN 0042-8841, pp. 135–144. (in Russian)
- [3] Aliushin M.V., Aliushin A.V., Andriushina L.O., Kolobashkina L.V., Pshenin V.V. Distantsionnye i nekontaktnye tekhnologii registratsii bioparametrov operativnogo personala kak sredstvo upravleniia chelovecheskim faktorom i povysheniia bezopasnosti AES [Remote and not contact technologies of registration of bioparameters of operation personnel as control facility human factor and increases in the NPP safety]. *Globalnaya yadernaya bezopasnost* [Global nuclear safety], 2013, №3(8), ISSN 2305-414X, eISSN 2499-9733, pp. 69–77. (in Russian)
- [4] Aliushin M.V., Aliushin A.V., Belopolskii V.M., Kolobashkina L.V., Ushakov V.D. Opticheskie tekhnologii dlia sistem monitoringa tekushchego funktsionalnogo sostoianiia operativnogo sostava upravleniia obiektami atomnoi energetiki [Optical technologies for systems of monitoring of the current functional state of quick structure of management of nuclear power objects]. *Globalnaya yadernaya bezopasnost* [Global nuclear safety], 2013, №2(7), ISSN 2305-414X, eISSN 2499-9733, pp. 69–77. (in Russian)
- [5] Aliushin V.M. Diagnostika psikhoemotsionalnogo sostoianiia na osnove sovremennykh akusticheskikh tekhnologii [Diagnostics of a psychoemotional state on the basis of modern acoustic technologies]. *Voprosy psikhologii* [Psychology questions], 2015, №3, ISSN 0042-8841, pp. 145–152. (in Russian)
- [6] Aliushin M.V., Aliushin V.M. Metodika izmereniia vremeni reaktsii operatora upravleniia [Technique of time measurement of the management operator reaction]. *Voprosy psikhologii* [Psychology questions], 2015, №5, ISSN 0042-8841, pp. 157–165. (in Russian)
- [7] Aliushin M.V., Aliushin V.M. Eksperimentalnoe issledovanie vremeni reaktsii cheloveka v usloviakh deistviia akusticheskikh pomekh [Pilot study of reaction time of the person in the conditions of acoustic hindrances]. *Voprosy psikhologii* [Psychology questions], 2016, №1, ISSN 0042-8841, pp. 163–168. (in Russian)

Direct and Indirect Methods of the NPP Management Operator Reaction Time Measuring²

M.V. Alyushin^{*}, A.M. Alyushin^{}, M.E. Atkina^{***}**

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

² The research was carried out with the support of the Russian Science Foundation (RSF) grant No.16-18-00069 "Reducing the risk of occurrence and decreasing the of man-made disaster consequences by minimizing the human factor influence on the reliability and trouble-free operation of nuclear power plants and other hazardous facilities.

* *e-mail: MVAlyushin@mephi.ru*

ORCID iD: 0000-0001-7806-3739

WoS Researcher ID: R-7928-2016;

** *e-mail: amalyushin@mephi.ru*

ORCID iD: 0000-0003-1722-0598

WoS Researcher ID: F-8004-2017;

*** *e-mail: MEAtkina@mephi.ru*

ORCID iD: 0000-0003-3461-322X

WoS Researcher ID: F-9690-2017

Abstract – An approach to the definition of NPP management operator reaction time directly in the performance of his work responsibilities is suggested. The approach is based on the use of the possibility of remote non-contact technology of human bioparameters registration. Approach focuses on the use of automated data processing in real time.

Keywords: reaction time, direct and indirect methods of measurement, the human factor.

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

УДК 335.45:621.039

**КЛЮЧЕВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КАК
ИНСТРУМЕНТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ПРЕДПРИЯТИЙ ГК «РОСАТОМ»**

© 2017 И.А. Ухалина, Н.А. Ефименко, С.П. Агапова

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

Статья посвящена вопросам использования ключевых показателей эффективности (КПЭ) в качестве инструмента экономической безопасности предприятий ГК «Росатом».

Исследования в области экономической безопасности и экономической устойчивости промышленных предприятий показали, что на эффективность деятельности предприятий, их конкурентоспособность оказывают влияние внутренние и внешние угрозы. В статье сделан акцент на том, что резервы повышения устойчивости к конкурентному сопротивлению на рынке атомной и электроэнергетики, на котором осуществляют деятельность предприятия ГК «Росатом», следует черпать в первую очередь во внутренних источниках и ресурсном потенциале.

Использование дедуктивного метода экономического анализа позволило декомпозировать основные показатели эффективности деятельности промышленного предприятия, определив частные показатели, оказывающие влияние на основной показатель деятельности госкорпорации - скорректированный свободный денежный поток (ССДП). Проводя исследование показателей эффективности от «общего к частному», можно вычленить ключевые показатели эффективности разного уровня соподчинённости и каскадировать задачи на соответствующие уровни управления и довести до конкретных исполнителей. Определены направления и пути повышения эффективности деятельности по основным КПЭ.

В результате отмечено, что к повышению конкурентоспособности предприятий и корпорации в целом и усилению позиций ГК «Росатом» на внутреннем и международном рынке, а значит и укреплению экономической безопасности предприятий приводит командный успех в выполнении ключевых показателей эффективности.

Ключевые слова: экономическая безопасность предприятия, ключевые показатели эффективности (КПЭ) или Key Performance Indicators (KPI), EBITDA, рентабельность по EBITDA (EBITDA Margin), скорректированный свободный денежный поток (ССДП)

Поступила в редакцию 10.03.2017

В последние годы Госкорпорация «Росатом» и энергетическая отрасль в целом вместе со всей страной переживают сложный кризисный период. Поставленные стратегические цели, а именно повышение доли на мировом рынке, вывод на отечественный и зарубежные рынки новых продуктов, требуют от ГК «Росатом» поиска конкурентных преимуществ через снижение себестоимости, сокращение длительности протекания процессов, что в свою очередь влияет на экономическую безопасность предприятий.

Под экономической безопасностью предприятия понимают такое состояние его деятельности, при котором обеспечивается наиболее эффективное использование ресурсов с целью предотвращения угроз и обеспечения стабильности в

функционировании предприятия на текущий момент и в будущие периоды. Проблемы экономической безопасности поднимаются в исследованиях ряда авторов [1,2]. Относительно деятельности производственного предприятия экономическая безопасность рассматривается как интегральная оценка использования ресурсного потенциала, определяющая степень защищённости предприятия от отрицательных воздействий внешней среды и предотвращения внутренних угроз.

Внешняя среда в первую очередь воздействует на производителя через конкурентное давление других предприятий. Предприятия дивизионов ГК «Росатом» добились высоких конкурентных преимуществ по многим направлениям своей деятельности, что отмечают авторы в своих работах [3,4,5]. Однако в непростых рыночных условиях настоящего времени удержать свои конкурентные позиции предприятие может при условии задействования всех своих внутренних резервов. Особую важность и влияние внутренних факторов на устойчивость в экономическом развитии предприятий атомного машиностроения отмечает в своей работе М.В. Головкин [6].

Таким образом, как научная категория, экономическая безопасность предприятия подразумевает его устойчивое, сбалансированное и непрерывное развитие, которое достигается при помощи наиболее эффективного использования всех ресурсов, управленческих способностей и предпринимательских возможностей, устранения влияния негативных внутренних факторов и угроз и обеспечивает предприятию стабильное функционирование и динамическое научно-техническое и социальное развитие.

ГК «Росатом» уже не первый год ведет активную работу по оптимизации затрат на своих производственных предприятиях применяя культуру бережливого производства по методологии Производственной системы Росатома (ПСР). Так в 2015 году корпорации удалось сэкономить около 3,5 млрд. руб. от запланированного годового бюджета [7]. Но важным изменением в политике эффективного использования ресурсов является внедрение и использование на постоянной основе ряда новых инструментов [8]. Одним из таких инструментов стали ключевые показатели эффективности (КПЭ) или *Key Performance Indicators (KPI)*, использование которых помогает предприятиям в достижении стратегических и тактических целей, через оценку своего состояния в процессе реализации выбранной стратегии. Исследованиям оценки деятельности предприятия на основе КПЭ посвятили свои работы многие авторы [9,10,11,12]. По мнению М.В. Головкина, В.А. Руденко ключевые показатели эффективности [13] выступают мощным инструментом, позволяющим преодолеть ГК «Росатом» конкурентное сопротивление зарубежных компаний в процессе обеспечения энергоресурсами всех групп потребителей. КПЭ становятся одним из основных элементов стратегии устойчивого развития и экономической безопасности предприятий ГК «Росатом».

Управление эффективностью деятельности основывается на постановке и оценке КПЭ, разработке карты КПЭ. Результатом достигнутых показателей эффективности на предприятиях ГК «Росатом» является годовой бонус по КПЭ.

Наиболее важным КПЭ для концерна является «Скорректированный свободный денежный поток» (ССДП), выполнение которого зависит не только от скоординированных усилий руководящих вертикалей, но в большей степени от слаженной работы и согласованных действий всего коллектива предприятий. Свободным денежным потоком (*free cash flow — FCF*) называют посленалоговый денежный поток от операционной деятельности за вычетом чистых инвестиций в основной и оборотный капитал, доступный инвесторам (кредиторам и собственникам). На фоне глобальных вызовов в экономике концерн вынужден находить радикальные

пути повышения эффективности своей деятельности. Жесткая конкуренция предприятий на уровне издержек, эффективного использования ресурсов, рабочего капитала, выводит скорректированный свободный денежный поток в разряд комплексных индикаторов эффективности деятельности любой компании, отражающих ее собственные инвестиционные возможности, операционную стабильность и платежеспособность.

В докризисный период нефтегазовые доходы страны, доступность внешнего инвестирования и уровень валютного курса давали предпосылки к активному развитию экономики и доходы концерна на растущем рынке основывались и на росте потребления электроэнергии и на постепенном увеличении цен на энергию. Такое положение в отрасли давало возможность менее пристально следить за показателями эффективности расходов, так как недостаток средств покрывался за счет относительно дешевых внешних источников или государственной поддержки через систему специальных надбавок и тарифов. Ускорение инфляционных процессов, подорожание закупаемых сырья, материалов, работ и услуг с одной стороны и рост более низкими темпами коммерческой цены электроэнергии и мощности с другой стороны, существенно снижает маржинальность производственных предприятий ГК «Росатом» и 2016 год отмечен защитой неприбыльного бюджета концерна. Кризисные явления в экономике заставили повернуть вектор стратегического планирования в сторону повышения эффективности использования ресурсного потенциала предприятий госкорпорации. ССДП становится тем стратегическим показателем, который призван обеспечить конкурентность электроэнергетики в долгосрочном периоде, в первую очередь, по уровню цен для конечного потребителя [7].

Введение такого КПЭ как ССДП вначале встретило некоторое сопротивление руководителей подразделений концерна вследствие того, что достаточно трудно оценить вклад в этот показатель по каждому отдельному направлению деятельности, каждому филиалу или предприятию. И в 2015 году ССДП был запланирован в карте КПЭ только у генерального директора концерна, руководителя экономического департамента и финансового директора общим объемом 85 млрд. руб. В 2016 году изменен подход к планированию ключевых показателей эффективности и этот показатель уже учтен как «командный КПЭ». На основании «дерева целей» и матрицы ответственности структурированы основные цели и задачи каждого предприятия дивизионов госкорпорации, определена их степень влияния на ССДП. Как правило, прямое влияние на показатель и ответственность учтены в картах КПЭ руководителей подразделений, а косвенное влияние, т.е. в меньшей степени, декомпозировано руководителям ниже по уровням управления. Однако следует помнить, что «Скорректированный свободный денежный поток» является командным показателем уровня дивизиона, и значит, в его достижении участвуют все подразделения дивизиона. На уровне заместителей подразделений, как правило, ССДП учитывают в разрезе компонента «Расходы подразделения» в соответствии с их степень влияния на КПЭ. Для выполнения этого КПЭ руководителю необходимо четко понимать на каких участках деятельности недостаточно слажено выстроены процессы и с помощью командной работы скоординировать и оперативно скорректировать деятельность подразделений. Подчиненные должны осознавать степень их взаимного влияния на конечный результат.

Переход к ССДП как стратегическому показателю деятельности предприятий ГК «Росатом» нацелен на удержание издержек на минимально-необходимом уровне. Для успешной реализации такой системной меры необходимы усилия не только управленческой вертикали, но всего коллектива в целом. Декомпозиция и каскадирование ССДП на каждый значимый уровень управления позволяет получить

управленческие индикаторы, способные давать оценку ежедневной эффективности деятельности предприятия.

На примере филиала АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонск, входящем в машиностроительный дивизион ГК «Росатом» декомпозиция такого ключевого показателя эффективности, как «Скорректированный свободный денежный поток» представлена на рисунке 1.

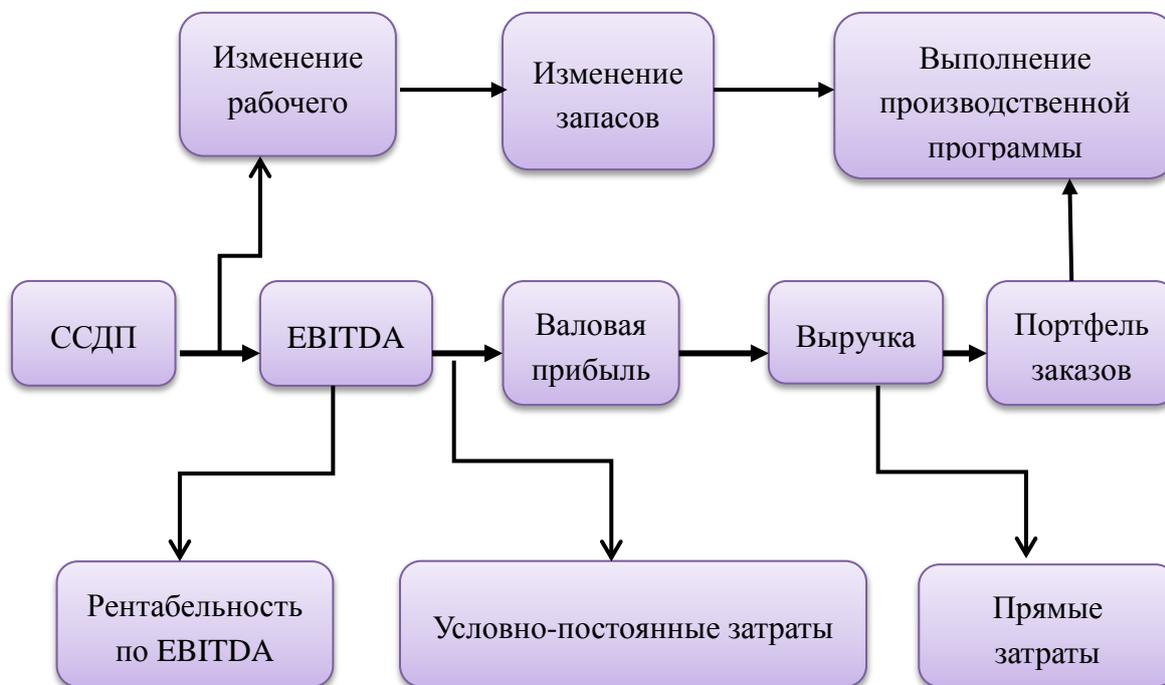


Рис. 1. – Декомпозиция ССДП

Декомпозируя ССДП выделяют такой показатель эффективности деятельности предприятия, как ЕВИТДА (Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization). Он отражает финансовый результат компании, исключая влияние эффекта структуры капитала (т.е. процентов, уплаченных по заемным средствам), налоговых ставок и амортизационной политики организации. ЕВИТДА показывает прибыль компании до различных выплат, которые либо отсрочены по времени, например, налоги, поэтому эти деньги могут быть повторно использованы компанией в обороте и за них не надо платить проценты, либо в случае с амортизацией деньги вообще не уходят из компании, что позволяет их использовать в дальнейшем. Рентабельность по ЕВИТДА или ЕВИТДА Margin дает представление, сколько копеек прибыли от основной деятельности получила компания с каждого рубля, вырученного за проданную продукцию/оказанную услугу или прибыльность компании по первичной прибыли, т.е. по ЕВИТДА. В международной практике для машиностроения нормальным считается показатель ЕВИТДА Margin в диапазоне 6-10%.

Еще одним важным фактором, влияющим на формирование ССДП, является изменение рабочего капитала, декомпозиция которого представлена на рисунке 2. Под рабочим капиталом понимается, в первую очередь, оборотный капитал промышленного предприятия, на изменение которого существенное влияние оказывают такие показатели как изменение запасов сырья и готовой продукции на складе, снижение доли неликвидных запасов, изменение величины незавершенного производства, снижение периода оборота запасов.

КПЭ устанавливаются для конкретных центров ответственности, т.е. контроль за их исполнением возлагается на ответственные лица, которые могут влиять на выполнение КПЭ. К основным ключевым показателям эффективности относятся такие как портфель заказов, выполнение производственной программы, снижение периода оборота запасов, обеспечение качества готовой продукции, сокращение затрат на транспортные услуги, снижение затрат на неплановые ремонты и ТО, снижение затрат на инструменты и хозяйственные приспособления, снижение затрат на энергоресурсы в составе УПЗ, снижение сверхурочных в составе УПЗ, снижение времени простоев оборудования и другие КПЭ.

В результате производства появляются запасы готовой продукции и незавершенное производство (НЗП), т.е. незаконченная продукция, находящаяся на различных стадиях производственного процесса. Размеры и состав незавершенного производства неодинаковы в разных производствах и зависят от характера выпускаемой продукции и производственного процесса, продолжительности производственного цикла и т.д. В хранящейся готовой продукции денежные средства «заморожены». Предприятие заинтересовано как можно скорее готовую продукцию продать, чтобы вернуть денежные средства в оборот. Так же деньги могут «замораживаться» в виде запасов материалов и сырья, неиспользуемых площадей, излишней рабочей силы и т.д. поэтому перед производственной системой стоит задача снижения вложений в имущество предприятий (запасы и др.), снижения запасов и затрат на хранение. Необходимо поддерживать оптимальное соотношение между объемами производства и продаж и, например, УПЗ (уровнем производственных запасов).

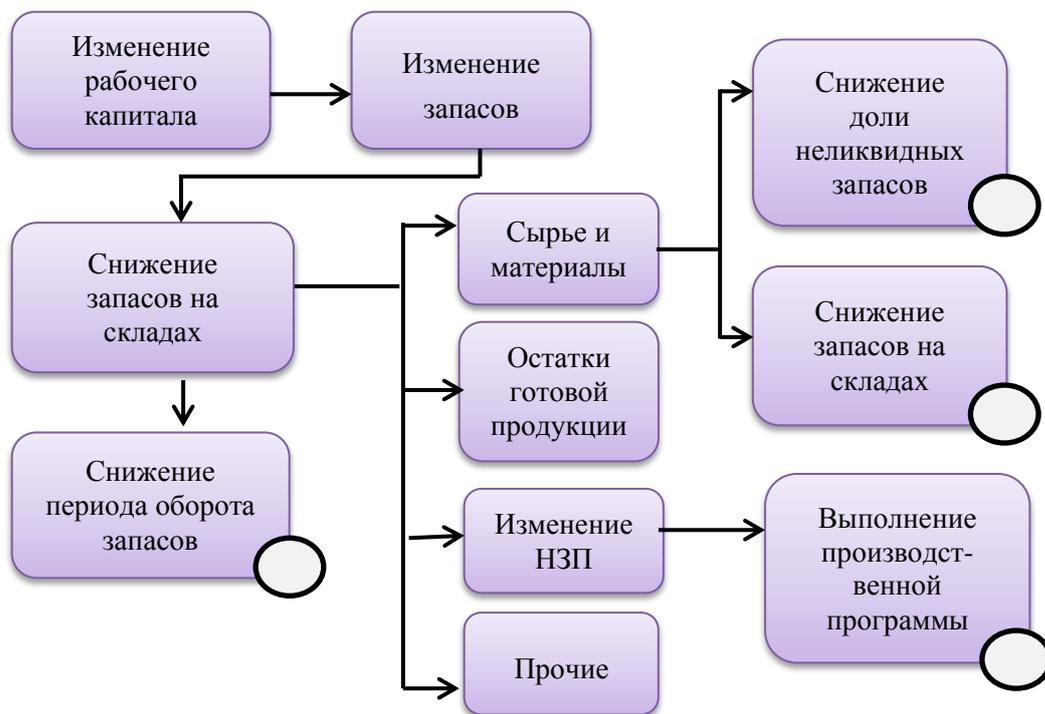


Рис. 2. – Декомпозиция рабочего капитала

С излишними запасами связаны следующие виды затрат и потерь:

- излишние затраты на хранение запаса;
- потери от хранения излишнего запаса.

Затраты на хранение и потери зависят от количества единиц хранения (чем

больше физический объем запаса, тем больше потери за период), стоимости хранимого запаса (чем дороже единица запаса и партия запаса, тем больше сумма потерь), сроков хранения (чем дольше лежит запас на складе, тем больше сумма потерь). Таким образом, пути повышения эффективности рабочего капитала заключаются в сокращении потерь от хранения, в снижении затрат на хранение и в высвобождении денежных средств из запасов.

Портфель заказов декомпозируется на КПЭ, представленный на рисунке 3.



Рис. 3. – Декомпозиция портфеля заказов

Направлениями повышения эффективности такого ключевого показателя по портфелю заказов, как выполнение производственной программы могут быть следующие:

- снижение безвозвратных отходов, потерь;
- уменьшение брака, повторных работ;
- получение дополнительных объемов продукции за счет увеличения фонда рабочего времени.

На рисунке 4 представлены элементы прямых затрат, и основные КПЭ по ним, влияющих на величину прибыли в выручке предприятия. К основным элементам, влияющим на величину прямых затрат относятся основные материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (ПКИ), несоответствие требованиям нормативно-технической документации (НТД) и как следствие сдача продукции с первого предъявления, соответствие фактической трудоемкости плановым ее значениям, влияющей на переменную часть заработной платы.

Повышение эффективности прямых затрат может быть достигнуто посредством:

- экономии материалов за счет замены типов материалов;

- экономии материалов за счет снижения норм расхода;
- экономии материалов за счет снижения цены закупки.

Поставленная задача решается слаженными действиями конструкторской службы, технологов и службы снабжения на предприятии. И соответственно с поставленными задачами КПЭ по этому блоку устанавливаются руководителям вышеназванных служб.

Одним из значимых блоков затрат, влияющих на результативность деятельности, являются условно-постоянные затраты, декомпозиция которых представлена на рисунке 5.

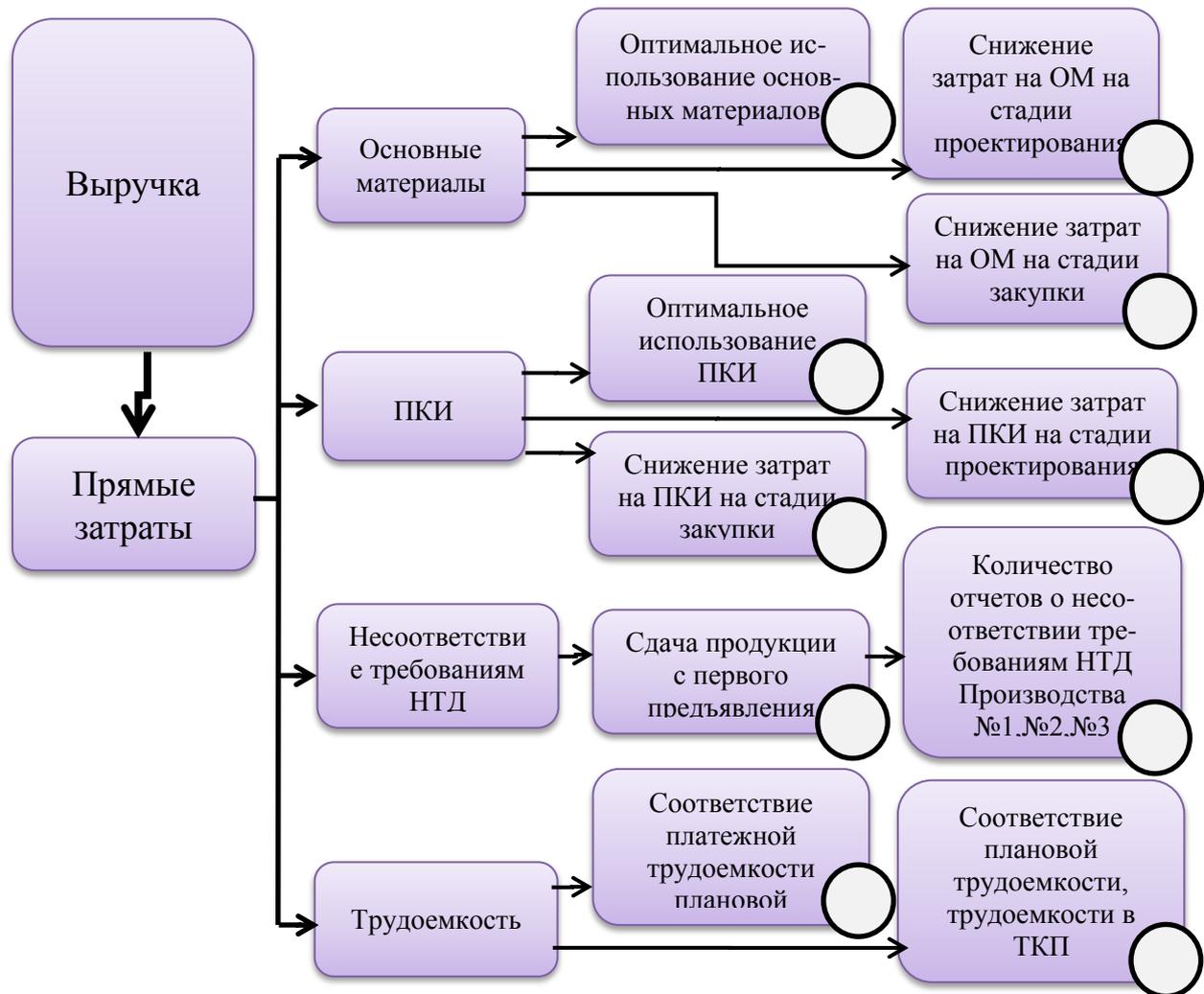


Рис. 4. – Декомпозиция прямых затрат

В этом блоке достаточно много направлений, которые способны повлиять на повышение эффективности деятельности. К основным направлениям можно отнести:

- сокращение времени производства единицы продукции и снижение расходов на заработную плату в единице продукции;
- высвобождение времени «основного персонала» за счет использования «вспомогательных работников» в производственном процессе;
- экономию эксплуатационных расходов за счет оптимизации работы оборудования;
- экономию за счет высвобождения площадей;

- снижение энергопотребления в производстве;
- оптимизацию транспортных расходов.

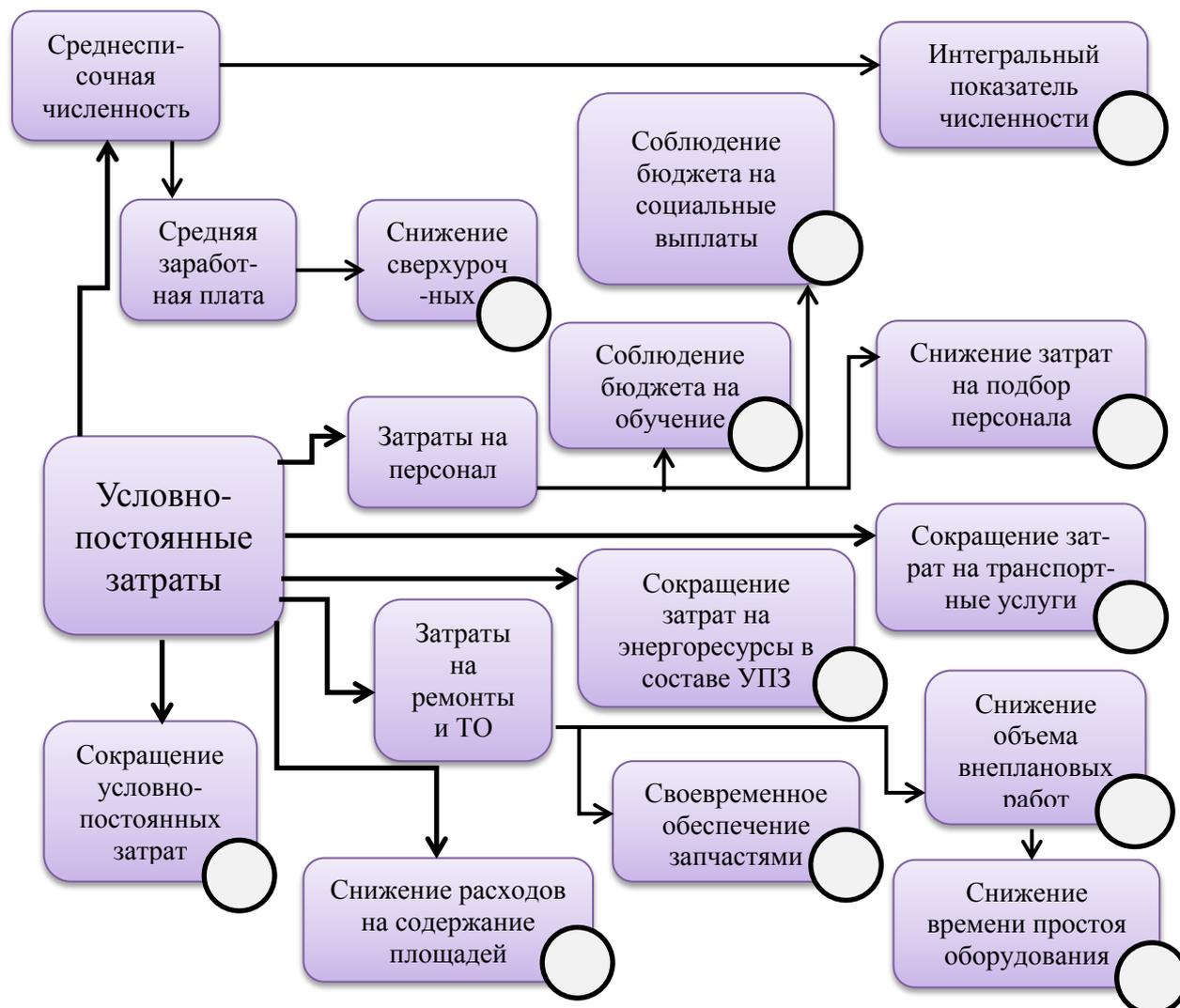


Рис. 5. – Декомпозиция условно-постоянных затрат

Экономический эффект от оптимизации транспортных схем на производстве может быть получен от сокращения затрат на транспортировку, высвобождения рабочего времени станочников занятых доставкой со склада и на склад, продажи избыточных транспортных средств при снижении объемов перевозок, использования транспортных средств повышенной грузоподъемности.

Экономический эффект от устранения лишних движений, увеличения полезного фонда рабочего времени заключается в использовании полезного рабочего времени для производства продукции (расшивки узких мест), в изменении схемы работы на производственном участке (станочники теряют рабочее время на доставку инструмента и заготовок на участок).

Экономический эффект от сокращения брака возникает от увеличения выхода годной продукции, снижения уровня безвозвратных потерь, сокращения объема повторных работ.

Также экономический эффект может быть получен в направлениях по высвобождению и консервации избыточных производственных площадей, по

сокращению объемов внутривозовских перевозок при новом размещении оборудования, по сокращению времени ремонта оборудования (дополнительная продукция, выручка и прибыль), а также в области эффективности документооборота.

В ГК «Росатом» с целью управления результативностью с 2009 года внедрена система управления эффективностью деятельности (УЭД), участниками которой стали более 15 тысяч человек. Каждый сотрудник должен четко понимать поставленные перед предприятием, цехом и им лично задачи, тактические и стратегические цели, и уметь связать с ними степень своей ответственности и свой вклад в общие результаты. Итоговый коэффициент по карте КПЭ равный 115 и выше означает выполнение ключевых показателей значительно выше целевого уровня, 106-114 – выше целевого уровня, 86-105 – КПЭ выполнены на целевом уровне, 51-85 – выполнены частично, а при показателях 0-50 цели не выполнены [14]. Результаты выполнения КПЭ отражаются в бонусной составляющей годового вознаграждения работников.

Система УЭД призвана осуществлять постановку целей и оценивать выполнение ключевых показателей эффективности в соответствии с ценностями корпорации, с помощью оценки «РЕКОРД» и «360 градусов». Оценка «РЕКОРД» является действенным инструментом оценки руководителем работы подчиненных, а «360 градусов» также позволяет и подчиненным оценить работу руководителя, выступая механизмом обратной связи.

Командный успех в выполнении КПЭ приводит к повышению конкурентоспособности предприятий и корпорации в целом и тем самым укрепляет их позиции на внутреннем и международном рынке, а значит, вносит существенный вклад в экономическую безопасность ГК «Росатом».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Козаченко, А.В. и др.* Методические основы оценки уровня экономической безопасности предприятия [Электронный ресурс] / А.В. Козаченко, В.П. Пономарев // Региональные перспективы. – 2007. – №2-3(9-10). – С. 104–106.
2. *Фокина, Н.П.* Экономика предпринимательства – важнейшая составляющая финансовой устойчивости [Текст] / Н.П. Фокина // Актуальные проблемы экономики. – 2006. - № 8. – С. 111–114.
3. *Ефименко, Н.А. и др.* Конкурентные преимущества России на мировом рынке отработанного ядерного топлива [Текст] / Н.А. Ефименко, И.А. Ухалина // Глобальная ядерная безопасность. – 2014. – №4(13). – С. 96–98.
4. *Ефименко, Н.А. и др.* Проблемы и перспективы развития бизнеса Госкорпорации «Росатом» в сфере Back-End [Текст] / Н.А. Ефименко, И.А. Ухалина, С.П. Агапова // Успехи современной науки и образования. – 2017. – Т. 2. – №1. – С. 144–147.
5. *Пономарев-Степной, Н.* На путь устойчивого развития [Текст] / Н. Пономарев-Степной // РЭА. – 2016. – №1. – С. 18.
6. *Головко, М.В.* Факторы и вектор экономического развития промышленных предприятий атомного машиностроения [Текст] / М.В. Головко // Глобальная ядерная безопасность. – 2016. – №2 (19) – С. 83–97.
7. *Мигалин, С.* Показатель командной работы [Текст] / С. Мигалин // РЭА. – 2016. – №3 – С. 14–23.
8. *Ткебучава, Д.* Через призму эффективности [Текст] / Д. Ткебучава // РЭА. – 2016. – №3 – С. 8–11.
9. *Панов, М.М.* Оценка деятельности и система управления компанией на основе КРІ [Текст] / М.М. Панов. – М.: Инфра-М, 2013. – 255 с.
10. *Клочков, А.К.* КРІ и мотивация персонала. Полный сборник практических инструментов [Текст] / А.К. Клочков. – Эксмо, 2010. – 160 с.
11. *David Parmenter.* Key Performance Indicators: Developing, Implementing and Using Winning KPI's. New Jersey, USA: John Wiley & Sons, inc., 2007. pp. 233.
12. *Ильясов, Ф.Н.* Тарифная сетка, система грейдов на основе закона Вебера [Текст] / Ф.Н. Ильясов // Мониторинг общественного мнения: экономические и социальные перемены. – 2012. – №6. – С. 128–135.

13. Головки, М.В., и др. Корпоративные ценности в системе устойчивого развития и безопасности развития промышленных предприятий (на примере ГК «Росатом») [Текст] / М.В. Головки, В.А. Руденко // Глобальная ядерная безопасность. – 2015. – №4(17). – С. 103–114.
14. Дорофеева Н., и др. Оценить бесценный ресурс [Текст] / Н. Дорофеева, О. Алтунина // РЭА. – 2016. – №3 – С. 28–35.

REFERENCES

- [1] Kozachenko A.V., Ponomarev V.P. Metodicheskie osnovy otsenki urovnia ekonomicheskoi bezopasnosti predpriiatiia [Methodical bases of assessment of enterprise economic security level]. Regionalnye perspektivy [Regional prospects], 2007, №2-3(9-10). – pp. 104–106. (in Ukrainian)
- [2] Fokina N.P. Ekonomika predprinimatelstva – vazhneishaia sostavliaiushchaia finansovoi ustoichivosti [Business economy is the most important component of financial stability]. Aktualnye problemy ekonomiki [Urgent problems of economics], 2006, №8, ISSN 1993-6788, pp. 111–114. (in Ukrainian)
- [3] Efimenko N.A., Ukhulina I.A. Konkurentnye preimushchestva Rossii na mirovom rynke otrabotannogo iadernogo topliva [Competitive advantages of Russia in the world market of the fulfilled nuclear fuel]. Globalnaia iadernaia bezopasnost [Global nuclear safety], 2014, №4(13), ISSN 2305-414X, eISSN 2499-9733, pp. 96–98. (in Russian)
- [4] Efimenko N.A., Ukhulina I.A., Agapova S.P. Problemy i perspektivy razvitiia biznesa Goskorporatsii «Rosatom» v sfere Back-End [Problems and the prospects of business development of ROSATOM State Corporation in Back-End sphere]. Uspekhi sovremennoi nauki i obrazovaniia [Progress of modern science and education], 2017, Vol. 2, №1, ISSN 2412-9631, pp. 144–147. (in Russian)
- [5] Ponomarev-Stepnoi N. Na put ustoichivogo razvitiia [On the way of sustainable development]. REA [REU], 2016, №1, pp. 18. (in Russian)
- [6] Golovko M.V. Faktory i vektor ekonomicheskogo razvitiia promyshlennykh predpriatii atomnogo mashinostroeniia [Factors and vector of industrial enterprises economic development of atomic mechanical engineering]. Globalnaia iadernaia bezopasnost [Global nuclear safety], 2016, №2(19), ISSN 2305-414X, eISSN 2499-9733, pp. 83–97. (in Russian)
- [7] Migalin S. Pokazatel komandnoi raboty [Indicator of team work]. REA [REU], 2016, №3, pp. 14–23. (in Russian)
- [8] Tkebuchava D. Cherez prizmu effektivnosti [Through an efficiency prism]. REA [REU], 2016, №3, pp. 8–11. (in Russian)
- [9] Panov M.M. Otsenka deiatelnosti i sistema upravleniia kompaniei na osnove KPI [Assessment of activity and control system of the company on the KPI basis]. M. Pub. Infra-M, 2013. ISBN 978-5-16-005781-1, 255 p. (in Russian)
- [10] Klochkov A. K. KPI i motivatsiia personala. Polnyi sbornik prakticheskikh instrumentov [KPI and motivation of personnel. Full collection of practical tools]. Pub. Eksmo, 2010, ISBN 978-5-699-37901-9, 160 s. (in Russian)
- [11] David Parmenter. Key Performance Indicators: Developing, Implementing and Using Winning KPI's. New Jersey, USA: John Wiley & Sons, inc., 2007, ISBN 0-470-09588-1 pp. 233. (in English)
- [12] Iliasov F.N. Tarifnaia setka, sistema greidov na osnove zakona Vebera [Scale of charges, system of grades on the Weber law basis]. Monitoring obshchestvennogo mneniia: ekonomicheskie i sotsialnye peremeny [Monitoring of public opinion: economic and social changes], 2012, №6, ISSN 2219-5467, pp. 128–135. (in Russian)
- [13] Golovko M.V., Rudenko V.A. Korporativnye tsennosti v sisteme ustoichivogo razvitiia i bezopasnosti razvitiia promyshlennykh predpriatii (na primere GK «Rosatom») [Corporate values in system of sustainable development and safety of development of the industrial enterprises (on the example of Rosatom State Corporation)]. Globalnaia iadernaia bezopasnost [Global nuclear safety], 2015, №4(17), ISSN 2305-414X, eISSN 2499-9733, pp. 103–114. (in Russian)
- [14] Dorofeeva N., Altunina O. Otsenit bestsennyi resurs [To estimate an invaluable resource]. REA [REU], 2016, №3. S. 28–35. (in Russian)

**Key Performance Indicators as Economic Security Tool of the
Rosatom State Corporation Enterprises**

I.A. Ukhulina*, N.A. Efimenko, S.P. Agapova*****

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

e-mail: VITkafESGD@mephi.ru

** ORCID iD: 0000-0002-1928-7510*

WoS ResearcherID: E-3153-2017

*** ORCID iD: 0000-0001-8113-6759*

WoS ResearcherID: E-3439-2017

**** ORCID iD: 0000-0002-8484-2912*

WoS ResearcherID: E-4842-2017

Abstract – Article is devoted to questions of the key performance indicators (KPI) using as the economic security tool of the Rosatom Group enterprises.

Researches in the field of economic security and economic stability of the industrial enterprises have shown that internal and external threats have an impact on efficiency of the enterprises, their competitiveness. In article the emphasis that reserves of increase in resistance to competitive resistance in the market of nuclear and power industry in which activity of the Rosatom Group enterprise is carried out, should be scooped first of all in internal sources and resource potential is placed.

Use of a deductive method of the economic analysis has allowed to decapitate the main indicators of efficiency of industrial enterprise activity, having defined the private indicators exerting impact on the main indicator of state corporation activity – the Corrected Free Cash Flow (CFCF). Carrying out a research of efficiency indicators from "the general to private" it is possible to isolate key indicators of efficiency of different level of hierarchy and to cascade tasks on appropriate levels of management and to bring to specific performers. The directions and ways of increase in efficiency of activities for the main KPI are defined.

As a result it was noted that command success in key performance indicators leads to increase in competitiveness of the enterprises and corporation in general and to strengthening of Rosatom State Corporation positions in the local and international market, thus to strengthening of enterprise economic security.

Keywords: enterprise economic security, Key Performance Indicators (KPI), EBITDA, EBITDA Margin, Corrected Free Cash Flow (CFCF)

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

УДК 94(470):621.039

**ОТЕЧЕСТВЕННАЯ И ЗАРУБЕЖНАЯ ИСТОРИОГРАФИЯ
ПРОБЛЕМ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ В АТОМНОЙ
ЭНЕРГЕТИКЕ**

© 2017 А.В. Жук, М.В. Головкин, Ю.А. Евдошкина

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

В работе рассматриваются российские и зарубежные исследования, посвященные проблемам культуры безопасности в атомной энергетике. Предложена периодизация массива источников и литературы по проблемам культуры безопасности с разделением на 4 этапа. Проанализирована литература 1950–2016 гг. с точки зрения формирования теории культуры безопасности. Отмечена прямая зависимость тематики исследований от тяжести катастроф на объектах ядерной энергетике, с учетом политической конъюнктуры и формирования общественного мнения. Сделан вывод о наличии неисследованных областей и отсутствии обобщающего труда по историографии проблем культуры безопасности объектов атомной энергетике.

Ключевые слова: культура безопасности, атомная энергетика, Чернобыльская АЭС, АЭС «Три-Майл-Айленд», АЭС «Фукусима-1», атомный комплекс «Селлафилд», Уиндскейл, производственное объединение «Маяк».

Поступила в редакцию 10.03.2017

ВВЕДЕНИЕ

Сравнительно «молодое» понятие «культура безопасности» возникло в процессе работы Международной консультативной группы по ядерной безопасности при МАГАТЭ (International Nuclear Safety Advisory Group – INSAG) после аварии на Чернобыльской АЭС, и с этих пор, т.е. с августа 1986 г., когда был написан первый отчет INSAG, определение прочно закрепилось в научно-технической терминологии и постоянно развивалось после публикаций доклада группы под названием «Итоговый доклад послеаварийной обзорной конференции по Чернобыльскому реактору» [1].

Поначалу литература по культуре безопасности, появившаяся в 1990-е гг. в переводе, носила форму практических советов по развитию культуры безопасности в ядерной деятельности [2, 3], т.е. фактически в виде тех же директив МАГАТЭ и его подразделений.

Но, если обратиться к предыстории, до «знакового» появления термина «культура безопасности» проблема уже «виталя» в мировой науке и труде, где бы так или иначе затрагивалась данная область знания, появились задолго до отчетов INSAG. Связано это было не только с аварией 28 марта 1979 г. на АЭС «Три-Майл-Айленд» в США и Чернобыльской катастрофой 1986 г.

Представляется наиболее целесообразным с этой точки зрения историографически разделить весь массив источников и литературы на четыре неравных периода, как по количеству публикаций, так и по диапазону рассматриваемой проблематики:

- I-й период – 1950-е гг. – 1979 г.,
II-й период – 1979 – 1986 гг.,
III-й период – 1986 – 2011 гг.,
IV-й период – 2011 г. – по настоящее время.

I-й ПЕРИОД

В зарубежных источниках впервые была подвергнута анализу крупная радиационная авария 10 октября 1957 г. на одном из реакторов атомного комплекса «Селлафилд» в Уиндскейле (графство Камбрия на северо-западе Великобритании). Последствия аварии были изучены Национальной комиссией Великобритании по радиологической защите, что нашло отражение в соответствующем отчете [4]. Однако с точки зрения культуры безопасности эта авария анализировалась в литературе уже в конце 1980-х гг.

С пуском в СССР в 1946 г. ядерного реактора и введением в строй в 1954 г. атомной электростанции в Обнинске по безопасности эксплуатации объектов ядерной энергетики публиковалось множество справочников, нормативных материалов и научных трудов, как правило, под эгидой специально основанного для этих целей издательства Главного управления по использованию атомной энергии при Совете Министров СССР «Атомиздат» (в 1960–1963 гг. «Госатомиздат») и издательства «Наука». В данных работах проблемам безопасности атомной энергетики уделялась как минимум полноценная глава или раздел [5]. Значительно позже отечественная литература стала выходить под грифом «Энергоатомиздата». Не стоит упускать из виду, что в Советском Союзе активно рекомендовалась к использованию также и «переводная» литература, посвященная защите от ядерных излучений в целом – труды Б.Т. Прайса, К.К. Хортона, К.Т. Спинни, Т. Роквелла в 1950-е – 1970 гг. Объединяло все эти работы то, что в приоритете у исследователей находились, прежде всего, *технические* нормы безопасности, человеческий фактор если и не исключался, то не ставился в ранг проблемы, достойной обособленного исследования.

В этот историографический период, в связи с чрезвычайной секретностью, авария 29 сентября 1957 г. на химкомбинате «Маяк» (закрытый атомград Челябинск-40 (ныне Озёрск)) с точки зрения культуры безопасности обошла внимание исследователей, тем более что сведения об инциденте тщательно скрывались советскими властями. При этом домыслы появлялись в зарубежной периодике, но они были далеки от реалий. Лишь в 1976 г. исследователь Ж.А. Медведев выступил с сообщением об аварии в английском журнале «Нью-Сайентист», а в 1979 г. издал монографию «Ядерная катастрофа на Урале», в которой были приведены далеко не все факты, касающиеся этой аварии [6]. Лишь с 1980-х гг. проблема в трудах исследователей получила «второе дыхание», т.к. по Международной шкале ядерных событий (INES – International Nuclear Event Scale) МАГАТЭ авария получила 6-й уровень (серьезная авария), превосходящий по серьезности даже выброс на АЭС «Три-Майл-Айленд» (5-й уровень. «Авария с широкими последствиями»). Высший уровень (7-й уровень. «Крупная авария») получили аварии на Чернобыльской АЭС и АЭС «Фукусима-1».

II-й ПЕРИОД

Авария 28 марта 1979 г. на АЭС «Три-Майл-Айленд» (штат Пенсильвания, США) отразилась в зарубежных источниках и исследованиях фактически сразу [7, 8], т.к. вызвала всплеск антиядерных настроений в стране и усилила кризис в американской атомной энергетике, благодаря чему в США вплоть до 2012 г. заморозили ввод в

эксплуатацию новых АЭС и прекратили выдавать лицензии на строительство новых атомных электростанций [9]. Также был усилен надзор за эксплуатацией атомных станций, серьезной реорганизации была подвергнута Комиссия по ядерному регулированию США.

Результаты расследования катастрофы привели к тому, что стандарты безопасности АЭС, роль в ней человеческого фактора были переосмыслены, в терминологии возникло определение «человеко-машинный интерфейс» и наметки будущего научного понятия «культура безопасности», скрупулезное отражение нашедшее в уже более поздних исследованиях [10, 11].

Отечественная литература этого периода стала выходить под грифами «Энергоиздата» и «Энергоатомиздата» [12], при этом проблематика культуры безопасности практически не поднималась, а в научных и научно-популярных работах до 1986 г. сохранялся радужный ореол прогрессивного и абсолютно безопасного служения «мирного атома» людям [13].

III-й ПЕРИОД

После Чернобыльской аварии 26 апреля 1986 г. в СССР проблема безопасности атомной энергетики в трудах отечественных исследователей была не только заострена, но и возведена в особый ранг, поскольку стала постоянным фактором, эмоционально воздействующим на общественное сознание. Но даже в эпоху провозглашенной «гласности» такие работы появились не сразу и не вдруг, практически начиная лишь с 1987 г. [14–16]. В литературе более явно стало проявляться понятие «человеческого фактора» [17].

В начале 1990-х гг. возник «шквал» литературы, посвященной проблемам безопасности атомной энергетики в России. Это связано с появлением множества новых научных и научно-популярных журналов, академических и «независимых». «демократических» издательств, «издательских домов» и т.п. Особое звучание приобрели вопросы экологии территорий размещения АЭС [18–20].

Однако пласт трудов, посвященных проблемам именно культуры безопасности в атомной энергетике, появился уже в 2000-е гг. В эти годы стали анализироваться переводные версии текущих докладов МАГАТЭ [21], появились учебники по культуре безопасности [22], диссертационные исследования (О.В. Гордиенко, В.Н. Кузнецов) [23].

Третий период стал решающим в формировании теории культуры безопасности.

В конце 2000-х гг. наблюдается большой всплеск исследований, связанный с разработкой новых стандартов и формированием профессиональных компетенций будущих работников объектов ядерной энергетики. Проблема культуры безопасности с большой частотой и интенсивностью стала подниматься в периодике – журналах «Электрические станции», «Экологические системы и приборы», «Ядерная и радиационная безопасность России», «Вестнике ИГЭУ» и многих других. Культура безопасности обсуждалась в исследовательских работах В.А. Машина, В.А. Девисилова, М.В. Тихонова, В.Н. Абрамовой, И.А. Куприяновой, В.И. Смутнева, А.М. Карякина, Ю.Н. Селезнева, В.А. Здравова, А.В. Бушли, В.И. Простакова, И. Гераскина и Т.А. Пискурёвой [24].

Помимо культуры безопасности, подогреваемые немалым общественным интересом, в авангард науки вышли проблемы надежности, рисков, экономической эффективности работы АЭС и утилизации отработанного ядерного топлива.

IV-й ПЕРИОД

Авария на АЭС «Фукусима-1» в Японии в результате землетрясения и последующего цунами 11 марта 2011 г. породила новую волну интереса общества и ученых к проблемам культуры безопасности [25, 26]. Только научная периодика по «фукусимской» проблеме 2011–2016 гг. насчитывает свыше 700 публикаций. В этот период отечественная и зарубежная историография двигалась параллельно с официальными источниками [27]. Результаты расследования причин катастрофы, которое было проведено Японской парламентской комиссией, оказались ошеломляющими: в качестве главных «виновников» признавались не последствия стихийного бедствия, а ошибки персонала, заключавшиеся в неготовности к такой аварии, равно как и «неграмотное» вмешательство в процесс ликвидации последствий аварии премьер-министра Японии Наото Кана.

Именно в этот период проблема культура безопасности на объектах атомной энергетики вышла на новый качественный уровень. Катастрофа в Японии подстегнула Появились отдельные рубрики в научной периодике (с 2011 г. – в научно-практическом журнале «Глобальная ядерная безопасность»), исследования, посвященные формированию культуры безопасности в процессе обучения студентов в вузах.

Особого внимания заслуживают работы В.А. Руденко, где раскрывается сущность концепции культуры безопасности в рамках формирования профессиональных компетенций будущих работников объектов ядерной энергетики [28–30]. К подобного рода исследованиям в начале 2010-х гг. вплоть до настоящего времени также подключались Н.П. Василенко и Ю.А. Евдошкина [31, 32], проблематика поднималась в трудах ученых ближнего и дальнего зарубежья, обсуждалась на международных научных форумах [33–37], анализировалась в исследованиях О.Л. Ташлыкова, С.Е. Щеклеина и Г.А. Новикова [38].

Минимизации влияния человеческого фактора на надежность и безаварийность работы АЭС за счет повышения эффективности учебно-тренировочных занятий и «интеллектуальным» системам мониторинга функционального состояния оперативного состава управления объектами атомной энергетики посвящен ряд исследований М.В. Алюшина, А.В. Алюшина, В.М. Алюшина, Л.В. Колобашкиной, В.М. Белопольского, В.Л. Ушакова и И.А. Морозова [39].

Фактически все работы объединяет вывод о необходимости формирования культуры безопасности не столько у трудящихся на объектах атомной энергетики, сколько ещё в процессе обучения специалистов в вузах.

ВЫВОДЫ

Таким образом, в массиве мировой научной литературы по проблемам культуры безопасности можно выделить четыре однозначных периода, где теория культуры безопасности, как одно из важнейших наполнений человеческих факторов в безопасности, развивалась неравномерно. Периоды имеют прямую зависимость от тяжести катастроф на объектах ядерной энергетики, с учетом политической конъюнктуры и формирования общественного мнения. Рассматриваемая проблематика с каждым периодом расширялась как в количественном, так и в качественном отношении.

Несмотря на приличный пласт, именно историография проблем культуры безопасности атомной энергетики ни разу не являлась предметом специального, обобщающего исследования в отечественной и зарубежной науке.

В литературе можно отметить фактически полное отсутствие работ об экономической составляющей эффективности культуры безопасности. Этот пробел может быть положен в основу дальнейших исследований авторов.

В настоящее время стоит также отметить рост популярной «отраслевой» литературы буклетного характера по вопросам безопасности ядерной энергетики в России, где вопросы культуры безопасности так или иначе поднимаются, однако публикации в такой периодике, не имеющей даже международных сериальных номеров (см. журнал «РЭА»), практически не вводятся в научный оборот.

В МАГАТЭ есть позиция, где говорится, что атомной отрасли во всём мире следует двигаться к воспитанию у всех занятых в ней людей культуры безопасности, которая не менее важна, чем культура управления знаниями: это звенья одной цепи. Культура безопасности обязана быть источником стабилизации по превентивному устранению опасных событий. В этом ключе тема остается весьма актуальной и будет заслуживать особого внимания специалистов в дальнейшем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. The annual report for 1986 (IAEA). International Atomic Energy Agency: официальный сайт. – 1987. – Режим доступа: URL: http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC31/GC31Documents/English/gc31-800_en.pdf – 11.03.2017.
2. Культура безопасности. Серия «Безопасность». № 75-INSAG-4, МАГАТЭ [Текст]. – Вена, 1991.
3. Развитие культуры безопасности в ядерной деятельности: Практические советы по достижению прогресса. Серия «Отчеты по безопасности», МАГАТЭ [Текст]. – Вена, 1998.
4. United Kingdom Atomic Energy Authority. Accident at Windscale no. 1 pile on 10th October, 1957: presented to Parliament by the Prime Minister, by command of Her Majesty November 1957. London: H.M. Stationery Off., 25 p.
5. См., например: *Кимель, Л.Р., и др.* Защита от ионизирующих излучений. Справочник [Текст] / Л.Р. Кимель, В.П. Машкович. – М.: Атомиздат, 1972; Нормы радиационной безопасности (НРБ-76) [Текст]. – М.: Атомиздат, 1978; Атом неисчерпаем [Текст]. – М.: Атомиздат, 1981. – 200 с.; *Петросьянц, А.М.* Ядерная энергетика [Текст] / А.М. Петросьянц. – Изд-е 2-е, перераб. и доп. – М.: Наука, 1981. – 272 с. и др.
6. Medvedev Zh.A. Nuclear Disaster In The Urals. TBS The Book Service Ltd, 1979, ISBN 0-207-95896-3 / 0-207-95896-3.
7. Kemeny (Dartmouth College) John G. Report of The President's Commission on the Accident at Three Mile Island: The Need for Change: The Legacy of TMI. Washington, D.C.: The Commission, 1979, ISBN 0935758003.
8. Rogovin Mitchell. Three Mile Island: A report to the Commissioners and to the Public, Volume I. Nuclear Regulatory Commission, Special Inquiry Group, 1980.
9. Victoria Daubert, Sue Ellen Moran. Origins, Goals, and Tactics of the U.S. Anti-Nuclear Protest Movement, 1985, 128 p.
10. Three Mile Island Accident. World Nuclear Association, March 2001.
11. J. Samuel Walker, Three Mile Island: A Nuclear Crisis in Historical Perspective Berkeley: University of California Press, 2004, 231 p.
12. См., например: *Клемин, А.И. и др.* Расчет надежности ядерных энергетических установок: Марковская модель [Текст] / А.И. Клёмин, В.С. Емельянов, В.В. Морозов. – М.: Энергоиздат, 1982. – 208 с.; *Маргулис, У.Я.* Атомная энергия и радиационная безопасность [Текст] / У.Я. Маргулис. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 160 с. и др.
13. *Петросьянц, А.М. и др.* Атом не должен служить войне [Текст] / А.М. Петросьянц. – М.: Политиздат, 1986. – 191 с.
14. *Губарев, В.С.* Зарево над Припятью [Текст] / В.С. Губарев. – М.: Молодая гвардия, 1987. – 239 с.
15. *Бахметьев, А.М. и др.* Методы оценки и обеспечения безопасности ЯЭУ [Текст] А.М. Бахметьев. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 136 с.
16. Чернобыль: радиоактивное загрязнение природных сред [Текст] / Под ред. Ю.А. Израэля. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 296 с.

17. Психологические методы в работе с кадрами на АЭС [Текст]. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 192 с.
18. *Бадяев, В.В. и др.* Охрана окружающей среды при эксплуатации АЭС / В.В. Бадяев, Ю.А. Егоров, С.В. Казаков. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 224 с.
19. *Лозановская, И.Н. и др.* Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении [Текст] / И.Н. Лозановская, Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова. – М., 1998.
20. *Львов, Л.В. и др.* Надежность и экологическая безопасность гидроэнергетических установок [Текст] / Л.В. Львов, М.П. Федоров, С.Г. Шульман. – СПб., 1999.
21. Ключевые вопросы практики повышения культуры безопасности: INSAG-15 [Текст] / Доклад Международной консультативной группы по ядерной безопасности. – Вена: Международное агентство по атомной энергии, 2002. – 24 с. – (серия INSAG, ISSN 1025–2169 ; INSAG-15)
22. Культура безопасности [Текст]: учебное пособие. – Киев, 2005.
23. См., например: *Гордиенко, О.В.* Формирование мотивации безопасности в профессиообразовании оперативного персонала атомной станции [Текст] / О.В. Гордиенко : автореф. дис. канд. психол. наук. – Обнинск. 2001; *Кузнецов, В.Н.* Формирование культуры безопасности в трансформирующемся обществе: социологический аспект : автореф. дис. канд. социол. наук [Текст] / В.Н. Кузнецов. – М., 2002.
24. См., например: *Абрамова, В.Н.* Организационная психология, организационная культура и культура безопасности в атомной энергетике. Том «Психология и методы оценки организационной культуры и культуры безопасности на атомных станциях» [Текст] / В.Н. Абрамова. – М., 2009. – 257 с.; *Бушля, А.В. и др.* Основные направления развития культуры ядерной безопасности [Текст] / А.В. Бушля, В.И. Простаков, И. Гераскин, Т.А. Пискурёва // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2009. – №2. – С. 148–156; *Машин, В.А.* Система психологического обеспечения для предприятий атомной энергетики [Электронный ресурс] / В.А. Машин. – [Б.м.], 2010. – Режим доступа: URL: <http://mashinva.narod.ru/arch/PSY18.pdf> – 20.05.2015.
25. *Сливяк, В.* От Хиросимы до Фукусимы [Текст] / В. Сливяк. – М.: «Эксмо», 2011. – 256 с.
26. *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.
27. Причиной аварии на АЭС «Фукусима-1» стал человеческий фактор: доклад. [Электронный ресурс] // РИА-новости: сетевой журн. – 05.07.2012. – Режим доступа: URL: <https://ria.ru/eco/20120705/692257114.html> – 10.03.2017.
28. *Руденко, В.А. и др.* Компетентностный подход в воспитании культуры безопасности в вузе [Текст] / В.А. Руденко, Н.П. Василенко // Глобальная ядерная безопасность. – 2012. – №2-3(4). – С. 136–141.
29. *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.
30. *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.
31. *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.
32. *Евдошкина, Ю.А.* Формирование культуры безопасности личности как новое направление образовательного процесса в техническом вузе [Текст] / Ю.А. Евдошкина // Глобальная ядерная безопасность. – 2013. – №2(7). – С. 92–94.
33. Экологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС и их преодоление: двадцатилетний опыт [Электронный ресурс] : докл. эксперт. группы "Экология" Чернобыль. форума. – Вена : МАГАТЭ, 2008. – 180 с. – Режим доступа: URL: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1239r_web.pdf. – 10.03.2017.
34. Атомная энергетика в XXI веке, международная конференция : тезисы докладов. – Минск: Национальная академия наук Беларуси, 2011. – 41 с.
35. Беларусь и Чернобыль: 25 лет. – Минск : Институт радиологии, 2012. – 103 с.
36. *Збароўскі, Э.І.* Чарнобыльскія пантэоны: сны і явы [Текст] / Эдуард Збароўскі. – Мінск : Чатыры чвэрці, 2012. – 238 с.
37. Безопасность ядерной энергетики [Электронный ресурс] : тез. докл. XII Междунар. науч.-практ. конф., 1–3 июня 2016 г. / ВИТИ НИЯУ МИФИ [и др.]. – Волгодонск: [Б.и.], 2016. – 1 электрон. опт. диск [CD].

38. *Ташлыков, О.Л. и др.* О формировании культуры безопасности в процессе обучения студентов в вузе [Текст] / О.Л. Ташлыков, С.Е. Щеклеин, Г.А. Новиков // Перспективные энергетические технологии. Экология, экономика, безопасность и подготовка кадров – 2016: материалы науч.-практ. конф. – Екатеринбург: УрФУ, 2016. – С. 24–28.
39. См., например: *Алюшин, М.В. и др.* Минимизация влияния человеческого фактора на надежность и безаварийность работы АЭС и других опасных объектов за счет повышения эффективности учебно-тренировочных занятий // Глобальная ядерная безопасность. – 2016. – №4(21). – С. 78–88.

REFERENCES

- [1] The annual report for 1986 (IAEA). International Atomic Energy Agency. 1987. Available at: http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC31/GC31Documents/English/gc31-800_en.pdf (in English)
- [2] Kultura bezopasnosti. Seriya «Bezopasnost» [Safety Culture. Safety series]. № 75-INSAG-4, IAEA. Wien, 1991. (in Russian)
- [3] Razvitie kultury bezopasnosti v iadernoi deiatelnosti: Prakticheskie soveti po dostizheniiu progressa. Seriya «Otcheti po bezopasnosti» [Development of safety culture in nuclear activity: A practical advice on progress achievement. Reports "Safety series"], IAEA. Wien, 1998. (in Russian)
- [4] United Kingdom Atomic Energy Authority. Accident at Windscale no. 1 pile on 10th October, 1957: presented to Parliament by the Prime Minister, by command of Her Majesty November 1957. London: H.M. Stationery Off., 25 p. (in English)
- [5] Kimel L.R., Mashkovich V.P. Zashchita ot ioniziruiushchikh izlucheni. Spravochnik [Protection against the ionizing radiation. Reference book]. M. Pub. Atomizdat, 1972; Normy radiatsionnoi bezopasnosti (NRB-76) [Standards of radiation safety (NRB-76)]. M. Pub. Atomizdat, 1978; Atom neisчерpaem [Atom is inexhaustible]. M. Pub. Atomizdat, 1981, 200 p.; Petrosiants A.M. Yadernaia energetika [Nuclear power]. M. Pub. Nauka [Science], 1981, 272 p. etc. (in Russian)
- [6] Medvedev Zh.A. Nuclear Disaster In The Urals. TBS The Book Service Ltd, 1979, ISBN 0-207-95896-3 / 0-207-95896-3. (in English)
- [7] Kemeny (Dartmouth College) John G. Report of The President's Commission on the Accident at Three Mile Island: The Need for Change: The Legacy of TMI. Washington, D.C.: The Commission, 1979, ISBN 0935758003. (in English)
- [8] Rogovin Mitchell. Three Mile Island: A report to the Commissioners and to the Public, Volume I. Nuclear Regulatory Commission, Special Inquiry Group, 1980. (in English)
- [9] Victoria Daubert, Sue Ellen Moran. Origins, Goals, and Tactics of the U.S. Anti-Nuclear Protest Movement, 1985, 128 p. (in English)
- [10] Three Mile Island Accident. World Nuclear Association, March 2001. (in English)
- [11] J. Samuel Walker, Three Mile Island: A Nuclear Crisis in Historical Perspective Berkeley: University of California Press, 2004, 231 p. (in English)
- [12] Klemin A.I., Emelianov V.S., Morozov V.V. Raschet nadezhnosti yadernykh energeticheskikh ustanovok: Markovskaya [Calculation of reliability of nuclear power stations: Markov]. M. Pub. Energoizdat, 1982, 208 p.; Margulis U.Ia. Atomnaya energiya i radiatsionnaya bezopasnost [Atomic energy and radiation safety]. M. Pub. Energoatomizdat, 1983, 160 p. etc. (in Russian)
- [13] Petrosiants A.M. Atom ne dolzhen sluzhit voine [Atom should not serve war]. M. Pub. Politizdat, 1986, 191 p. (in Russian)
- [14] Gubarev V.S. Zarevo nad Pripiatiu [Glow over Pripyat]. M. Pub. "Molodaya gvardia", 1987, 239 p. (in Russian)
- [15] Bakhmetev A.M. Metody otsenki i obespecheniia bezopasnosti iadernykh energeticheskikh ustanovok [Methods of an assessment and safety of nuclear power stations]. M. Pub. Energoatomizdat, 1988, 136 p. (in Russian)
- [16] Chernobyl: radioaktivnoe zagriaznenie prirodnykh sred [Chernobyl: radiocontamination the environments]. Leningrad. Pub. Gidrometeoizdat, 1990, 296 p. (in Russian)
- [17] Psikhologicheskie metody v rabote s kadrami na AES [Psychological methods in work with NPP personnel]. M. Pub. Energoatomizdat, 1988, 192 p. (in Russian)
- [18] Badyaev V.V., Egorov Yu.A., Kazakov S.V. Okhrana okruzhaiushchei sredy pri ekspluatatsii AES [Environmental protection at operation of the NPP]. M. Pub. Energoatomizdat, 1990, 224 p. (in Russian)
- [19] Lozanovskaya I.N., Orlov D.S., Sadovnikova L.K. Ekologiya i okhrana biosfery pri khimicheskoi zagriaznenii [Ecology and protection of the biosphere at chemical pollution]. M., 1998. (in Russian)

- [20] Lvov L.V., Fedorov M.P., Shulman S.G. Nadezhnost i ekologicheskaya bezopasnost gidroenergeticheskikh ustanovok [Reliability and ecological safety of hydropower stations]. Saint-Petersburg, 1999. (in Russian)
- [21] Kliuchevye voprosy praktiki povysheniia kul'tury bezopasnosti [Key questions of practice increase in safety culture]: INSAG-15. Doklad Mezhdunarodnoy konsultativnoy gruppy po yadernoi bezopasnosti [Report of the International nuclear safety consultative group]. Wien, 2002, 24 p., ISSN 1025–2169 ; INSAG-15. (in Russian)
- [22] Kul'tura bezopasnosti: uchebnoe posobie [Safety culture : manual]. Kiev, 2005. (in Russian)
- [23] Gordienko O.V. Formirovanie motivatsii bezopasnosti v professiogeneze operativnogo personala atomnoi stantsii: avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoi stepeni kandidata psikhologicheskikh nauk [Formation of safety motivation in a professiongenesis of operation personnel in nuclear power plant: the abstract of the PhD thesis in Psychology]. Obninsk, 2001; Kuznetsov V.N. Formirovanie kul'tury bezopasnosti v transformiruiushchemsya obshchestve: sotsiologicheskii aspekt: avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoi stepeni kandidata sotsiologicheskikh nauk [Formation of safety culture in the transformed society: sociological aspect: the abstract of the PhD thesis in Sociology]. M., 2002. (in Russian)
- [24] Abramova V.N. Organizatsionnaya psikhologiya, organizatsionnaya kul'tura i kul'tura bezopasnosti v atomnoi energetike. Tom «Psikhologiya i metody otsenki organizatsionnoi kul'tury i kul'tury bezopasnosti na atomnykh stantsiiakh» [Organizational psychology, organizational culture and safety culture in nuclear power. Volume "Psychology and Methods of Assessment of Organizational Culture and Safety Culture on Nuclear Power Plants"]. M., 2009, 257 p.; Bushlia A.V., Prostavok V.I., Geraskin I., Piskureva T.A. Osnovnye napravleniya razvitiya kul'tury yadernoi bezopasnosti. Problemy bezopasnosti i chrezvychainykh situatsii [Main directions of cultural development in nuclear safety. Problems of safety and emergency situations], 2009, №2, pp. 148–156; Mashin V.A. Sistema psikhologicheskogo obespecheniya dlya predpriiati atomnoi energetiki [System of psychological providing for the enterprises of nuclear power]. 2010. Available at: <http://mashinva.narod.ru/arch/PSY18.pdf> (in Russian)
- [25] Slivak V. Ot Khirosimy do Fukusimy [From Hiroshima to Fukushima]. M. Pub. «Eksmo», 2011, 256 p. (in Russian)
- [26] Tikhonov M.V., Rylov M.I. Uroki Chernobyliya i Fukusimy: kul'tura i kontseptsiiya bezopasnosti na obiektakh ispolzovaniia atomnoi energii [Lessons of Chernobyl and Fukushima: culture and the concept of safety on subjects to use of atomic energy]. Ekologicheskie sistemy i pribory [Ecological systems and devices]. 2013, №12, pp. 38–50. (in Russian)
- [27] Prichinoy avarii na AES «Fukusima-1» stal chelovecheskii faktor (doklad) [The human factor became a cause of accident on the NPP "Fukushima-1": report]. RIA-novosti ["Russian news agency" - news]. Available at: <https://ria.ru/eco/20120705/692257114.html> (in Russian)
- [28] Rudenko V.A., Vasilenko N.P. Kompetentnostnyi podkhod v vospitanii kul'tury bezopasnosti v vuze [Competence approach in education of safety culture in University]. Globalnaya yadernaya bezopasnost [Global nuclear safety], 2012, №2-3(4), ISSN 2305-414X, eISSN 2499-9733, pp. 136–141. (in Russian)
- [29] Rudenko V.A., Vasilenko N.P. Prakticheskie metody formirovaniia priverzhennosti kul'ture bezopasnosti na individualnom urovne u studentov vuza [Practical methods for promoting safety culture at the individual level to the students of higher education institution]. Globalnaya yadernaya bezopasnost [Global nuclear safety], 2013, №1(6), ISSN 2305-414X, eISSN 2499-9733, pp. 100–103. (in Russian)
- [30] Rudenko V.A., Vasilenko N.P. Tsennostnaya sostavliaiushchaya kul'tury bezopasnosti [Value Component of Safety Culture]. Globalnaya yadernaya bezopasnost [Global nuclear safety], 2013, №4(9), ISSN 2305-414X, eISSN 2499-9733, pp. 82–86. (in Russian)
- [31] Vasilenko N.P., Rudenko V.A. Motivatsionnaya sostavliaiushchaya lichnosti v kul'ture bezopasnosti [Individual's Motivational Component in Safety Culture]. Globalnaya yadernaya bezopasnost [Global nuclear safety], 2014, №2(11), ISSN 2305-414X, eISSN 2499-9733, pp. 135–141. (in Russian)
- [32] Evdoshkina Yu.A. Formirovanie kul'tury bezopasnosti lichnosti kak novoe napravlenie obrazovatel'nogo protsessa v tekhnicheskome vuze [The formation of safety culture as a new direction of the educational process at a technical university]. Globalnaya yadernaya bezopasnost [Global nuclear safety], 2013, №2(7), ISSN 2305-414X, eISSN 2499-9733, pp. 92–94. (in Russian)
- [33] Ekologicheskie posledstviya avarii na Chernobyl'skoi AES i ikh preodolenie: dvadtsatiletnii opyt: doklad ekspertnoi gruppy «Ekologiya» Chernobyl'skogo foruma [Ecological consequences of the Chernobyl accident and their overcoming: twenty years experience: report of the expert Ecology

- group (the Chernobyl forum)]. Wien. Pub. IAEA, 2008, 180 p. Available at: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1239r_web.pdf (in Russian)
- [34] Atomnaya energetika v XXI veke. Mezhdunarodnaya konferentsiia: tezisy dokladov [Nuclear power in the 21st century. International conference: theses of reports]. Minsk. Pub. Natsionalnaia akademiia nauk Belarusi, 2011, 41 p. (in Russian)
- [35] Belarus i Chernobyl: 25 let [Belarus and Chernobyl: 25 years]. Minsk. Pub. Institut radiologii, 2012, 103 p. (in Russian)
- [36] Збароўскі Э.І. Чарнобыльскія пантэоны: сны і явы. Мінск. Чатыры чвэрці, 2012, 238 p. (in Belarussian)
- [37] Bezopasnost yadernoi energetiki: tezisy dokladov XII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, 1–3 iyunya 2016 g [Nuclear power safety: theses of the XII International scientific and practical conference, June 1-3, 2016]. Volgodonsk, 2016. (in Russian)
- [38] Tashlykov O.L., Shcheklein S.E., Novikov G.A. O formirovaniі kultury bezopasnosti v protsesse obucheniia studentov v vuze. Perspektivnye energeticheskie tekhnologii. Ekologiya, ekonomika, bezopasnost i podgotovka kadrov – 2016: materialy nauchno-prakticheskoi konferentsii [About formation safety culture in the course of student's tutoring of in higher education institution. Perspective power technologies. Ecology, economy, safety and training – 2016: materials of a scientific and practical conference]. Ekaterinburg. Pub. USU, 2016, pp. 24–28. (in Russian)
- [39] Aliushin M.V., Kolobashkina L.V., Aliushin A.M. Minimizatsiia vliianiia chelovecheskogo faktora na nadezhnost i bezavariinost raboty AES i drugih opasnykh obiektov za schet povysheniia effektivnosti uchebno-trenirovochnykh zaniatii [Minimizing of the Human Factor Impact on the Reliability and Safety of the NPP and other Dangerous Objects by Improving the Effectiveness of Training Sessions]. Globalnaya yadernaia bezopasnost [Global nuclear safety], 2016, №4(21), ISSN 2305-414X, eISSN 2499-9733, pp. 78–88. (in Russian)

Russian and Foreign Historiography of Safety Culture Problems in Nuclear Power Engineering

A.V. Zhuk*, M.V. Golovko**, Y.A. Evdoshkina***

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

** e-mail: AVZhuk@mephi.ru*

ORCID iD: 0000-0002-7596-5240

WoS ResearcherID: G-3749-201

*** e-mail: MVGolovko@mephi.ru*

ORCID iD: 0000-0002-4835-9800

WoS ResearcherID: J-2461-2016

**** e-mail: YAEvdoshkina@mephi.ru*

ORCID iD: 0000-0002-6704-0643

WoS ResearcherID: G-8379-2017

Abstract – In the article the Russian and foreign researches devoted to safety culture problems in nuclear power engineering are considered. The periodization of the plenty of sources and literature on safety culture problems is offered with division into 4 stages. Literature of 1950–2016 from the point on view of formation the safety culture theory is analysed. Direct dependence of research subjects on the severity of nuclear power facility catastrophes is noted, taking into account the political conjuncture and public opinion formation. The conclusion is drawn on existence of unexplored areas and lack of the generalizing work on the historiography of safety culture problems of nuclear power facilities.

Keywords: safety culture, nuclear power, Chernobyl NPP, "Three Mile Island" NPP, "Fukushima-1" NPP, Sellafield nuclear complex, Windscale fire, «Mayak» production association.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ НОМЕРА

Агапова С.П.	102
Алюшин А.М.	93
Алюшин М.В.	93
Аткина М.Э.	93
Бекетов В.Г.	78
Берела А.И.	59
Беседин А.М.	68
Бугакова А.В.	36
Бурдаков С.М.	13
Василенко Н.П.	85
Весна Е.Б.	85
Головко М.В.	113
Гоок С.Э.	21
Григорьев И.Р.	54
Губеладзе А.Р.	13
Губеладзе О.А.	13
Гуменюк А.В.	21
Дворников О.В.	36
Драка О.Е.	54
Евдошкина Ю.А.	113
Ефименко Н.А.	102
Жук А.В.	113
Игнашин А.А.	36
Конюхов И.Ю.	85
Кравец С.Б.	68
Мирзалиев А.С.	68
Пахомов И.В.	36
Подрезов Н.Н.	59
Прокопенко Н.Н.	36
Ретмайер М.	21
Руденко В.А.	78, 85
Сас А.В.	46
Саункин В.Т.	54
Смолин А.Ю.	68
Сорокин В.Н.	46
Томилин С.А.	59, 78
Ульянов В.Ю.	7
Ухалина И.А.	102
Федотов А.Г.	59
Чернов А.В.	46
Шамароков А.С.	68

AUTHOR INDEX OF VOL. 1, 2017

Agapova S.P.	102
Alyushin A.M.	93
Alyushin M.V.	93
Atkina M.E.	93
Beketov V.G.	78
Berela A.I.	59
Besedin	68
Bugakova A.V.	36
Burdakov S.M.	13
Chernov A.V.	46
Draka O.E.	54
Dvornikov O.V.	36
Efimenko N.A.	102
Evdoshkina Y.A.	113
Fedotov A.G.	59
Golovko M.V.	113
Gook S.	21
Grigoriev I.R.	54
Gubeladze A.R.	13
Gubeladze O.A.	13
Gumenyuk A.	21
Ignashin A.A.	36
Konyukhov I.Yu.	85
Kravets S.B.	68
Mirzaliyev A.S.	68
Pakhomov I.V.	36
Podrezov N.N.	59
Prokopenko N.N.	36
Rethmeier M.	21
Rudenko V.A.	78, 85
Saş A.V.	46
Saunkin V.T.	54
Shamarokov A.S.	68
Smolin A.Yu.	68
Sorokin V.N.	46
Tomilin S.A.	59, 78
Ukhalina I.A.	102
Ulyanov V.Yu.	7
Vasilenko N.P.	85
Vesna E.B.	85
Zhuk A.V.	113

NOTES FOR AUTHORS

1) The full text of article intended for publication has to be followed by representation of establishment in which work is made, and is signed by authors.

2) The file has to contain the expert resolution on publication possibility.

3) Information attached:

– A file with information about the authors in Russian and English (a surname, a name, a middle name, a work place, a position, an academic degree, a rank, postal address, and E-mail address, contact phone . If there are some authors, specify who to be corresponded with);

– A file with information about place of employment in Russian and English, including the postal address with an index. If there are several authors, to specify the place of employment of each author);

– the title of article and initials of authors in Russian and English;

– the abstract in Russian and English;

– UDC index;

– keywords in Russian and English.

4) The volume of article has to be no more than 12 pages of the typewritten text, including tables, the list of references (15–25 sources) and drawings (no more than 10).

5) Article has to be typed according to rules of a computer typing. Only one article is located in one file (in case of submission of two articles and more). Information of point 3 are a part of the article and have to be also submitted in electronic form.

Article should be issued in the Microsoft Office 97-2003 Word 7.0 format, 12 point font Times New Roman; print – 1 interval. Page parameters: all sides are 2,5 cm. Use of any other fonts is possible only by way of exception if they are entered to a file code. Please do not use signs of forced transfer and additional gaps. Vectorial values are selected with a bold-face type.

The equation editor of Equation 3.0 is only used to record the formulas. Large formulas need to be broken on some lines, and each new line is a new object. It is forbidden to scale formulas. Typing formulas it is necessary to use the following sizes: the text – 11 pf, a large index – 8 pf, a small-sized index – 6 pf, the large character – 12 pf, the small-sized character – 10 pf. Formulas shouldn't include signs of a punctuation and numbering in composition.

The article should contain only the most necessary formulas; it is desirable to refuse the intermediate calculations. Only those formulas which have references are numbered. Numbering of formulas should be shown through the whole article. Tables should have titles and numbering, only the standard abbreviations are allowed. The tables are desirable not to exceed one page of the text. The number of tables shouldn't exceed the number of pages.

Figures and diagrams must be black-and-white, 800x600 in size, with signatures. Diagrams should be issued in the Microsoft Office 97-2003 Word 7.0 format and only in the separate file (each diagram on a new page, or in the new file).

Units of measure should be given according to the International system (SI).

6) References are given at the end of article in order they mention. References are highlighted with square brackets in the text only to the published materials. References to foreign sources are given in original language.

7) The Publication Ethics.

The editors of the “Global Nuclear Safety” Journal work in accordance with the international publication ethics principles, including but not limited to privacy policy, vigilance over the scholarly publications, consideration of possible conflict of interests, etc. The editorial board follows the recommendations of the Committee on Publication Ethics (<http://publicationethics.org/>) and valuable practice of world-leading journals and publishers.

Authorship. All persons designed as “authors” should meet the criteria of the concept. Each author should have participated sufficiently in the work to take responsibility for its content. Authorship credit should be based on the following facts:

a) substantial contribution to conception and design, acquisition of data, or analysis and interpretation of data;

b) drafting the article or reviewing and introducing fundamental changes in it;

c) final approval of the version to be published.

Acquisition of funding or collection of data, as well as general supervision of the research group alone does not constitute authorship.

Editors of the “Global Nuclear Safety” journal has the right to request and publish information about the contributions of each person in writing the article.

All contributors who do not meet the criteria for authorship should be listed in the section “Acknowledgements”. The group of authors/contributors should jointly make the decision about the order in which their names are given.

The authors are responsible for the contents of their paper or short communication and its publication fact. The editorial staff reserves the right to shorten and review the articles submitted.

Reviewing. “Global Nuclear Safety” is peer-reviewed journal. Submitted papers and short communications are evaluated by editorial board members or specialized in the article field referees. Article review covers submitted material currency, scientific novelty degree, define its accordance to general journal profile, fixes facts of plagiarism. After the refereeing process is complete, the paper may be rejected, or returned to the authors for revisions, or accepted for publication.

Conflict of Interests. Conflict of interest concerning a particular manuscript exists when one of the participants of reviewing or publication process – an author, reviewer, or editor – has obligations that can influence his or her action (even if it is not really so). Financial relationships (such as, employment, consultancies, stock ownership, honoraria, and paid expert testimony) are the most easily identifiable conflicts of interest. However, conflicts can occur for other reasons, such as personal relationship, academic competition, and intellectual passion.

All participants in the peer-review and publication process must disclose all conflicts of interests.

When authors submit a manuscript, they are responsible for disclosing all financial and other relationship that might bias their work. Authors should identify all individuals and institutions, who provided financial assistance, as well as other financial and personal support. Authors should describe the role of the study sponsor(s), in study design; collection, analysis, and interpretation of data.

Authors should provide editors with the names of persons they feel should not be asked to review a manuscript because of potential, usually professional, conflicts of interest.

Reviewers must disclose to editors any conflicts of interests that could bias their opinions of the manuscript; they should recuse themselves from reviewing specific manuscripts if the potential for bias exists. In return, the editorial staff should have the possibility to judge the objectiveness of the review and decide whether to refuse the reviewer’s service.

Editorial staff may use information disclosed in conflict-of-interest and financial-interest statements as a basis for editorial decisions.

Editors who make final decisions about manuscripts must have no personal, professional, or financial interest/involvement in any of the issues they might judge. Other members of the editorial staff, if they participate in editorial decisions, must provide editors

with a current description of their financial interests (as they might relate to editorial judgment) and recuse themselves from any decisions in which a conflict of interest exists.

Publication of Negative Findings. Many studies with negative results are actually indecisive. The possibility of indecisive results publication is specially considered by the editorial staff.

Redundant Publications. The editorial staff will not consider manuscripts that are simultaneously being considered by other journals, as well as the papers on work that has already been reported in large part in a published article or is contained in another paper that has been submitted or accepted for publication elsewhere, in print or in electronic media. This policy does not preclude the journal from considering a paper that has been rejected by another journal, or a complete report that follows publication of a preliminary report, such as an abstract or poster displayed at a professional meeting.

Correspondence. If necessary the readers can send their comments, questions and pointed remarks for the published articles and their comments will be published. The corresponding authors can respond to the remarks if they wish.

The article should be checked in the system of the «anti-plagiarism» (<http://www.antiplagiat.ru>) to determine the percentage of the originality and identify possible sources of borrowing.

8) Each author submitting article for consideration to the journal has to be registered previously on the websites: <http://orcid.org> and <http://www.researcherid.com> (if he has no ORCiD and ResearcherID yet). The author's ORCiD (Open Researcher and Contributor ID) and ResearcherID identifiers as an integral part of information about the author, will be placed in the corresponding structural block of the published article.

ATTENTION! In case of a divergence of paper and electronic versions the Editorial staff is guided by the paper version.

The bibliography has to be issued according to **Scopus** standard specification:

THE LIST OF REFERENCES STANDARD IN ENGLISH:

For journals:

- [1] Berela A.I., Bylkin B.K., Tomilin S.A., Fedotov A.G. Analiz i predstavlenie sredy deystviya v sisteme proektirovaniya tehnologii demontazha oborudovaniya pri vyvode iz ekspluatatsii bloka AES [The analysis and representation of the action environment in system of technology design of equipment dismantle during NPP unit taking out of operation] [Global nuclear safety], 2014, №1(10), ISSN 2305-414X, p. 25-31. (in Russian)

Indicate article DOI if it in the presence.

For books:

- [2] Mogilev V.A., Novikov S.A. Faykov Yu.I. Tekhnika vzryvnogo eksperimenta dlya issledovaniya mekhanicheskoy stoykosti konstruksy. [Explosive experiment techniques for research of mechanical firmness of designs]. Sarov. FGUP "RFYaTs-VNIIEF" [Russian Federal Nuclear Center - The All-Russian Research Institute of Experimental Physics], 2007, ISBN 5-9515-0072-9, 215 p. (in Russian)

For web-resources:

- [3] Strategia razvitiya transportnogo kompleksa Rostovskoj oblasti do 2030 goda [Development strategy of a transport complex of the Rostov region till 2030]. Officialnij sait Ministerstva transporta Rostovskoj oblasti [Official site of the Transport Ministry of Rostov region], 2015. Available at: <http://mindortrans.donland.ru/Default.aspx?pageid=107384>. (in Russian)

For foreign references:

- [4] Gulyaev M., Bogorovskaia S., Shapkina T. The Atmospheric air condition in Rostov Oblast and its effect on the population health // Scientific enquiry in the contemporary world: theoretical basics and innovative approach. CA, USA, B&M Publishing, 2014. – p. 56-60.

For materials of conferences:

- [5] Gerasimov S.I., Kuzmin V.A. Issledovaniye osobennostey initsirovaniya svetochuvstvitelny vzryvchatykh sostavov nekogerentnym izlucheniym [Research of features of initiation are photosensitive explosive structures incoherent radiation] [Works of the International conference "16 Haritonov's scientific readings"]. Sarov. FGUP "RFYaTs-VNIIEF" [Russian Federal Nuclear Center – The All-Russian Research Institute of Experimental Physics], 2014, p. 90–93. (in Russian)

For materials of conferences (foreign references):

- [6] Ishikawa M. et al. Reactor decommissioning in Japan: Philosophy and first programme. – «N power performance and safety. Conference proceedings. Vienna, 28 September – 2 October 1987, v. 5. Nuclear Fuel Cycle». IAEA, Vienna. 1988. P. 121–124.

All documents should be sent to the journal postal address:
347360, Russia, Rostov region, Volgodonsk, Lenin Street, 73/94
Editorial office of "Global Nuclear Safety" journal
E-mail: oni-viti@mephi.ru

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 (15–25 источников) и рисунки (не более 10).

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 интервал, шрифтом Times New Roman размером 12 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». **References** предоставляются отдельно (правила оформления см. в разделе **The list of references standard in English**).

ВНИМАНИЕ! В случае расхождения бумажной и электронной версий Издательство руководствуется бумажной версией.

7) Этика публикаций.

Редакционная коллегия научного журнала «Глобальная ядерная безопасность» руководствуется в своей работе международными этическими правилами научных публикаций, включающими правила порядочности, конфиденциальности, надзора за публикациями, учет возможных конфликтов интересов и др. В своей деятельности редакция следует рекомендациям Комитета по этике научных публикаций (Committee on Publication Ethics (<http://publicationethics.org/>)), а также опирается на ценный опыт авторитетных международных журналов и издательств.

Авторство. Все лица, обозначенные как «авторы», должны соответствовать критериям этого понятия. Участие каждого автора в работе должно быть достаточным для того, чтобы принять на себя ответственность за ее содержание. Право называться автором основывается на следующих фактах:

а) значительном вкладе в концепцию и дизайн исследования или в анализ и интерпретации данных;

б) подготовке текста статьи или внесении принципиальных изменений;

в) окончательном утверждении версии, которая сдается в печать.

Участие, заключающееся только в обеспечении финансирования или подборе материала для статьи, не оправдывает включения в состав авторской группы. Общее руководство исследовательским коллективом также не признается достаточным для авторства.

Редакторы журнала «Глобальная ядерная безопасность» вправе спросить у авторов, каков вклад каждого из них в написание статьи; эта информация может быть опубликована.

Все члены коллектива, не отвечающие критериям авторства, должны быть перечислены с их согласия в специальном разделе «Выражение признательности».

Порядок, в котором будут указаны авторы, определяется их совместным решением.

Авторы несут ответственность за содержание статьи и за сам факт ее публикации. Редакция журнала оставляет за собой право на сокращение и редактирование присланных статей.

Рецензирование. Журнал «Глобальная ядерная безопасность» является рецензируемым журналом. Поступающие в редакцию журнала статьи и краткие сообщения проходят обязательное рецензирование членами редколлегии или специалистами по профилю данной статьи. Рецензия статьи раскрывает актуальность предоставленного материала, степень научной новизны, определяет соответствие предоставляемого текста общему профилю издания, фиксирует наличие плагиата. По результатам рецензирования статья может быть либо отклонена, либо отослана автору на доработку, либо принята к публикации.

Конфликт интересов. Конфликт интересов, касающийся конкретной рукописи, возникает в том случае, если один из участников процесса рецензирования или

публикации – автор, рецензент или редактор – имеет обязательства, которые могли бы повлиять на его или ее мнение (даже если это и не происходит на самом деле). Наиболее частая причина возникновения конфликта интересов – финансовые отношения (например, связанные с приемом на работу, консультациями, владением акциями, выплатой гонораров и платными заключениями экспертов), прямые или через близких родственников. Возможны и другие причины – личные отношения, научное соперничество и интеллектуальные пристрастия.

Участники процесса рецензирования и публикации должны сообщать о наличии конфликта интересов.

Авторы при представлении рукописи несут ответственность за раскрытие своих финансовых и других конфликтных интересов, способных оказать влияние на их работу. В рукописи должны быть упомянуты все лица и организации, оказавшие финансовую поддержку, а также другое финансовое или личное участие. Должна быть описана роль спонсора/спонсоров в структуре исследования, в сборе, анализе и интерпретации данных.

Авторы должны указывать имена тех, кому, по их мнению, не следует направлять рукопись на рецензию в связи с возможным, как правило профессиональным, конфликтом интересов.

Рецензенты должны сообщать редакции обо всех конфликтах интересов, которые могут повлиять на их мнение о рукописи; они должны отказаться от рецензирования конкретной статьи, если считают это оправданным. В свою очередь редакция должна иметь возможность оценить объективность рецензии и решить, не стоит ли отказаться от услуг данного рецензента.

Редколлегия может использовать информацию, представленную в сообщениях о наличии конфликта интересов и о финансовом интересе, как основу для принятия редакционных решений.

Редакторы, которые принимают решения о рукописи, не должны иметь личного, профессионального или финансового интереса/участия в любом вопросе, который они могут решать. Другие члены редакционного коллектива, если они участвуют в принятии решений, должны предоставить редакторам описание их финансовой заинтересованности (так как она может иметь влияние на редакторские решения) и отказаться от участия в принятии решения, если имеет место конфликт интересов.

Публикация отрицательных результатов. Многие исследования, показывающие отрицательные результаты, в действительности являются нерешающими/неокончательными. Возможность публикации неокончательных результатов исследований рассматривается редколлегией в особом порядке.

Множественные публикации. Редакция не рассматривает рукописи, одновременно представленные для публикации в другие журналы, а также работы, которые в большей части уже были опубликованы в виде статьи или стали частью другой работы, представленной или принятой для публикации каким-либо другим печатным изданием или электронными средствами массовой информации. Эта политика не исключает рассмотрение статьи, не принятой к публикации другим журналом, или полного описания, представленного после публикации предварительных результатов, т.е. тезисов или постерных сообщений, представленных на профессиональных конференциях.

Переписка. Читатели в случае необходимости могут направлять свои комментарии, вопросы или критические замечания к опубликованным статьям, которые будут напечатаны в журнале. При желании авторы статей могут ответить на замечания.

8) Каждый автор, подающий статью на рассмотрение в журнал, должен предварительно зарегистрироваться на сайтах: <http://orcid.org> и <http://www.researcherid.com> (если у него еще нет ORCID и ResearcherID). Авторские идентификаторы ORCID (Open Researcher and Contributor ID) и ResearcherID, как неотъемлемая часть сведений об авторе, будет размещаться в соответствующем структурном блоке опубликованной статьи.

Ответственность за достоверность данных в публикуемой в журнале рекламе несет рекламодатель. Публикуемая реклама не является частью авторских произведений.

ПРИМЕРЫ ОФОРМЛЕНИЯ ЛИТЕРАТУРЫ НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ:

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 ; опубл. 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; опубл. 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://военноеправо.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

2017, 1(22)

Главный редактор – **М.Н. Стриханов, доктор физико-математических наук, профессор**

Сдано в набор 22.03.2017 г.

Компьютерная верстка Вишнева М.М.

Подписано к печати 23.03.2017 г.

Бумага «SvetoCору» 80 г/м². Объем 15,84 усл.печ.л.

Гарнитура «TimesNewRoman»,

Тираж 300 экз.

Отпечатано в типографии ВИТИ(ф) НИЯУ МИФИ