

**Multi-D**  
*engineering*

# Россия Атомный

RUSSIA  
Atomic Project  
**проект**



 **Новая ЭРА**  
[www.newelectro.ru](http://www.newelectro.ru)

#13  
2012



XI MOSCOW  
INTERNATIONAL  
ENERGY  
FORUM









XI МОСКОВСКИЙ  
МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ  
ФОРУМ

# ТЭК РОССИИ В XXI ВЕКЕ

Мировая энергетика: новые векторы развития  
Энергетическая стратегия России в контексте новых вызовов



## ОРГАНИЗАТОРЫ:

-  Министерство энергетики Российской Федерации
-  Министерство иностранных дел Российской Федерации
-  Комитет Совета Федерации по экономической политике
-  Комитет Государственной Думы по энергетике
-  Российская академия наук
-  Торгово-промышленная палата Российской Федерации



ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

14 МЕЖДУНАРОДНЫХ КОНФЕРЕНЦИЙ

VIII МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА

3000 УЧАСТНИКОВ

120 УНИКАЛЬНЫХ ДОКЛАДОВ

2000 МЕТРОВ ЭКСПОЗИЦИИ

**8-11 АПРЕЛЯ 2013 Г.**

**МОСКВА**

+7 (495) 664-24-18  
info@mief-tek.com

[www.mief-tek.com](http://www.mief-tek.com)

# Атомный проект

ВЫПУСК ТРИНАДЦАТЫЙ

Подготовлен для участия в отраслевых выставках:

- V Международный форум поставщиков атомной отрасли АТОМЕКС-2012 (12–14 декабря 2012 г., Москва, Россия)
- IV Международная выставка «Атомная энергетика и промышленность» (09–11 марта 2013 г., Астана, Казахстан)
- XI промышленная выставка Expo-Russia Jordan 2013 (11–13 марта 2013 г., Амман, Иордания)
- V Международная специализированная выставка АтомЭкспо Беларусь – 2013 (20–22 марта 2013 г., Минск, Республика Беларусь)

# Atomic Project

ISSUE THIRTEENTH



**АТОМНЫЙ ПРОЕКТ**

Информационно-аналитический журнал для специалистов в области атомного машиностроения

№ 13, декабрь 2012 г.

**Учредитель-издатель**

ООО «РИЦ «Курьер-медиа»

**Генеральный директор**

Г. П. Митькина

**Сайт в Интернете**

www.kuriermedia.ru

**Журнал издается при содействии:**

- ОАО «Нижегородская инжиниринговая компания «Атомэнергопроект» (НИАЭП).
- НП «Нижегородский деловой центр атомного машиностроения» (НДЦ «Атоммаш»).
- ООО «Центр информационных и выставочных технологий» «НДЦ-Экспо».

**Журнал зарегистрирован**

в Управлении Федеральной службы по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций по Нижегородской области. Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ТУ 52-0093 от 25.12.2008 г.

**Главный редактор**

Г. П. Митькина  
8-902-68-00-589

**Директор рекламной службы**

Л. И. Волкова  
8-951-901-77-94

**Трафик-менеджер**

Ю. Кривошеева  
8-951-902-27-31

**Допечатная подготовка**

ООО «РИЦ «Курьер-медиа»

**Перевод**

В. В. Сдобников

**Адрес**

603006, Нижний Новгород,  
ул. Академика Блохиной, д. 4/43

**Телефон**

(831) 461-90-16

**Факс**

(831) 461-90-17

**E-mail:** ra@kuriermedia.ru,  
ag@kuriermedia.ru

**Тираж выпуска**

3000 экз.  
на бумажном и CD-носителях

**Дата выхода в свет**

07.12.2012 г.

**Типография**

Центр оперативной печати  
(Нижний Новгород,  
пр. Гагарина, д. 5)

В свободной продаже отсутствует

Перепечатка, копирование материалов, опубликованных в журнале, без согласования с редакцией не допускается. Ответственность за достоверность рекламных материалов несут рекламодатели.

**Фотография на обложке:**

**Зима на атомной станции**  
www.rosenergoatom.ru

**ИННОВАЦИИ/INNOVATIONS**

Синергетический эффект  
*Synergetic Effect*

**4**  
**5**

**ПЕРСПЕКТИВА/PROSPECT**

Время практических действий  
*Time for Actions*

**6**  
**6**

**ПАРТНЕРЫ/PARTNERS**

Выбрана технология управления строительством крупнейшего в мире термоядерного реактора  
*Technology of the Largest Nuclear Fusion Construction Management is Chosen*

**7**  
**7**

**КЛАСТЕР/CLUSTER**

Кластер атомной энергетики в Нижнем Новгороде:  
вчера, сегодня, завтра. **В.П. Чалов**  
*Nuclear Cluster in the Nizhny Novgorod Region:  
Yesterday, Today, Tomorrow. V. Chalov*

**8**  
**9**

КАЭНН: большой оркестр атомной отрасли  
*Nizhny Novgorod Nuclear Cluster: a Big Orchestra of the Nuclear Industry*

**10**  
**13**

**ОПЫТ/EXPERIENCE**

Мировые практики корпоративного обучения. **Н.Я. Леонтьев, Е.А. Стеньшин**  
*World Practices of Corporate Training. N. Leontiev, E. Stenshin*

**15**  
**17**

**МОЛОДЫЕ УЧЕНЫЕ/YOUNG SCIENTISTS**

Связь скорости детонации с кривизной фронта детонационной волны.  
**К.М. Просвирнин, Е.Б. Смирнов, Б.Г. Лобойко, О.В. Костицын, Ю.А. Беленовский, А.Н. Киселёв**

**20**

Измерение параметров электронного пучка в инжекторе ЛИУ (ЛИУ-2).  
**РФЯЦ-ВНИИТФ им. Е.И. Забабахина, ИЯФ им. Г.И. Будкера**

**23**

Отработка катод-анодной пары рентгеновской установки РФЯЦ-ВНИИТФ ИГУР-3,5 для оптимизации регистрации быстропротекающих процессов. **П.С. Базаров, А.М. Василенко, М.Ю. Столбиков, О.А. Никитин, В.Е. Черемазов**

**27**

**ПРАКТИКА/PRACTICE**

Концепция построения информационной системы управления территориями: от оптимизации к информатизации  
*Concept of Territory Management Information System: from Optimization to Informatization*

**31**  
**33**

Опыт моделирования процессов линейной сварки трением на гибридных вычислительных системах. **Р.К. Газизов, А.В. Юлдашев, А.М. Ямилева**  
*Simulation of Linear Friction Welding Processes in Hybrid Computing System. R. Gazizov, A. Yuldashev, A. Yamileva*

**35**  
**37**

**ПРИМЕНЕНИЕ CFD КОДОВ/CFD CODES APPLICATION**

Проблемы верификации и применения CFD кодов  
*Problems of CFD Codes Verification and Application*

**40**  
**40**

Проблемы аттестации кодов CFD класса. **С.Л. Соловьев**  
*Challenges in CFD codes attestation. S. Solovyov*

**41**  
**41**

Суперкомпьютерные технологии для атомной энергетики.  
**А.Н. Гребенников, В.П. Соловьев, Р.М. Шагалиев, А.А. Деулин**  
*Supercomputer technology in the nuclear industry. A. Grebennikov, V. Solovyov, R. Shagaliev, A. Deulin*

**42**  
**42**

Текущее состояние развития и задачи верификации CFD кодов. <b>В.Н. Семенов, В.Ф. Стрижов, В.В. Чуданов, В.М. Головизнин</b> <i>CFD codes current development and verification tasks.</i> <b>V. Semyonov, V. Strizhov, V. Chudanov, V. Goloviznin</b>	<b>43</b> <b>43</b>	<b>Редакционный совет журнала «Атомный проект»</b> <b>РУКОВОДИТЕЛЬ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА</b> <b>Лимаренко В. И.</b> – директор ОАО «НИАЭП», вр. и. о. президента ЗАО «АСЭ», доктор экономических наук <b>ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА:</b> <b>Митенков Ф. М.</b> – советник директора ОАО «ОКБМ Африкантов» по научным вопросам, академик РАН <b>Зверев Д. Л.</b> – директор-генеральный конструктор ОАО «ОКБМ Африкантов», к. т. н. <b>Седаков А. Ю.</b> – директор ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю. Е. Седакова», к. т. н. <b>Дмитриев С. М.</b> – ректор Нижегородского государственного технического университета имени Р. Е. Алексеева, д. т. н. <b>Титов Б. М.</b> – директор Нижегородского института экономического развития (НИЭР), к. э. н. <b>Дробинин В. Н.</b> – президент НП «Нижегородский деловой центр атомного машиностроения» <b>Иванов Ю. А.</b> – первый заместитель директора ОАО «НИАЭП» <b>Петрунин В. В.</b> – первый заместитель директора, главный конструктор промышленных РУ ОАО «ОКБМ Африкантов», д. т. н. <b>Катин С. В.</b> – заместитель директора ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю. Е. Седакова» по научной работе, д. т. н., профессор <b>Чернышев А. К.</b> – заместитель научного руководителя РЯЦ-ВНИИЭФ, д. ф.-м. н. <b>Лотов В. Н.</b> – главный конструктор по АСУ объектами АЭ и ТЭК ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю. Е. Седакова», к. т. н. <b>Скородумов С. Е.</b> – главный ученый секретарь ОАО «ОКБМ Африкантов», к. т. н. <b>Зоря В. В.</b> – начальник управления инновационного проектирования и развития ОАО «НИАЭП», к. фил. н. <b>Леонтьев Н. Я.</b> – начальник лаборатории стратегического развития и мониторинга рынков ОАО «НИАЭП», к. э. н. <b>Комаров А. В.</b> – исполнительный директор НП «Нижегородский деловой центр атомного машиностроения» <b>Певницкий Б. В.</b> – начальник научно-исследовательского отдела ИТМФ РЯЦ-ВНИИЭФ <b>Хвойнов В. Н.</b> – начальник отделения маркетинга и связей с общественностью ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю. Е. Седакова» <b>Панченко И. О.</b> – начальник отдела по связям с общественностью и информационной политике ОАО «НИАЭП» <b>Гирин Я. Н.</b> – начальник рекламно-выставочного управления СДС РЯЦ-ВНИИЭФ
Верификация и валидация CFD кодов на задачах свободноконвективного теплообмена и поверхностной конденсации. <b>В.В. Безлепкин, С.Е. Семашко, М.А. Затевахин, А.А. Игнатъев, О.И. Симакова, О.В. Масленникова, Р.А. Шарапов</b> <i>Verification and validation of CFD codes on the basis of free convective heat transfertasks and surface condensation tasks.</i> <b>V. Bezlepkin, S. Semashko, M.Zatevakhin, A.Ignatyev, O. Simakova, O.Maslennikova, R.Sharapov</b>	<b>44</b> <b>44</b>	
Разработка полномасштабной гидродинамической CFD модели реактора проекта ВВЭР-ТОИ. <b>А. В. Шишов</b> <i>Development of full-scale hydrodynamic CFD model for WWER-TOI project.</i> <b>A. V. Shishov</b>	<b>45</b> <b>45</b>	
Применение кода FlowVision для моделирования транспорта предшественников запаздывающих нейтронов в реакторах на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем. <b>С.Л. Осипов, С.А. Рогожкин, А.В. Салаяев, С.Г. Усынина, В.А. Кутин, В.И. Похилко, М.Л. Сазонова</b> <i>Application of FlowVision codes for modeling transport of delayed neutron precursors in sodium-cooled fast reactors.</i> <b>S. Osipov, S. Rogozhkin, A. Salyaev, S. Usynina, V. Kutin, V. Pokhilko, M. Sazonova</b>	<b>46</b> <b>46</b>	
CFD Код CONV-3D: валидация и верификация. <b>В.В. Чуланов, А.Е. Аксенова, В.А. Первичко</b> <i>3D CFD CONV CODE: validation and verification.</i> <b>V. Chudanov, A. Aksenova, V. Pervichko</b>	<b>47</b> <b>47</b>	
Применение CFD кодов в теплогидравлических расчетах для обоснования безопасности работы активной зоны и элементов в реакторных установках. <b>С.Ю. Афонин, Д.А. Афремов, К.В. Кузубов, В.П. Смирнов, А.Г. Чухлов</b> <i>Application of CFD codes in thermohydraulic calculations for safety of the reactor core and plant components.</i> <b>S. Afonin, D. Afremov, K. Kuzubov, V. Smirnov, A. Chukhlov</b>	<b>48</b> <b>49</b>	
Расчетно-экспериментальное исследование гидродинамики и массообмена во фрагментах ТВС ВВЭР-1000 с сотовыми дистанционирующими перемешивающими решетками. <b>С.И. Гетья, В.Г. Крапивцев, П.В. Марков, В.И. Солонин</b> <i>Pilot study of flow dynamics and mass transport in fuel assemblies of WWER-1000 reactor with spacer mixing grids.</i> <b>S. Getya, V. Krapivtsev, P. Markov, V. Solonin</b>	<b>50</b> <b>50</b>	
О замыкании модели турбулентности по критерию самоорганизации установившегося движения. <b>С.Н. Ложкин, И.Р. Уголева, А.С. Ложкин</b> <i>On closure of the turbulence model by steady flow self-organization criterion.</i> <b>S. Lozhkin, I. Ugoleva, A. Lozhkin</b>	<b>51</b> <b>52</b>	
Практическое внедрение суперкомпьютерных технологий. <b>Галина Митькина</b>	<b>54</b>	
<b>ЮБИЛЕЙ</b>	<b>56</b>	
<b>ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ / ELECTRIC EQUIPMENT</b>	<b>57</b>	
<b>СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ. БЕЗОПАСНОСТЬ АЭС / CONTROL SYSTEMS. NPP SAFETY</b>	<b>65</b>	
<b>СПЕЦАРМАТУРА. СТРОИТЕЛЬСТВО И ОБСЛУЖИВАНИЕ АЭС / SPECIAL PURPOSE HARDWARE. NPP BUILDING &amp; SERVICE</b>	<b>71</b>	
<b>АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ / INDEX</b>	<b>83</b>	
<b>ОТ РЕДАКЦИИ / FROM THE EDITORS</b>	<b>84</b>	

# Синергетический эффект

**В марте 2012 года решением Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» ОАО «НИАЭП» было определено управляющей компанией ЗАО «Атомстрой-экспорт» (ЗАО АСЭ).**

Сегодня в объединенной компании трудится почти 4000 человек, а с учетом дочерних предприятий – более 6000. Объединенная компания располагает мощным потенциалом, включающим в себя проектный институт в Нижнем Новгороде, три офиса по управлению сооружением АЭС (в Нижнем Новгороде, Москве и Санкт-Петербурге), представительства в 10 странах Европы и Азии, где реализуются или планируются проекты.

Синергетический эффект от слияния компетенций двух крупных игроков на рынке атомной энергетики призван обеспечить ритмичность загрузки производственных мощностей обеих компаний за счет одновременного выполнения проектов и в России, и за рубежом. Сейчас с большой долей уверенности можно сказать, что эта цель будет достигнута.

Президент Объединенной компании НИАЭП-АСЭ **Валерий Лимаренко** уверен, что объединение было необходимым ответом на вызов времени:

– Взявшись за формирование большого игрока за счет укрупнения и концентрации функций, мы создали компанию, у которой внешних заказов сегодня больше, чем у кого-либо в мире, – 20 блоков. НИАЭП добавили компетенции по строительству объектов за границей. Это очень ценно: в страну, где свои законы, традиции, регулирующие органы, политическое устройство, надо идти подготовленным. У АСЭ есть специалисты с колоссальным опытом и международным авторитетом, прошедшие к тому же советскую школу атомщиков.

Конечно, безоблачным и легким процесс объединения назвать трудно. Но специалисты ни одного часа не привыкали друг к другу: мы профессионально занимаемся одним и тем же. В АСЭ хорошая команда, просто национальное достояние – коллектив, готовый к сложнейшим инженерным задачам, которые другие страны не умеют, ну, или делают только штучно.

По абсолютному большинству вопросов у специалистов НИАЭП и АСЭ полная гармония, но, безусловно, кое-где идет притирка. Например, в комплектации поставок. АСЭ не работал в единой системе закупок. Мы начали постигать эту науку. В НИАЭП работа в этой области поставлена очень жестко, побоевому. И, вероятно, некоторые сотрудники почувствовали себя не очень комфортно. А задача стояла увеличить производительность труда в АСЭ в восемь раз, ориентируясь на показатель по отгрузке продукции на одного человека.

Сложно шла перестройка управления экономикой и финансами. В НИАЭП есть подроб-



ные бюджеты каждого объекта, каждой стройки, и все они декомпозированы, разделены по видам деятельности, и везде – конкретные цифры и формулы. Каждый месяц эта модель отвечает на вопрос: ты в бюджете или нет. Есть разделение по бизнес-процессам: управление строительством, проектной деятельностью, закупки-поставки. Всего их порядка 24, и все должны быть безубыточны. Еще один уровень – центральный офис – филиалы. В каждом тоже свой бюджет. Все эти бюджеты взаимосвязаны, все должны быть позитивными и профицитными. Мы следим за этими параметрами. И на этапе объединения с АСЭ месяца три мучились, пока не научились говорить на одном языке.

За это время примерно 300 человек ушло из компании. В основном те, с кем захотели проститься руководители АСЭ, кто не был занят в производстве и формировал инфраструктурные звенья, вел вспомогательную работу. Кто-то по собственному желанию ушел: были другие планы. Но мы не потеряли ни одной компетенции. Все ценное сохранено. Сегодня мы активно занимаемся повышением операционной эффективности объединенной компании. Ввели новую штатно-организационную структуру, существенно снизив затраты на производственную деятельность и сократив сроки исполнения. Что касается новых проектов сооружения АЭС и других энергообъектов, то все они имеют положительные финансово-экономические показатели. Уже в этом году мы ждем 42 млн долларов прибыли. Прогноз показывает, что в перспективе эта сумма будет расти, – отметил В. И. Лимаренко.

Он рассказал также о взаимодействии новой структуры с ЗАО «Русатом Оверсиз» (ЗАО

«Русатом Оверсиз» создано в 2011 г. для реализации проектов за рубежом. Компания может выступать в роли заказчика, инвестора и собственника в проектах строительства АЭС, реализуемых по схеме build–own–operate, когда Росатом не только строит станцию, но и привлекает финансирование и становится ее оператором. – Ред.) и другими участниками проектов по сооружению АЭС:

– Было принято решение разделить функции переговорщиков, то есть «Русатом Оверсиз» и специалистов инжиниринга. Мы выстроили процесс передачи полномочий от одного к другому. Сначала в страну, которая хочет строить АЭС, приходят переговорщики. Их роль уменьшается по мере возникновения технической конкретики, а функция инжиниринга возрастает. Какой смысл инжинирингу сидеть часами за переговорами по контракту, который созреет через 5–10 лет? Мы формируем контракт, уточняем, что делать, цену, сроки, а потом занимаемся реализацией. А переговорщики задействуют все возможности Росатома. Ведь надо не только построить АЭС, но и создать инфраструктуру, обеспечить станцию топливом. То есть «Русатом Оверсиз» выступает сразу от лица всех.

Затрагивая вопрос стратегии развития НИАЭП-АСЭ на ближайшие 20 лет, президент компании отметил:

– Наша задача – обеспечивать глобальную экспансию технологической платформы ВВЭР, увеличить долю на рынке вывода АЭС из эксплуатации. Планируем заниматься и проектами малой и средней энергетики (ВВЭР-500). Еще одна стратегическая инициатива – сооружение неатомных сложных инженерных объектов, например, тепловых электростанций, нефтяных платформ.

Сегодня наша доля на мировом рынке строительства АЭС – 20% , в России – 50%. Соотношение отечественных и зарубежных проектов в портфеле заказов – примерно две трети на одну треть в пользу внешнего рынка. Российский рынок немного уменьшился, а зарубежный, наоборот, немного расширился за счет активности правительства России и руководства Росатома. В 2012 году выручка объединенной компании прогнозируется на уровне 2 млрд долларов, а к 2017 году она должна вырасти до 9,4 млрд долларов. В планах Росатома, а значит, и в наших, заложен темп роста выручки в области инжиниринга в размере 2,7% в год до 2030 года.

**Подготовлено с использованием материала газеты «Страна Росатом»**



# Synergetic Effect

**Rosatom State Corporation took a decision of merging NIAEP JSC and Atomstroyexport CJSC (ASE) in March 2012. As a result, NIAEP became a managing company of ASE CJSC.**

Today the merged company employs 4,000 specialists, and when subsidiaries are taken into account the number of employees amounts to 7,000. With its design institute in Nizhny Novgorod, three branches responsible for building NPPs (located in Nizhny Novgorod, Moscow and Saint-Petersburg), representation offices in 10 European and Asian countries where projects are planned and implemented, the company has a tremendous potential.

Synergetic effect of merging engineering competences of the two major players in the nuclear engineering market was supposed to ensure full utilization of the capacities of the companies by means of simultaneous implementation of projects both in Russia and abroad. Now everyone is sure that the goal will be achieved.

**Valery Limarenko**, President of NIAEP-ASE merged company, is confident that the merger was a reasonable response to the challenge of the time:

– Striving to create a major player by means of concentrating the functions, we have set up a company that has more orders from abroad than any other company, specifically 20 power-generating units to be built. NIAEP has received competences of constructing facilities abroad. This is very essential because one needs sufficient preparation before coming to a country where laws, regulating authorities and political system are different. ASE can boast of specialists who have vast experience and international authority; besides they have digested the best of the Soviet atomic school.

Certainly, the merging process was not that easy and seamless. But specialists did not have to adapt to each other: we do the same thing professionally. ASE has a well-coordinated team that is a real asset: it is a team that is always ready to solve sophisticated engineering problems which are solved only randomly in other countries.

In many areas relations between NIAEP and ASE specialists are quite harmonious. But in some fields they need to adapt to each other, for example, in the field of equipment and materials supplies. ASE has never operated in a single procurement system. We have just started to master the system, while NIAEP has a very rigid system of procurement. Probably, some specialists felt uncomfortable. The task was to enhance the productivity in ASE eight-fold having products shipment per a man as the main parameter.

Renovation of the economy and finance was also a complicated process. NIAEP draws

up detailed budgets for each facility, each construction site; all the budgets are decomposed and split along certain lines, and each contains specific figures and formula. Each month the model can answer the question: have we overrun the budget or not? Business processes such as construction management, design management, procurement and supply are strictly specified. There are about 24 business areas of the kind, and all of them must be loss-free. The central office versus branches is another level of subdivision. Each has a budget of its own. All budgets are interdependent, all of them must be positive and profit-oriented. We monitor these parameters. And at the merging stage, for about three months, we had troubles before we learned to speak one language with ASE.

Since then approximately 300 specialists have left the company, mainly at the initiative of ASE management. They were people not engaged in production activities, those who worked in infrastructure divisions. Some resigned at their wish as they had other plans. But we have not lost a single competence. Today we are boosting operation effectiveness of the merged company. Having introduced a new staff and organizational structure we managed to cut production cost and performance time. As for the new NPP construction projects, all of them have positive financial and economic indicators. This year must bring \$42 mln in profits. And we forecast a further growth of the sum, says Valery Limarenko.

Mr.Limarenko also dwelt upon the relations with a new company, Rusatom Overseas CJSC (Rusatom Overseas was founded in 2011 to implement projects abroad. The company can be a customer, an investor and an owner of NPP construction projects implemented in build-own-operate format; Rosatom not only builds a plant but also attracts investments for the plant and operates it) and other participants in NPP construction projects.

– Decision has been made to split the functions of negotiators, i.e. Rusatom Overseas and engineering specialists. We have built up a procedure of delegating responsibilities from one company to the other. First, negotiators come to the country that plans to build an NPP. Their role diminishes when technical issues are to be discussed, and the role of engineering specialists becomes more important. There is no need for engineering staff to spend a lot of time negotiating a contract that will be mature in 5-10 years. We formulate a contract, specify our future activities, the price and the deadline, then we get involved in the contract implementation. The negotiators mobilize all Rosatom's capacities. It is required not only to build an NPP, but to build infrastructure as well and to supply the plant with fuel. Thus, Rusatom Overseas represents the whole corporation.

Speaking about NIAEP-ASE development strategy for 20 years, the President said:

– Our goal is to provide for the global expansion of WWER technology, and to increase our share in NPP decommissioning market. We also have plans to implement projects of small and medium capacity reactors (WWER-500). Another strategic initiative is to get engaged in the construction of non-nuclear sophisticated facilities such as heat power plants and oil platforms.

Our share in the global NPP construction market accounts for 20 percent, in Russia it is 50 percent. In the dealing portfolio foreign orders constitute two thirds of the total number of orders. The number of Russian orders has slightly decreased while the number of orders from abroad has increased which is the result of energetic actions of the Russian government and Rosatom top management. The merged company's profit is expected to be \$2 bn in 2012, and it must be \$9.4 bn in 2017. Rosatom and our company plan to ensure the annual profit growth at 2.7 percent till 2030.

**From the «Strana Rosatom» newspaper**

# Время практических действий

**2012 год для инжиниринговой компании НИАЭП-АСЭ ознаменован не только успешным запуском сразу нескольких энергоблоков, но и началом строительства новых АЭС.**

18 июля 2012 года в Минске по итогам заседания Совета министров Союзного государства РФ и Белоруссии был подписан генеральный контракт на сооружение Белорусской АЭС. С российской стороны контракт подписал президент НИАЭП-АСЭ **Валерий Лимаренко**, с белорусской – директор ГУ «Дирекция строительства АЭС» **Михаил Филимонов**.

Белорусская АЭС будет состоять из двух энергоблоков суммарной мощностью до 2400 (2x1200) МВт и будет построена на Островецкой площадке в Гродненской области. Для строительства первой белорусской АЭС выбран проект «АЭС-2006», который полностью соответствует международным нормам и рекомендациям МАГАТЭ.

Восьмого ноября 2012 года в Островце состоялось очередное заседание штаба по сооружению Белорусской АЭС, перед которым рабочее совещание с участием руководителей Министерства энергетики, Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь, администрации Гродненской области, ГУ «Дирекция строительства атомной электростанции» и объединенной компании НИАЭП-АСЭ.

О ходе выполнения работ по сооружению объектов производственной базы и АЭС доложил **Юрий Пустовой**, директор представительства ОАО «НИАЭП» в Республике Беларусь. Работы по устройству пористого дренажа и бетонного основания под основными зданиями первого блока ведутся в соответствии с графиком. Уложено 29400 кубометров бетона, что составляет 36% общего объема. Валерий Лимаренко прокомментировал сообщение положительно: «На этой площадке системно решен вопрос с качественным бетоном».

Что касается первоочередных задач, ведется работа по подаче тепла на административно-бытовой комплекс и две столовые на 160 и 500 мест. Начато строительство первого уровня ограждения промышленной площадки АЭС (завершение запланировано на конец 2012 года).

Важным вопросом является строительство жилья для тех, кто трудится на сооружении станции.

«Перед нами поставлена задача увеличения темпов строительства. За промышленными тем-



Курская АЭС / Kurskaya NPP

пами должны успевать и социальные. Обозы от армии отставать не должны», – подытожил Валерий Лимаренко.

А 22 ноября 2012 года в городе Курчатове Курской области состоялось первое заседание оперативного штаба по сооружению энергоблоков №1 и 2 Курской АЭС-2.

Перед совещанием участники штаба осмотрели одну из предполагаемых площадок строительства Курской АЭС-2, строительные базы и размещение объектов инфраструктуры. На заседании были рассмотрены укрупненный график разработки и реализации проекта энергоблоков, первоочередные работы по объектам инженерной подготовки и их обеспечение проектной и



На первом заседании оперативного штаба в г. Курчатове / On the first meeting of construction executive staff in the town of Kurchatov

рабочей документацией, а также ход выполнения инженерных изысканий по выбору площадки АЭС.

Генеральным проектировщиком и генеральным подрядчиком сооружения КуАЭС-2 определено ОАО «НИАЭП». Начальником строительства Курской АЭС-2 назначен директор по строительно-монтажным работам ОАО «НИАЭП» **Игорь Крууз**. На территории Курской области будет открыт филиал ОАО «НИАЭП» с тем, чтобы, как сообщил Лимаренко, «здесь и налоги платить, и жить, и работать непосредственно на месте сооружения энергоблоков». Первые несколько десятков сотрудников филиала начнут работу в Курчатове уже после новогодних и рождественских праздников. «У всех нас есть желание как можно быстрее развернуть здесь работы, – подчеркнул Валерий Лимаренко. – В этой ситуации мы будем решать вопрос о максимально быстром получении лицензий и параллельно будем заниматься инженерной подготовкой строительства».

Перечень первоочередных объектов на стадии инженерной подготовки строительства энергоблоков № 1, 2 Курской АЭС-2 включает около 80 сооружений производственного, инфраструктурного и социально-бытового назначения. В их числе автомобильный и железнодорожные мосты с подъездными путями, первая очередь жилой застройки для строительного персонала, производственные комплексы общестроительных, тепло- и электромонтажных организаций.

В ходе подготовительных работ и при основном строительстве предусматривается максимально использовать имеющиеся в регионе материальные и трудовые ресурсы. Первый заместитель губернатора Курской области **Александр Зубарев** заявил о готовности региональной власти оказать всемерное содействие данному масштабному проекту.

«Время практических действий по сооружению Курской АЭС-2 пришло, – сказал, открывая заседание, директор Курской АЭС **Вячеслав Федюкин**. – Мы долго к этому готовились и при поддержке всех уровней власти, от федеральных до региональных и местных, приступаем к практическому решению практических задач».

Пуск первого энергоблока Курской АЭС-2 намечен на 2020 год.

**Для справки:** общий пакет одновременно реализуемых на сегодняшний день НИАЭП-АСЭ проектов – 20 сооружаемых или проектируемых энергоблоков в России и за рубежом.

## Time for Actions

**2012 was a fateful year for NIAES-ASE since several nuclear power-generating units were commissioned and construction of new NPPs began.**

A general contract for construction of Belorusskaya NPP was signed on July 18, 2012 as a result of the meeting of the Council of Ministers of the Union State of Russia and Belarus. Russian party to the Contract was represented by **Valery Limarenko**, President of NIAEP-ASE, the Belorussian party was represented by **Mikhail Filimonov**, Director of NPP Construction Directorate.

Belorusskaya NPP will comprise two power-generating units with the total capacity of 2,400 MW (2x1,200). It will be built in Ostrovets district of the Grodno region in accordance with AES-2006 (NPP-2006) project that meets the IAEA international requirements.

A meeting of the NPP construction executive staff and a meeting of Ministers of Power Production, Architecture and Construction of the Republic of Belarus, heads of the Grodno region administration, NPP construction directorate and NIAEP-ASE was held on November 2012 in the town of Ostrovets.

**Yury Pustovoy**, Director of NIAEP representation office in Belarus, said how the NPP operation base facilities were being built. He said that the drainage facility and concrete bed of the main buildings of the 1st unit are being built in accordance with the construction schedule. 29,400 cubic meters of concrete have been placed, which is 36 percent of the total amount. Valery

Limarenko reacted positively to the news: «The issue of quality concrete is settled at the construction site.»

As one of the priority tasks heat is supplied to the administration and on-site facilities and to two canteens for 160 and 500 seats. Construction of the first level of the NPP industrial estate enclosure has begun (completion of the work is planned for the end of 2012).

An important issue is construction of housing for builders.

«Our task is to speed up the construction. Implementation of the social projects should not lag behind the construction of industrial facilities. Unit transport must be close to the army,» concluded Valery Limarenko.

The first meeting of Kurskaya NPP construction executive staff was held in the town of Kurchatov on November 22, 2012.

Before the meeting the participants inspected one of the probable construction sites, the construction base and infrastructure facilities location. Participants of the meeting considered the milestones schedule of the power-generating unit construction project, priority measures of the site planning and management and developing design and engineering documentation as well as the results of the engineering investigation required for choosing the construction site.

NIAEP has been designated as the general contractor and chief designer of Kurskaya NPP. **Igor Krusz**, Director for Construction of NIAEP, is appointed as the head of the NPP construction. A branch of NIAEP will be opened

in the Kursk region and it will allow, as Mr. Limarenko put it, «to live, work and pay taxes at the construction site». First several dozens of the branch specialists will begin their activities in Kurchatov immediately after Christmas and New Year holidays. «Everybody wants to start working here as soon as possible. We shall solve the issue of licenses quickly and shall get engaged in the site planning and management,» said Valery Limarenko.

The list of works required for the planning and management of the 1st and 2nd units construction site includes about 80 industrial, infrastructure and social facilities. Among them are road and railway bridges, the first housing facilities for builders, manufacturing facilities of civil engineering, heating and electrical maintenance companies.

It is planned to use as many material and human resources of the region as possible while performing the site management and the main construction works. **Alexander Zubarev**, the First Deputy Governor of the Kursk region, said that the regional government is ready to provide all-round support to this large-scale project.

«It is the time for actions,» said **Vyacheslav Fedukin**, Director of Kurskaya NPP. «We have been preparing for the project implementation for a long time, and now start to solve practical issues enjoying support of the federal, regional and local governments.»

Commissioning of the 1st power-generating unit of Kurskaya NPP is planned for 2020.

**Reference:** NIAEP-ASE builds and designs 20 power-generating units in Russia and abroad.



## Выбрана технология управления строительством крупнейшего в мире термоядерного реактора

**ITER – международный исследовательско-технологический проект по термоядерным реакторам – в настоящий момент занят постройкой крупнейшего в мире и наиболее современного термоядерного реактора. Работы проводятся в исследовательском центре Карадаш на юге Франции. Этот крупный научный эксперимент предназначен для демонстрации того, что можно получать коммерческую энергию путем термоядерного синтеза. В проекте сотрудничают европейские страны, Россия, Индия, Китай, Япония, Южная Корея и США, и он входит в тройку самых дорогих проектов в истории по объему инвестирования, имея смету в 13 миллиардов евро.**

В октябре 2012 г. международный консорциум выбрал для управления ходом строительства, сдачи в эксплуатацию, последующей эксплуатации, а также технического обслуживания реактора ITER решения программного комплекса Intergraph® SmartPlant® Enterprise. Соглашение включает применение таких решений SmartPlant Enterprise, как SmartPlant Foundation, SmartPlant Construction, SmartPlant Materials и SmartPlant Enterprise for O/O.

Строительство площадки и зданий уже началось, и страны-участницы начинают производство оборудования, такого как сверхпроводящие проводники. На этапе проектирования, строительства и пуска реактора решение SmartPlant Enterprise for O/O предоставит заранее конфигурированные решения для поддержки процессов инжиниринга и управления проектом, а SmartPlant Foundation сыграет ключевую роль в синхронизации и обмене данными. Преимущество использования в проекте синхронизированной информации и централизованных баз данных, предлагаемых SmartPlant Enterprise, связано с необходимостью обеспечения наилучшего управления ра-

бочими процессами, хранения информации об оборудовании и его обслуживании, координации поставщиков и управления изменениями.

Поставка первого оборудования на площадку произойдет в 2014 году, монтаж токамака будет проведен в 2015 году. Работы планируется завершить к 2019 году с расчетом на запуск реактора в 2020 году. Как только экспериментальный реактор будет сдан, каждая страна-участница получит право строить аналогичные термоядерные электростанции на своей территории.

Решение ITER о выборе Intergraph было принято после длительного анализа и почти 4-летнего внедрения и опытного использования PLM решений других компаний.

– Несмотря на присутствие на рынке конкурирующих решений, выбор сделан в

пользу технологии Intergraph благодаря комбинации решений, знаний и опыта, а также человеческих ресурсов, представленных для данного проекта, – сообщил **Кен Блэклер**, глава отдела строительства и эксплуатации. ITER станет первым в мире лицензированным термоядерным реактором подобного класса, и опыт Intergraph в области атомной энергетики, превышающий 20 лет, сыграл важную роль в принятии окончательного решения.

Президент Intergraph Process, Power & Marine **Герхард Саллингер** в свою очередь отметил, что проект термоядерного реактора ITER — крупная победа Intergraph в данной отрасли.

**Intergraph является одним из стратегических партнеров инжиниринговой компании НИАЭП-АСЭ.**



**На свой второй ежегодный День открытых дверей 6 октября 2012 года международной организацией ИТЭР были приглашены около 1300 человек.**

**For its second annual Open House Day on 6 October 2012, the ITER Organization invited 1,300 people. (Photo: ITER Organization)**

## Technology of the Largest Nuclear Fusion Construction Management is Chosen

**ITER is an international project to design and build the largest experimental fusion reactor. The site for the nuclear reactor is the town of Caradache in the south of France. The research project is to demonstrate that it is possible to produce commercial power by means of thermonuclear reaction. The project has united European countries, Russia, India, China, Japan, Republic of Korea and USA and, being worth 13 bn euros, it is one of the three most expensive projects.**

The international consortium chose Intergraph® SmartPlant® Enterprise bundled software for the construction management, commissioning, operation and maintenance of ITER reactor in October 2012. It is planned to apply such SmartPlant Enterprise decisions as SmartPlant Foundation, SmartPlant Construction, SmartPlant Materials и SmartPlant Enterprise for O/O.

Construction of the site and buildings has already begun, and member countries start to

produce equipment such as superconducting conductors. At the stage of design, construction and commissioning of the reactor SmartPlant Enterprise for O/O will provide configured decisions for the project engineering and management support while SmartPlant Foundation will play the key role in the data exchange and synchronization. Synchronized information and centralized databases are required to ensure the best possible management of work process, storage of information about equipment and its maintenance, coordination of suppliers operations and change management.

The first equipment will be delivered to the site in 2014, tokamak assembly will be done in 2015. The work will be completed in 2019 and the reactor will be commissioned in 2020. After the commissioning of the experimental reactor each member country will have the right to build analogous fusion power plants on its territory.

ITER took decision to use Intergraph after long process of analysis and 4 years of introduction and pilot use of PLM systems of other companies.

– Though there are competing technologies in the market, we have chosen Intergraph since it has the best combination of solutions, knowledge and expertise as well as human resources essential for the project, – says **Ken Blackler**, head of ITER's Assembly & Operations Division. ITER reactor will be the first licensed nuclear fusion reactor of this class, and 20 years of Intergraph's experience in the nuclear power engineering was a decisive factor in making the final choice.

**Gerhard Sallinger**, President of Intergraph Process, Power & Marine, noted that ITER reactor project is an important victory of Intergraph in the field.

**Intergraph is one of NIAEP-ASE's strategic partners.**

# Кластер атомной энергетики в Нижнем Новгороде: вчера, сегодня, завтра

**В. П. Чалов, член рабочей группы по развитию кластера атомной энергетики в Нижнем Новгороде**

## История

В конце 80-х годов прошлого века исследователи обнаружили, что в разных странах существуют группы конкурентоспособных предприятий в рамках отдельных отраслей, которые, несмотря на малый территориальный размер, занимают лидирующие позиции по всему миру. Причем это не отдельные предприятия, а именно группы предприятий. По-английски «скопление, группа, гроздь, пучок, куст» – это и есть «кластер».

Производственная кооперация, локализация родственных производств, новые источники финансирования, государственная поддержка и, как результат – внедрение инноваций, снижение себестоимости и повышение конкурентоспособности продукции – эти явления характерны для кластерного развития промышленности.

Какова основа конкурентоспособности кластеров? Главное – это наличие ключевых фирм, которые экспортируют свою продукцию или товары, или услуги за пределы региона. Конкурирующих компаний не обязательно должно быть много, но должна быть лидирующая, которая и обеспечивает экономический успех всего кластера, которая приносит валюту в регион. Если эта компания конкурентоспособна, то, как правило, она зависит от поставщиков сырья, комплектующих, ремонта, услуг и т. д. – из чего складывается конечный продукт. От уровня предприятий-поставщиков зависит благополучие всего кластера в целом.

Быть ли атомному кластеру на нижегородской земле?

Некоторое время назад, на одном из заседаний Инвестиционного совета при губернаторе, говоря о перспективах развития ТЭК региона, губернатор Нижегородской области Валерий Шанцев сказал: «Исходя из того, что наш регион уже располагает уникальным сочетанием научного потенциала в этой отрасли – РФЯЦ-ВНИИЭФ в Сарове, мощные проектно-конструкторские институты, обладающие уникальным экспериментальным оборудованием и квалифицированными кадрами, такие как ОКБМ, НИИИС, НИАЭП – и машиностроительных предприятий: Нижегородский машиностроительный завод, завод «Красное Сормово» и многие другие, можно говорить о том, что атомный кластер уже сформирован».

Для администрации кластер – это современный и удобный инструмент в промышленной политике для достижения основных целей: доходности региона и занятости населения.

Кроме того, это хорошая площадка для взаимодействия с бизнесом.

Россия вступила во Всемирную торговую организацию (ВТО). До этого момента РФ оставалась последней крупной мировой экономикой, не входящей в ВТО. Российские компании вскоре окажутся в условиях прямой жёсткой конкуренции с иностранными производителями. Они будут активнее проникать на отечественный рынок, который станет абсолютно открытым. Сложившаяся ситуация заставит всех игроков меняющегося рынка делать ставку на создание большей добавленной стоимости товара путем дополнения производимых продуктов высокотехнологичными составляющими. Иначе российские компании просто не смогут конкурировать с мировыми гигантами, многие предприятия и их продукция окажутся неконкурентоспособными; эксперты прогнозируют банкротство и разорение многих неэффективных бизнесов.

В такой ситуации ещё острее обозначилась задача поиска мер защиты отечественного бизнеса.

«Большинство предпринимателей стремятся к тому, чтобы в России было выгодно и безопасно производить, чтобы наступила эпоха свободной конкуренции, а государство разработало и внедрило эффективную систему защиты интересов национального бизнеса» (из обращения В. П. Шанцева к участникам Первого Международного бизнес-саммита «Бизнес в России: Нижний Новгород», 27–29 сентября 2012 г.).

## К реалиям

14 июня 2012 года на II Международном форуме «Управление жизненным циклом сложных инженерных объектов», организованном ОАО «НИАЭП», руководители предприятий атомной отрасли, других отраслей промышленности, строительства и экономики, науки и образования, Ассоциации промышленников и предпринимателей, Торгово-промышленной палаты, представители администраций Нижегородской и Владимирской областей подписали меморандум о создании кластера атомной энергетики в Нижнем Новгороде (КАЭНН). Утвержден Совет по развитию кластера, создана рабочая группа.

Рабочая группа наметила программу действий, определила функционал каждого участника и активно приступила к работе. За прошедший период состоялись три заседания рабочей группы. В рамках проходившего 27–29 сентября 2012 года на Нижегородской ярмарке Первого Международного бизнес-саммита «Бизнес в России: Нижний Новгород» организован и проведён круглый стол на тему «Кластер атомной энергетики: новые возможности экономического развития и кадрового потенциала». Разработан и запущен в тестовом режиме сайт кластера, ведётся работа по наполнению его разделов и совершенствованию структуры.

Презентация сайта состоялась на XVII Международном промышленно-экономическом форуме «Будущее России», проходившем 1–4 ноября 2012 года на Нижегородской ярмарке. Она вызвала интерес как самих участников, так и потенциальных партнёров кластера. Устанавливаются деловые контакты.

В программе деятельности Нижегородской ассоциации промышленников и предпринимателей (НАПП) на 2013–2017 гг. одной из основных задач отмечается оказание поддержки предприятиям области в создании и работе кластера атомной энергетики в Нижнем Новгороде. Готовность к сотрудничеству с членами кластера проявляют и зарубежные производители продукции для атомной промышленности, в частности, члены кластера «Бургундский ядерный полюс (pole Nucleaire Bourgogne)» (Франция).

## К перспективам

Прогнозировать успешную работу кластера в среднесрочной и долгосрочной перспективе позволяет выбранный подход к управлению кластером. Это Совет по развитию кластера. В его состав входят руководители всех ведущих предприятий атомной отрасли региона. Председателем избран Валерий Игоревич Лимаренко – президент ОАО «НИАЭП». Совет будет определять цели, задачи и стратегию развития кластера, утверждать перечень кластерных проектов, годовые и проектные бюджеты. Рабочая группа по развитию кластера, состоящая из топ-менеджеров ряда предприятий атомной отрасли, других отраслей промышленности, строительства и экономики, науки и образования, Ассоциации промышленников и пред-

принимателей, Торгово-промышленной палаты, представителей администраций Нижегородской и Владимирской областей будет выполнять роль исполнительного органа.

Первые наиболее важные, можно сказать – основополагающие проекты КАЭНН:

– развитие единого отраслевого номенклатурного каталога оборудования и материалов (ЕОНКОМ);

– подготовка кадров для предприятий атомной отрасли и других участников кластера.

Если говорить о поставках оборудования и материалов, то предприятия кластера могут и должны активно участвовать в этих проектах. Важным моментом является регистрация и размещение своей продукции в ЕОНКОМ. Специалисты ОАО «НИАЭП» уже сегодня проводят работу по обучению сотрудников заинтересованных предприятий для работы с каталогом. Это направление должно получить дальнейшее развитие.

ГК «Росатом» проводит корректировку дорожной карты. Ввод в действие первого энергоблока Нижегородской АЭС смещён на 2023 год. В этом году НИАЭП стал генеральным подрядчиком по сооружению четырёх энергоблоков Курской АЭС, начинается проектирование. В активной фазе сооружение 3-го и 4-го блоков Ростовской АЭС, энергоблоков в Белоруссии... Таким образом, несмотря на смещение сроков сооружения Нижегородской АЭС, у участников кластера и сегодня большой фронт работ. Это поможет предприятиям – потенциальным поставщикам оборудования и материалов осуществлять поставки на уже строящиеся АЭС и хорошо подготовиться к строительству АЭС в Нижегородской области.

В этой ситуации трудно переоценить значимость образовательного проекта, поэтому создана базовая кафедра НГТУ в ОАО «НИАЭП» «Системы управления жизненным циклом сложных инженерных объектов» и уже идёт процесс подготовки специалистов для работы как в проектной блоке, так и непосредственно на самих строящихся объектах.

Приступили к подготовке по участию предприятий кластера в III Международном научно-практическом Форуме «Управление жизненным циклом сложных инженерных объектов». Президент ОАО «НИАЭП», председатель Совета по развитию кластера В.И. Лимаренко предложил на традиционно проводимых форумах, на заседаниях Совета рассматривать актуальные вопросы развития кластера.

Есть реальные предпосылки участия предприятий кластера ещё в целом ряде проектов, однако неопределённость на сегодняшний день организационно-правовой формы регистрации кластера делает, к сожалению, разговоры о них преждевременными.

Наиболее предпочтительной – по результатам обсуждений и из опыта работы в том числе зарубежных кластеров – является форма некоммерческого партнерства. В этом случае, имея статус юридического лица как полноценного хозяйствующего субъекта, можно участвовать в большом количестве проектов, иметь возможность получать государственную поддержку и быть уверенным в том, что деятельность партнерства будет направлена на успех всего кластера и всех его участников, а не в интересах какого-либо участника или уполномоченной фирмы.

И тогда ответ на вопрос «Быть ли атомному кластеру на нижегородской земле?» становится очевидным: кластер атомной энергетики в Нижнем Новгороде (КАЭНН) работает – значит, он уже существует!



# Nuclear Cluster in the Nizhny Novgorod Region: Yesterday, Today, Tomorrow

**V. Chalov, a Member of the Task Force for Nizhny Novgorod Nuclear Cluster Development**

## History

In the 1980s it dawned upon researchers that within industries there are groups of competitive enterprises that occupy the leading positions in the world despite being limited in their geography. They are not separate enterprises but groups of companies. The English term for them is a «cluster».

Cooperation and localization of related production facilities, new sources of financing, state support and resulting introduction of innovations, low production cost and enhanced competitiveness are typical of the cluster-like industry development.

What enhances clusters' competitiveness? It is based on key companies that export their products and services beyond the region. The number of competing companies should not be great, but there must be a top company that boosts the economy of the whole cluster and earns currency for the region. When this company is competitive it depends on suppliers of raw materials, components, repair and other services that are essential for production of the end product. The effectiveness of the cluster depends upon efficiency of suppliers.

Is it possible to form a nuclear cluster in the Nizhny Novgorod region?

Some time ago Valery Shantsev, Governor of the Nizhny Novgorod region, said at a meeting of the Investment Council: «Taking into consideration the unique research potential of the region in the nuclear sector represented by All-Russian Research Institute of Experimental Physics (VNIIEF) in Sarov, by efficient design institutes such as OKBM, NIIS, NIAEP with their state-of-the-art experimental facilities, by machine building companies such as Nizhny Novgorod Machine Building Plant, Krasnoe Sormovo Plant and many others, we can state that the nuclear cluster has already been formed in the region».

The regional government can use the cluster as a modern tool of the economic policy to achieve the strategic goals, i.e. to ensure profitability of the region and full employment.

Moreover, it is a good means to establish cooperation with business structures.

Russia has joined WTO. Before that it had been the only large economy that was outside WTO. Very soon Russian companies will have to compete fiercely with foreign producers. Foreign companies will have a free access to the Russian market. In such a situation all players in the changing market will be forced to create added value by means of integrating high technologies in their products. Otherwise they would not be able to compete with the world giants; experts forecast bankruptcy of a great number of inefficient companies.

Therefore, the task of specifying the means of protecting Russian business becomes even more important.

«It is a dream of the majority of entrepreneurs to be able to produce goods with profit and without any risks, to work in the environment of free competition, to enjoy an effective system of protecting interests of Russian businesses developed and introduced by the state» (from

the Address by Governor Valery Shantsev to the participants of the 1st International Business Summit «Business in Russia: Nizhny Novgorod», September 27-29, 2012).

## Realities

On June 14, 2012, at the 2nd International Forum «Lifecycle Management of Sophisticated Facilities» organized by NIAEP JSC, a memorandum of the creation of Nizhny Novgorod nuclear cluster was signed by heads of companies of the nuclear industry, agriculture and other branches, scientific and educational establishments, Association of Industrialists and Entrepreneurs, Chamber of Industry and Commerce, representatives of the governments of the Nizhny Novgorod and Vladimir regions. A Council of the cluster development and a task force were formed.

The task force has worked out a plan of activities, specified the functions of each cluster member and initiated active activities. Three meetings have been held since then. The round table «A Nuclear Cluster: New Possibilities of the Economic and Human Resources Development» was held within the framework of the 1st International Business Summit «Business in Russia: Nizhny Novgorod». The cluster's web-site has been created and run in the test mode; now its structure is being perfected and its sections are filled with the appropriate content.

The web-site was presented at the 17th International Industrial and Economic Forum «Future of Russia» held at the Nizhny Novgorod Trade Fair on November 1-4, 2012. The presentation provoked interest among the participants of the forum and prospective cluster members. Now business relations are being established.

The program of the Nizhny Novgorod Association of Industrialists and Entrepreneurs for 2013-2017 envisages the assistance to companies of the region in creating the nuclear cluster and in its operations. Foreign manufacturers of products for the nuclear industry such as *pôle Nucléaire Bourgogne* (France) have also demonstrated readiness and willingness to cooperate with Nizhny Novgorod nuclear cluster members.

## Prospects

The adopted approach to the cluster management enables us to predict that the cluster's medium-term and long-term operations will be successful. The main managing body is the Council for the Cluster Development. Heads of all regional companies of the nuclear industry are members of the Council. The Council is chaired by Valery Limarenko, NIAEP President. The Council's mission is to set goals and tasks, to determine the cluster's strategy, to approve a list of projects to be implemented by the cluster as well as annual and project budgets. The role of the executive body of the cluster is performed by the task force comprising top managers of companies of the nuclear industry, civil engineering and other branches, heads of educational and research organizations, the Association of Industrialists and Entrepreneurs, Nizhny Novgorod Region Chamber of Industry and Commerce, representatives of the governments of the Nizhny Novgorod and Vladimir regions.

Here is the list of the first and most essential projects of the nuclear cluster:

- development of the single catalogue of equipment and materials for the nuclear industry;
- training specialists for companies of the nuclear industry and other cluster members.

The cluster member companies can and must participate in supplying equipment and materials. It is essential to register products in the single catalogue. NIAEP specialists train managers of prospective cluster members to work with the catalogue, and this activity should be energized.

Rosatom State Corporation updates the road map. Thus, commissioning of the first nuclear power-generating unit of Nizhny Novgorod NPP has been postponed till 2023. NIAEP became the general contractor in the project of the 3rd and 4th units of Rostovskaya NPP and started design work this year. Construction of Baltiyskaya NPP and power-generating units in Belarus is underway... This means that despite the fact that the time for Nizhny Novgorod NPP construction has been prolonged the cluster members have a large amount of work. It will help prospective suppliers of equipment and materials to deliver their products to the NPP under construction and to get ready for the construction of Nizhny Novgorod NPP.

In this situation the educational project can hardly be overestimated. That is why Nizhny Novgorod Technical University's basic chair «Lifecycle Management of Sophisticated Facilities» has been founded at NIAEP and specialists are being trained for work within the design project and at the facilities under construction.

Now the cluster members are getting ready for the 3rd International Research Forum «Lifecycle Management of Sophisticated Facilities». Valery Limarenko, NIAEP President and Chairperson of the Council for the Nuclear Cluster Development, has suggested that important problems of the cluster development should be discussed at the forums and meetings of the Council.

The cluster member companies can participate in many other projects too, but due to the uncertainty of the cluster's legal organizational form it is too early to discuss them.

Judging by the results of discussions and experience of foreign clusters, nonprofit partnership seems to be the most advantageous legal organizational form. Being a legal entity the cluster would be able to participate in a large number of projects and to have state support; we would be confident that the goal is really to ensure success of the cluster as a whole without giving preferential treatment to a member or an authorized company.

In this case the answer to the question «Is it possible to form a nuclear cluster in the Nizhny Novgorod region?» would be obvious: Nizhny Novgorod nuclear cluster is operating, so it does exist!

# КАЭНН: большой оркестр атомной отрасли

**В рамках состоявшегося в Нижнем Новгороде международного саммита «Бизнес в России» прошел круглый стол «Кластер атомной энергетики: новые возможности экономического развития и кадрового потенциала», инициированный Нижегородской инжиниринговой компанией «Атомэнергопроект». Предлагаем читателям выдержки из выступлений участников круглого стола.**



**В. В. Нефедов, министр промышленности и инноваций Нижегородской области:**

– Создание кластера атомной энергетики в Нижнем Новгороде (КАЭНН) – это новая точка роста региональной экономики и атомной отрасли в целом. Атомная энергетика – приоритетное направление в развитии отечественной промышленности, и в этой отрасли сейчас есть все предпосылки для создания работоспособного кластера. Решение о его создании было подписано 14 июня 2012 года на международном форуме «Управление жизненным циклом сложных инженерных сооружений», проходившем в Нижнем Новгороде. Был принят соответствующий меморандум, который на сегодняшний день подписан руководителями двадцати двух различных предприятий и организаций.

Безусловно, не случайно, что формирование первого в стране атомного кластера началось именно в Нижнем Новгороде. Можно сказать, что наш город и область на сегодняшний день являются центром отечественной атомной энергетики. Здесь расположена крупнейшая в стране инжиниринговая компания НИАЭП-АСЭ, которая проектирует и сдает «под ключ» теперь уже десятки энергоблоков; успешно работает крупнейший федеральный центр атомного машиностроения – ОКБМ Африкантов; здесь находится Российский федеральный ядерный центр, имеющий самую современную суперкомпьютерную технику, позволяющую производить математическое моделирование всех процессов, проходящих в энергоблоках; НИИИС, производящий сложные системы автоматики для АЭС. В Нижнем Новгороде работают многие предприятия, не входящие в систему Росатома, но опытом и практикой доказавшие свою способность трудиться, удовлетворяя всем критериям качества и безопасности, предъявляемым в атомной отрасли. В качестве примера можно привести машиностроительный завод, Красное Сормово, Теплообменник и другие предприятия. Нам важно, что в этой цепочке есть и проектировщики, и разработчики, и изготовители продукции, необходимой для

отрасли, а также есть фундаментальная и прикладная вузовская наука, обеспечивающая постоянный приток кадров на предприятия, специально созданы Институт ядерной энергетики и технической физики, Саровский физико-технический институт и ряд других учебных учреждений.

Сегодня ставится задача объединить весь этот потенциал, чтобы с максимальной пользой использовать все передовые разработки и технологии для создания высококонкурентного продукта. А основой и объектом для предстоящей работы, несомненно, является строительство Нижегородской атомной станции. Решение об этом строительстве принято на государственном уровне, все нормативно-правовые документы подготовлены и подписаны, и сегодня наша задача – объединить все усилия для успешного решения этой сложной и трудоемкой задачи.

Напомню также, что существует Соглашение о сотрудничестве между правительством Нижегородской области и руководством ГК «Росатом», подписанное В. П. Шанцевым и С. В. Кириенко. Для нас важно, что Росатом реализует серьезные федеральные целевые программы, в которые нам непременно нужно входить, потому что там заложены реальные задачи, позволяющие предприятиям проявить себя, и реальные финансовые ресурсы, позволяющие эти задачи выполнить. Очень важно, чтобы наши предприятия участвовали в поставке оборудования для строящихся энергоблоков. Конечно, требования, которые предъявляются при закупках такого оборудования, очень серьезны – в гораздо большей степени, чем при закупках оборудования для других гражданских отраслей. Но участие предприятий в этой работе выводит их на совершенно новый производственный уровень, открывает двери для сотрудничества в создании атомных станций – продукта, востребованного не только у нас в стране, но и за рубежом.

Создание кластера дает его участникам большие преимущества в совместном проведении научно-исследовательских работ, во внедрении новых технологий, в создании малых промышленных образцов и запуске серийного производства. Поэтому правительство Нижегородской области будет всячески способствовать его формированию.



**Н. Я. Леонтьев, начальник лаборатории стратегического развития и мониторинга рынков НИАЭП:**

– Хочу обратить внимание, что Соглашение между ГК «Росатом» и правительством Нижегородской области датировано 2007 годом

и уже тогда шла речь о создании кластера атомной энергетики. О предпосылках его создания было уже сказано В. В. Нефедовым. Можно добавить лишь, что важной предпосылкой является также наличие в области большого строительного и транспортного комплекса.

Летом 2012 года создание кластера атомной энергетики в Нижегородской области было официально оформлено. Основные продукты его деятельности – энергоблоки. На данный момент нижегородская инжиниринговая компания «Атомэнергопроект» в разном качестве участвует в строительстве 26 энергоблоков на территории России и за рубежом. Есть очень крупные проекты, которыми занимается ОКБМ Африкантов. Развитие этих проектов и участие в строительстве энергоблоков – больших, малых и средних, разрабатываемых ОКБМ, – и является главной задачей созданного кластера.

Формирование кластера велось все эти годы, и уже осуществлены некоторые совместные проекты между его участниками, прежде всего между НИАЭП и ОКБМ: в последние два года заметно увеличились объемы поставок оборудования, которое производит ОКБМ. Развиваются научно-образовательные проекты: буквально 8 сентября этого года начались занятия студентов двух вузов – Нижегородского государственного технического университета и Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета – на базовой кафедре НИАЭП.

Кафедра, заведует которой директор НИАЭП-АСЭ доктор экономических наук Валерий Лимаренко, называется «Системы управления жизненным циклом сложных инженерных объектов». Первыми студентами новой кафедры стали 30 старшекурсников – лауреаты «атомной» стипендии имени Поздышева, ребята, чьи способности были отмечены во время конкурса на получение стипендии, а также обучающиеся по целевому направлению от ОАО «НИАЭП». Большинство из них – будущие молодые специалисты компании.

Ранее были созданы базовые кафедры предприятий атомной отрасли и в техническом университете, и в других вузах, и мы рассчитываем на участие многих ведущих российских и даже мировых вузов в этой работе.

Есть совместный проект с Нижегородским госуниверситетом по проектированию лазерной лаборатории.

Развиваются инфраструктурные проекты: традиционные международные форумы с участием большого количества как российских, так и зарубежных предприятий; два журнала – в том числе журнал «Атомный проект», в котором постоянное отражение находит тема атомного кластера. Ключевой проект кластера на сегодняшний день – формиро-



вание Единого отраслевого номенклатурного каталога оборудования и материалов атомной отрасли. Важнейшая задача кластера – расширение участия предприятий Нижегородской, Владимирской областей в этой работе, и она уже осуществляется. Предприятия самостоятельно включают в Единый каталог 3D-модели своего оборудования, его технические характеристики, информацию о производителе. Мы очень рассчитываем развить эту работу, которая производится по заказу ГК «Росатом».



**С. Е. Стародумов,**  
**заместитель главного**  
**конструктора**  
**ОКБМ Африкантов:**

– На основе стратегических инициатив Госкорпорации «Росатом» в ОКБМ разработана уже третья по счету стратегия развития – до 2020 года, на основе которой подготовлена долгосрочная программа деятельности, и процесс интеграции с региональным атомным кластером в этой программе тоже отражен. В качестве основного проекта, который сейчас реализуется в кластере, выступает Единый отраслевой каталог атомного оборудования. В связи с этим хочу обратиться ко всем предприятиям, уже участвующим в кластере, с предложением помочь новым предприятиям, которые только начинают свой путь в атомной энергетике, правильно оформить все документы и материалы, необходимые для внесения оборудования в отраслевой каталог. Это важно прежде всего для того, чтобы продукция этих предприятий могла на равных условиях участвовать во всех конкурсных процедурах. В целом же создание отраслевого каталога – дело не просто полезное, но необходимое, поскольку позволяет управлять всем жизненным циклом изготовления, поставки и монтажа оборудования на площадке.

Программа деятельности атомного кластера должна базироваться, на наш взгляд, на основе программ развития ключевых предприятий, на выходе у которых имеются крупные базовые проекты. Для ОКБМ таким проектом является разработка атомных станций и энергоблоков малой мощности. Задолго до формирования кластера мы собирали на своей площадке руководителей многих предприятий и пытались подключить их к работе по созданию первой плавучей АЭС. В то время еще не было конкурсных процедур, поэтому мы рассказывали, как войти в наш проект, какие требования предъявляются к поставщикам оборудования, рассказывали о параметрах новой станции и так далее. Участие в проекте приняли многие нижегородские предприятия, в основном специализирующиеся на корабельной и судовой тематике.

В 2011 году руководителями ОКБМ и НИАЭП было подписано Соглашение о разработке типового специализированного энергоблока средней мощности. ОКБМ является головным разработчиком в этой области, поэтому создание ВВЭР-600 также можно рассматривать наряду со строительством Нижегородской атомной станции как большой самостоятельный проект. Площадкой для ВВЭР-600 пока выбрана польская станция, но замещающих мощностей на территории России достаточно много. Если этот проект

будет принят, он, безусловно, станет одним из основных в работе кластера. А сегодня важно разработать именно первый реактор и получить на него хорошие отзывы.

Мы считаем задачей кластера обеспечение встречных потоков инноваций оборонного и гражданского секторов. Необходимо повышение конкурентоспособности продукции за счет коммерциализации накопленного интеллектуального ресурса. Взаимное использование научно-технического потенциала, ресурса супервычислительной техники – все это дает большой простор для сотрудничества разных предприятий.

ОКБМ обладает большим комплексом экспериментальной базы и производственных площадей. Мы призываем всех участников к совместному использованию этого потенциала.

Ожидаемые результаты регионального атомного кластера – это развертывание крупномасштабного производства наукоемкой, конкурентоспособной, патентозащищенной продукции; загрузка предприятий региона выгодными заказами; эффективное использование квалифицированных кадров; создание новых рабочих мест и образовательных программ; осуществление скоординированной социальной политики. Кластер создан, и хотелось бы пожелать, чтобы его деятельность нашла отражение во взаимовыгодном сотрудничестве вошедших в него предприятий.



**В. Н. Хвойнов,**  
**начальник отдела**  
**маркетинга**  
**и связей с общественностью**  
**НИИИС**  
**им. Ю. Е. Седакова:**

– Внешние условия – а именно вхождение в ВТО – это очень жесткие условия, которые потребуют от нас серьезных усилий, чтобы удержаться в конкурентной борьбе. Поэтому, несомненно, правильно можно назвать шаги по созданию атомного кластера.

Проектировщик – это дирижер создания атомной станции. Нам повезло, что на нижегородской земле работает ведущий «дирижер» атомной отрасли – НИАЭП, которому требуются очень надежные исполнители и инструменты. Один из таких инструментов – создаваемый в НИАЭП каталог потенциальных поставщиков продукции, который поможет предприятиям реализовать свои компетенции и возможности, а для инжиниринговой компании стать надежным инструментом. Надеюсь, что в ближайший год мы доведем его до совершенства.



**И. В. Леонтьев,**  
**генеральный директор**  
**ОАО «НИПОМ»:**

– Путь вхождения нашего предприятия в атомную отрасль был довольно сложным. Прежде всего это связано с тем, что для такой работы нужен персонал

высочайшей квалификации, системы проектирования оборудования также должны быть современными и высокого уровня. Нам это удалось – именно потому, что НИПОМ сразу выбрал вхождение на рынок атомного оборудования как приоритетное направление

своей деятельности. Чтобы соответствовать требованиям атомной энергетики, мы должны были пройти соответствующие сертификации и аттестации, получение лицензий на изготовление оборудования, переподготовку персонала.

К сожалению, те затраты, которые потребовались на проведение всех этих процедур, на сегодняшний день еще не окупались, несмотря на то что времени прошло уже достаточно. Это одна из проблем, которая встает перед руководителем любого предприятия, решившего войти на новый высокотехнологичный рынок атомного оборудования. К сожалению, даже здесь при выборе поставщиков низкая цена порой оказывается важнее высокого качества, и это вызывает определенные вопросы. Есть такое понятие «оплаченное качество» – то есть, если заказчик хочет получить высококачественное оборудование, он должен понимать, что такое оборудование будет стоить определенных денег, т. к. предприятие-производитель несет затраты на поддержание системы качества, позволяющей такое оборудование создавать. Это касается не только атомной отрасли, это общее правило. Но все-таки именно в атомной энергетике находятся самые ответственные с точки зрения требований безопасности и качества объекты народного хозяйства.

Тем не менее, пройдя весь путь вхождения на рынок атомной энергетики, мы получили определенные бонусы для себя. Прежде всего мы однозначно подтянули качество всей выпускаемой на предприятии продукции, выстроили эффективные процессы создания ценностей, что позволило нам существенно снизить затраты. Таким образом, наше предприятие стало более эффективным, оборудование – более «продвинутым», а технологии – более совершенными.

Создание атомного кластера позволяет нам как участнику и поставщику рынка атомной энергетики дополнительно использовать свой ресурс, а именно расширить линейку поставляемого оборудования и оказывать услуги по проектированию и строительно-монтажным работам, связанным с оборудованием объектов электроснабжением, а также выполнять пусконаладочные работы. Мы благодарны НИАЭП за такую возможность и готовы к серьезному сотрудничеству.



**Г. М. Хомутов,**  
**заместитель генерального**  
**директора**  
**Нижегородской**  
**ассоциации промышленников**  
**и предпринимателей**  
**(НАПП):**

– За 23 года своего существования Нижегородская ассоциация промышленников и предпринимателей реализовала немало программ с привлечением предприятий области: и «Нижегородский автомобиль», и программа производства оборудования для топливно-энергетического комплекса, и другие. С 2009 года мы начали очень плотно заниматься привлечением предприятий к программам, связанным с атомной промышленностью. Это началось с подписания 28 октября 2009 года Соглашения между ассоциацией и ОАО «НИАЭП», направленного на сотрудничество. Соглашением предусматривалось прежде всего выявление эффективных предприятий неатомной отрасли, которые могли бы стать участниками программ поставки оборудования на строительные площадки российских

АЭС; разработка механизмов поддержки инновационного перевооружения предприятий; налаживание сотрудничества между ними, подготовка высококвалифицированных инженерно-технических кадров и т. д. В этих целях были проведены четыре крупных совещания с руководителями предприятий, в том числе Владимирской области, сформированы списки предприятий, потенциально заинтересованных в участии в кластере.

Нам импонирует прежде всего то, что кластер – это объединение предприятий, связанных единой технологической цепочкой при создании энергоблоков. Особое оживление в работе по формированию кластера вызвало подписанное президентом страны решение о строительстве Нижегородской АЭС. Это сразу подстегнуло такие предприятия, как НИПОМ, Русполимет, судоремонтный завод, Красное Сормово, к включению в кооперацию.

Безусловно, необходимость соответствовать высоким требованиям атомной отрасли стала и отличным стимулом для самих этих предприятий. С учетом проведенного анализа в июне этого года мы вынуждены были обратиться к генеральному директору Росатома с письмом, где указали ряд проблем, возникающих для предприятий, пытающихся войти в состав кластера.

Какие это проблемы? Во-первых, все «конкурсанты», желающие получить возможность участия в атомных программах, должны получать документы в том виде, в каком они существуют у поставщиков оборудования, которое уже используется.

Во-вторых, в критерии «цена/качество» слишком большой упор, на наш взгляд, делается на цену. Это отрицательно сказывается на инвестиционных возможностях предприятий, которые зачастую по этой причине отказываются от участия в программах. Мы считаем, что вопрос качества должен существенно превалировать над вопросами цены.

В-третьих, в конкурсах должны все-таки участвовать непосредственно сами производители.

В-четвертых, требования заказчика должны быть полностью прозрачны и понятны всем участникам конкурсов.

И, наконец, мы просили устранить громоздкую машину согласований, с тем чтобы отношения между производителями и заказчиками осуществлялись напрямую, без большого количества посредников.

Надеемся, что наши предложения будут услышаны в Росатоме. Что же касается атомного кластера, мы призываем предприятия – не только нижегородские – активно содействовать его формированию и участвовать в его работе.



**С. М. Дмитриев,**  
**ректор Нижегородского технического университета им. Р. Е. Алексеева:**

– Важным элементом атомного кластера является образовательная научно-техническая деятельность, которая объединяет многие предприятия, входящие в кластер, обеспечивая их современными кадрами. Таких специалистов невозможно подготовить только за партами, для этого требуются современное оборудование, современные лаборатории, использование ресурса ведущих предприятий и т. д. – и все это у нас есть. В 2011 году ННГТУ,

который является опорным вузом Росатома, выиграл все возможные значимые конкурсы Министерства образования, заработав около миллиарда рублей на грантах, и создает на эти деньги пять инновационных центров. Один из ведущих в их числе – Центр ядерных технологий.

Большое значение для подготовки кадров имеет создание полноценных базовых кафедр НГТУ на ведущих предприятиях: ОКБМ, НИАЭП, НИИИС и других, причем руководители кафедр – это всегда первые лица предприятий. Благодаря созданию такой системы минимум 1–2 дня в неделю каждый студент находится непосредственно на предприятии; им читают лекции по тематике предприятий ведущие специалисты; там же осуществляется лабораторная работа, проходит производственная практика, затем преддипломная практика и защита диплома. Получив диплом, выпускник возвращается на предприятие и садится за то же рабочее место, на котором он проходил практику, работает в том же коллективе. Тем самым период адаптации на производстве фактически сокращается до нуля. Конечно, нужно еще время, чтобы сделать из выпускника настоящего инженера, но период этот значительно сокращается.

Уже стартовала и президентская программа переподготовки кадров атомной отрасли, и мы сейчас разрабатываем специальные учебные планы под каждое предприятие.

Совсем немаловажна и научно-технологическая составляющая кластера. Мы активно занимаемся научной деятельностью, в которой принимают участие и наши студенты, и аспиранты, и сотрудники предприятий. Такая многофазность также позволяет нам готовить кадры действительно высокого уровня.

Новое направление в нашей деятельности – подготовка специалистов по 3D-проектированию. Признанные лидеры этого направления в стране – Федеральный ядерный центр и НИАЭП, то есть и здесь у Нижегородского атомного кластера есть все возможности, чтобы успешно реализовать поставленные перед ним перспективные задачи.



**Д. Ю. Файков,**  
**заместитель директора Нижегородского института экономического развития (НИЭР) по науке:**

– Государство активно развивает идею создания научно-промышленных кластеров в Российской Федерации. В течение всего последнего года на федеральном уровне шла очень серьезная работа, которая должна завершиться соответствующими постановлениями, поскольку создание кластеров непременно должно быть формализовано. С мая 2012 года правительство страны ведет активную политику по наполнению кластеров денежными средствами, разрабатывает систему их финансирования, а в конце августа был утвержден перечень из 25 инновационных территориальных кластеров, среди которых два нижегородских, в том числе кластер атомной энергетики. Предполагается, что данный перечень будет обновляться каждые три года.

Атомная энергетика осталась фактически последним козырем нашей страны, поэтому создание именно в Нижнем Новгороде

атомного кластера можно считать большой удачей для региона. В кластерной политике очень важны два направления: поддержка компаний, входящих в кластеры, и поддержка территорий, на которых расположены кластеры. Почему важна поддержка территорий? Да потому что каждая территория – это место, где живут сотрудники компаний, входящих в кластер, где учатся их дети; это социальные проекты – образование, здравоохранение, культура и т. д. Если не будет комфортных условий проживания, очень трудно говорить о перспективной, высокотехнологичной, передовой в мире экономике.

Очень важен также позитивный эмоциональный фон в районе реализации инновационного кластерного проекта. В отношении Нижегородской области это особенно важно в связи с предстоящим строительством атомной станции. Структура нашей области такова, что практически в каждом районе есть свой моногород: Выкса, Павлово, Кулебаки, Саров, Навашино и т. д. Эффект от этого крупного строительства будет ощутим всем югом Нижегородской области. Мы, естественно, должны предполагать, каким будет данный эффект. Может быть, придется что-то скорректировать в социальной политике и часть средств, предполагаемых на развитие кластера, выделить именно на социальные, инфраструктурные проекты именно в тех районах, которые затронет строительство АЭС.



**В. Е. Антоневич,**  
**генеральный директор компании «Нижегородский центр технологического развития»:**

– Атомная энергетика – это то звено, потянув за которое, можно вытянуть за собой

всю цепочку российской промышленности. Укрупнение на рынке атомной энергетики и то, что НИАЭП объединился с крупнейшей компанией, занимающейся экспортом атомных технологий, это очень хорошо, как и то, что мы, опережая правительственные решения, самостоятельно создаем на уровне области атомный кластер.

На территории Нижегородской области расположено большое количество машиностроительных предприятий, которые создают более 25% общего объема машиностроительной продукции в Российской Федерации. Кроме того, мы готовы приглашать к сотрудничеству и другие предприятия Приволжского федерального округа. При этом следует понимать, что без принятия Закона о промышленной политике Российской Федерации мы далеко не сдвинемся. Надо, чтобы такой закон как можно быстрее был принят и помогал всем нам. Было бы хорошо также создать единый федеральный лизинговый центр, поскольку очень сложно каждому предприятию в отдельности приобретать дорогостоящее оборудование. А в целом создание Нижегородского атомного кластера – событие, конечно, знаковое, и можно только пожелать больших успехов в его развитии.



# Nizhny Novgorod Nuclear Cluster: A Big Orchestra of the Nuclear Industry

**Round table «Nuclear Cluster: New Opportunities of Economy and Human Resources Development» was initiated by Nizhny Novgorod Atomenergoproekt Engineering Company and held within the framework of Business in Russia international forum. Here are excerpts from presentations by the forum's participants.**

## **V. Nefyodov, Minister of Industry and Innovations of the Nizhny Novgorod region:**

– Nuclear cluster in the Nizhny Novgorod region is a growth point for the regional economy and the nuclear industry as a whole. In Russia's industry's structure the nuclear engineering is a priority, and the nuclear industry has all prerequisites for building a nuclear cluster. A decision to organize the cluster was made on June 14, 2012, at the international forum «Lifecycle Management of Sophisticated Facilities» in Nizhny Novgorod where a Memorandum was adopted and signed so far by heads of twenty two companies and organizations.

It is not incidental that it was Nizhny Novgorod where organization of the nuclear cluster was initiated. The city and the region are believed to be the center of Russia's nuclear engineering. It is the location of Nizhny Novgorod Atomenergoproekt Engineering Company – Atomstroyexport, the largest engineering company in the country, that is engaged in design and turnkey construction of dozens of nuclear power generating units. It is the place where OKBM Afrikantov, the largest federal center of nuclear power engineering, successfully operates. In the region the Russian Federal Nuclear Center is located; it has state-of-the-art supercomputers that help perform mathematical modeling of all processes in nuclear power units. NIIS (Nizhny Novgorod) produces sophisticated automation systems for NPP. Nizhny Novgorod is a home for many companies that formally do not belong to Rosatom but, having vast experience, have proved capable to meet quality and safety requirements of the nuclear industry. Examples include Machine Building Plant, Krasnoe Sormovo Plant, Teploobmennik, etc. It is essential that the chain comprises designers, developers, manufacturers of products required by the industry. The system also comprises academic institutions of fundamental and applied science that provide human resources for companies. With that purpose in view Institute of Nuclear Power Engineering and Technical Physics, Sarov Physical and Technical Institute and some other academic establishments have been organized.

The task is to unite the existing potential of advanced technologies in order to create a highly competitive product and to gain benefits. Certainly, the construction of Nizhny Novgorod Nuclear Power Plant will lay the foundation for activities in future. The decision on the plant has been taken at the federal level, all legal documents have been prepared and signed, thus, our task is to join efforts to implement this complicated and labor-intensive project.

It is noteworthy that an agreement between the Government of the Nizhny Novgorod region and Rosatom State Corporation has been signed by Valery Shantsev, Governor of the region, and Sergei Kirienko, Rosatom's General Director. It is essential that Rosatom implements priority federal programs. We must also get engaged in the programs because they imply real tasks in the solution of which companies can do their utmost, and real financial resources are allocated for the solution of the tasks. Our companies should pro-

duce equipment for power generating units that are under construction. It goes without saying that the requirements to the equipment are tougher than those met by equipment in other sectors of the economy. But companies engaged in the project can achieve a higher level of production and can get access to cooperation in building NPP, a product that is in great demand both in Russia and abroad.

The cluster's participants will gain advantages in conducting research, introducing new technologies, developing industrial prototypes and starting mass production. Such are the reasons why the Government of the Nizhny Novgorod region will do its utmost to help build the cluster.

## **N. Leontiev, Laboratory of Strategic Development and Market Monitoring, NIAEP:**

– It is noteworthy that the Agreement between Rosatom and the Government of the Nizhny Novgorod region is dated 2007: as early as that year we spoke about the organization of the nuclear cluster. Mr. Nefyodov has already mentioned the prerequisites for its creation. I can add that the availability of developed civil engineering and transportation industries is most essential too.

Creation of the nuclear cluster in the Nizhny Novgorod region was legally formalized in summer 2012. Nuclear power-generating units will be its main products. Presently, Nizhny Novgorod Atomenergoproekt Engineering Company is engaged in building 26 power units both in Russia and abroad. OKBM Afrikantov deals with very large projects. Implementation of the projects and construction of large units under supervision of NIAEP and construction of medium-size and small units developed by OKBM are the principal tasks of the cluster.

The organization of the cluster has been underway throughout the years, and some joint projects have already been implemented by, mainly, NIAEP and OKBM. In the recent two years the amount of deliveries by OKBM has significantly increased. Research and educational projects have also been launched. On September 8, students of Nizhny Novgorod State Technical University and Nizhny Novgorod State Architecture and Civil Engineering University began to study at NIAEP basic chair.

The chair «Systems of Lifecycle Management of Sophisticated Facilities» is headed by Valery Limarenko, Doctor of Economy. The first 30 graduate students of the chair are laureates of «nuclear» scholarship named after Pozdyshev. These are students whose abilities were noted during the scholarship contest and who study in accordance with NIAEP assignment. The majority of them will be hired by the company.

Basic chairs of companies of the nuclear industry had been set up in the Technical University and other universities, and we hope that top Russian and foreign academic establishments will participate in the project.

Another joint project – a laser laboratory – will be implemented in cooperation with Nizhny Novgorod Lobachevsky State University.

Infrastructure projects are also being realized. They include international forums with active participation of many Russian and foreign companies, two journals (including the «Atomic Project») that cover the topic of the nuclear cluster. The key project within the cluster activities is to compile a Single Catalogue of Equipment and Materials of the Nuclear Industry. An important task is to provide active participation of companies of the Nizhny Novgorod and Vladimir regions in the catalogue

compilation, and this work is being carried out already. The companies add 3D models of the equipment they produce, its specification and data on producers to the catalogue independently. We hope that we shall be able to boost these activities performed at the request of Rosatom.

## **S. Starodumov, Chief Designer Deputy, OKBM Afrikantov:**

– On the basis of Rosatom strategic initiatives OKBM has developed the third development strategy till 2020. It is the foundation of a long-term activities program that envisages integration in the regional nuclear cluster. A Single Catalogue of Equipment and Materials for the Nuclear Industry is the principal project of the cluster now. In this connection I'd like to urge the participants in the cluster to help those who have just begun their activities in the nuclear power engineering field to compile correctly the documentation that is to be added to the Single Catalogue. It must be done to ensure the parity for their products during the tender procedures. Compilation of the Single Catalogues is not only useful; it is essential for the management of the lifecycle of production, delivery and assembly of equipment at site.

We believe that the nuclear cluster activities program should be based on the development programs of the key participants that are engaged in large projects. For OKBM it is development of small-power NPP and power-generating units. Long before the organization of the cluster we had gathered top managers of many companies and tried to get them engaged in the development of the first floating NPP. It was the time when tender procedures were non-existent, thus we told them about the means to join the project, requirements to the equipment suppliers, parameters of the new plant, etc. Many Nizhny Novgorod companies specializing mainly in shipbuilding joined the project.

In 2011 OKBM and NIAEP concluded an agreement on development of a medium-power standard specialized power unit. OKBM is the lead product developer, thus development of WWER-600 reactor and construction of Nizhny Novgorod NPP can be seen as a large independent project of the company. A NPP in Poland has been chosen as the WWER-600 site, but a lot of replacement capacities are available in Russia, which means that if the project is approved it will be one of the main activities of the cluster. Today it is most important to develop the first reactor and to receive good references.

For the cluster it is very important to organize reciprocal flows of innovations from the defense industry and civil sectors of economy. It is required to enhance the competitiveness of products by means of commercialization of the available intellectual resources. Joint use of the research potential and supercomputer techniques opens prospects of cooperation between various companies.

OKBM possesses great experimental capabilities and large production facilities. We urge all the participants to use commonly this potential.

Expected results of the nuclear cluster project include organization of large-scale production of science-intensive, competitive and patent-protected products; execution of profitable orders by the region's companies; efficient utilization of human resources; creation of new jobs and launching new educational projects; implementation of a coordinated social policy. The cluster has been created, and I wish the participants to reap big fruits of their cooperation within it.

**V. Khvoinov, Marketing and Public Relations Department, NIIS named after Yu. Sedakov:**

– After Russia joined WTO the outer environment has imposed very tough conditions on us that will require a lot of effort so that we can be successful in the global competition. In these conditions the steps aimed at creating a nuclear cluster are quite justified.

When NIIS got involved in nuclear power engineering activities we suggested organizing a consortium that comprises eight Nizhny Novgorod companies now.

In light of the current integration and the principal project of the nuclear cluster today, i.e. the project of the Single Catalogue of Equipment and Materials, we should acknowledge that such a catalogue must be the Book of books for any designer. A designer is the «director» of a NPP development process. We are happy to have NIAEP as the «director» of the nuclear industry that needs reliable performers and instruments. That is why we must compile the catalogue that will help companies to realize their ambitions and to use their possibilities and to become a reliable instrument of the engineering company. I do hope that we shall make the catalogue perfect in the near future.

**I. Leontiev, NIPOM General Director:**

– It was a difficult process of joining the nuclear industry for our company. To join the industry any company needs personnel of the highest qualification, its equipment design systems must be of the highest quality. But we have managed to do this because from the very start NIPOM made it a priority to join the nuclear industry. To meet the requirements of the nuclear power engineering we had to undergo appropriate certifications and attestations, to receive licenses to produce equipment and retrain personnel.

Unfortunately, all these procedures have not paid back yet, though much time has passed. This is one of the problems faced by the head of any company that has taken the decision to enter the market of hi-tech nuclear equipment. Unfortunately, even in this market low price can sometimes be more important than high quality in choosing a supplier, which provokes certain questions. There is a concept of «paid quality» which means that if a customer wants to have high quality equipment he must be ready to pay for it as the manufacturer is supposed to pay for the quality management system required to ensure the desired quality. It is a general rule applicable to all branches. But the nuclear industry is the one which has facilities that are most critical in terms of safety and quality.

Yet, having gone the whole way to enter the nuclear equipment market, we have benefited. First and foremost, we have improved the quality of all products we manufacture, built up an effective process of creating value, which, in its turn, resulted in lower cost. Thus, our company has become more efficient, our equipment has become more advanced while the technologies used have been perfected.

Being a member of the nuclear cluster and a supplier of the nuclear equipment we can use our resources more effectively: we are able now to expand the range of equipment supplied and to provide services of design and construction of power supply facilities as well as to perform start-up and commissioning. We are grateful to NIAEP for this possibility, and look forward to cooperation.

**G. Khomutov, Deputy General Director, Nizhny Novgorod Association of Industrialists and Entrepreneurs:**

– For 23 year since its foundation Nizhny Novgorod Association of Industrialists and Entrepreneurs has implemented many projects with active participation of the companies of the region. The list of projects includes «Nizhny Novgorod Automobile», a project of producing equipment for the fuel and energy complex and many others. Since 2009 we have been attracting companies to the activities in

the nuclear sector. The work began with signing an agreement on cooperation between the Association and NIAEP on October 28, 2009. The agreement envisages finding effective companies outside the nuclear industry that could supply equipment to NPP construction sites. Besides it envisages development of tools used to support the innovation re-equipment of enterprises, establishing cooperation between them, training highly qualified engineering staff, etc. With this aim in view four meeting with heads of companies, including those in the Vladimir region, have been organized, and lists of enterprises interested in the participation in the cluster have been made.

The cluster is attractive because it is an association of companies linked in the single processing chain in building power-generating units. The presidential Decree on building Nizhny Novgorod Nuclear Power Plant inspired all members of the cluster. It spurred such companies as NIPOM, Ruspolymet, the Shipping Yard, Krasnoe Sormovo Plant into cooperation.

It goes without saying that the need to meet tough requirements of the nuclear industry has stimulated the companies themselves. In June 2012 the results of the analysis conducted by us prompted us to send a letter to Rosatom General Director addressing the problems of the companies that try to join the cluster.

Which problems do we mean? First, all «contestants» for the nuclear programs are supposed to receive documents in the format that is adopted by the supplies of equipment that is already used.

Second, in the criterion «price vs. quality» an excessive emphasis is made on the price factor, which negatively affects the possibilities of enterprises and makes them refuse from participation in the programs. We believe that quality must prevail over price.

Third, only manufacturers of equipment must participate in tenders.

Fourth, the customer's requirements must be transparent and comprehensible for all the bidders.

At last, we asked to replace the ponderous and tedious procedure of many approvals by direct relations between producers and customers that would exclude any mediators.

We hope to be heard by Rosatom. As for the nuclear cluster we urge companies in the Nizhny Novgorod region and beyond to contribute actively to its activities.

**S. Dmitriev, Rector, Nizhny Novgorod State Technical University named after R.Alexeev:**

– Research and education establishments form an important part of the nuclear cluster. It unites many companies that provide qualified personnel. Modern specialists cannot be trained in class-rooms only; for their training modern equipment, labs and resources of top companies are required. And we have all these. Nizhny Novgorod Technical University, a basic academic establishment of Rosatom, won grants of the Ministry of Education for the amount of approximately 1 bn rubles in 2011, and now establishes five innovation centers. The center of nuclear technologies is one of the most important among them.

It is very significant that basic chairs of the University are created in the top companies of the industry, such as OKBM, NIAEP, NIIS, etc. All chairs are headed by the companies' top managers. Students study at the enterprises 1-2 days a week. The best specialists read lectures to them on the subjects of the activities of the enterprises, students work in the laboratories, have their internships there, prepare their graduation theses and defend them. Upon graduation a young specialist returns to the enterprise where he/she has had internship and works in the same team. In this way the adaptation period is diminished to zero. Certainly, it takes time to make a real engineer of the graduate, but the time is minimal.

A presidential program of retraining specialists of the nuclear sector has been launched, and now we develop curricula for each enterprise.

Research and technical part of the cluster is of great significance too. We are very active in scientific research in which graduates, post-graduates and specialists of the companies participate. Such multi-stage organization of training ensures high qualification of personnel.

Training specialists in 3D design is our new activity. Federal Nuclear Center and NIAEP are recognized as the leaders in this area, and they will help Nizhny Novgorod nuclear cluster successfully reach the set goals.

**D. Faikov, Deputy Director for Research, Nizhny Novgorod Institute of Economic Development:**

– The government actively promotes the idea of research and production clusters creation in the Russian Federation. Throughout the last year the federal bodies were doing a lot, and this work must result in appropriate decrees and resolutions since the process of cluster creation is to be formalized. Since May 2012 the government has been investing in the clusters generously, has been developing a system of financing, and at the end of August a list of 25 innovation territorial clusters was approved. Two Nizhny Novgorod clusters are in the list, and the nuclear cluster is one of them. The list is expected to be reconsidered once in each three years.

Nuclear power engineering seems to be the last asset of this country that is why creation of the nuclear cluster in Nizhny Novgorod is very beneficial for the region. Two aspects are very important in this respect: support provided to the cluster members and support of the region where clusters are located. Why is it important to support the region? Because each territory is the place of residence of companies' specialists, the place where their children go to school; it implies social projects such as education, health care, culture, etc. If there are no comfortable conditions for living there is no promising, hi-tech and advanced economy.

Positive atmosphere in the cluster location is very important too. For Nizhny Novgorod cluster it is of special importance since an NPP is planned to be built here. The structure of the region is very peculiar as each district has its mono-town, a town dominating in the district's economy, such as Vyksa, Pavlovo, Kulebaki, Sarov, Navashino, etc. The construction of the NPP will noticeably influence the southern part of the Nizhny Novgorod region. Certainly, we must foresee the character of this influence. Probably, it will be necessary to adjust our social policy and to allocate a part of the means planned for the cluster development to social and infrastructure projects in the districts affected by the NPP construction.

**V. Antonevich, General Director, Nizhny Novgorod Center for Technical Development:**

– The nuclear sector is the link pulling which we can draw out the whole chain of Russia's industry. Integration in the market of nuclear power engineering as well as merging of NIAEP with the largest nuclear technology exporting company are positive facts. Another positive fact is creation of a nuclear cluster in the region in advance of governmental decisions.

Many machine-building companies are located in the Nizhny Novgorod region. Their share in the total machine-building production of the country amounts to 25 percent. We are willing to cooperate with other enterprises of the Volga Federal district too. But it should be understood that we shall be able to succeed only provided a Law on Industrial Policy in the Russian Federation is passed. The law must be adopted as soon as possible as it will be very helpful for us. It would also be reasonable to set up a single federal leasing center because enterprises face difficulties in purchasing expensive equipment separately. Upon the whole, creation of Nizhny Novgorod nuclear cluster is a great event and we wish the cluster a lot of success.



# Мировые практики корпоративного обучения

**Н. Я. Леонтьев, начальник отдела стратегического развития и мониторинга рынков, к.э.н.  
Е. А. Стеньшин, ведущий специалист.  
ОАО «НИАЗП»**

**В наше время транснациональные корпорации придают непрерывному обучению своих сотрудников колоссальное значение, например, в 2002 году американские корпорации потратили на обучение и повышение квалификации своих сотрудников 56,8 миллиарда долларов. Объяснение крайне простое: устойчивое положение компании зависит от способности правильно спрогнозировать потребности рынка и предложить лучший товар, опередив при этом конкурентов, по минимальным ценам и с лучшим качеством, что крайне трудно в нашем глобальном, стремительно меняющемся мире с жесткой борьбой за выживание. Цена и качество товара зависят от квалификации и креативности всех без исключения сотрудников, занятых в длинной цепочке его разработки и вывода на рынок, включая маркетологов, проектировщиков/конструкторов, технологов, рабочих, дизайнеров, специалистов по качеству и, конечно же, руководителей всех уровней. Соответственно периодическому обучению должна подвергаться вся цепочка специалистов – ведь если хоть один музыкант фальшивит в оркестре, симфония не удаётся.**

Кроме того, мир наш становится преимущественно постиндустриальным, характеризующимся лавинообразным развитием информационных и телекоммуникационных технологий. Если в «старые добрые времена», условно соотнесем их с окончанием 1960-х годов, полученного образования в общем-то хватало на всю производственную или творческую жизнь, а средствами связи были один на всю комнату телефон и ближайшее почтовое отделение, то в современном стремительно меняющемся мире как знания, так и средства хранения и передачи информации непрерывно обновляются. Вспомним с улыбкой, как немногим более 20 лет назад на замену исправно служившим в течение десятилетий арифмометрам, логарифмическим линейкам и счетам стали появляться персональные компьютеры. То, что тогда казалось технологическим прорывом и даже откровением, а именно с трудом умещавшиеся на столе наиболее «продвинутых» сотрудников персональные компьютеры с процессорами 286-й серии, через 3–4 года были просто сметены компьютерами с первыми версиями Windows. Факсы и пейджеры тоже просуществовали относительно недолго: через несколько лет им на смену пришли электронная почта и сотовая связь. Мы вступили в эпоху информации, и возникла задача грамотного управления потоками знаний.

Стремительно развивающиеся и проникающие во все без исключения сферы деятельности информационные и телекоммуникационные технологии, с одной стороны, усложняют нашу деятельность – ведь надо постоянно осваивать новое программное и аппаратное обеспечение, с другой стороны, предоставляют доступ



Н. Я. Леонтьев



Е. А. Стеньшин

к гигантским и постоянно растущим массивам информации. Постоянно ужесточаются требования к безопасности, экологии, дизайну... Как не просто успевать, а быть впереди потребностей рынка, как выжить в море информации и конкурентной борьбы? Как понять, какие знания нужны в практической работе, а на какие не стоит обращать внимания? Как сохранить свой фирменный стиль и не дать затеряться индивидуальным особенностям продукции своей компании в океане схожей продукции от конкурирующих фирм? Как сохранять маленькие секреты своей компании и как передавать их новым сотрудникам для последующего совершенствования?

Добавим ко всему сказанному, что наша отрасль – атомная энергетика – по-прежнему базируется на самых передовых технологиях на всех этапах своего жизненного цикла (ЖЦ), начиная от добычи руды и ее обогащения, включая производство топлива, проектирование, сооружение, эксплуатацию АЭС и так далее. На всех этапах ЖЦ задействованы специалисты самых разных профессий, от традиционных и востребованных во всех отраслях высококвалифицированных токарей, сварщиков, монтажников, программистов и электронщиков до операторов атомных реакторов. Все мы находимся под пристальным вниманием общественности, и ошибка одного может бросить тень недоверия на всю отрасль. Постараемся разобраться на примере лучших международных и отечественных компаний, причем не обязательно работающих в атомной отрасли, как реализовывать систематическое обучение и обеспечивать непрерывное повышение квалификации сотрудников многопрофильных компаний.

Прежде всего следует поговорить о таком феномене, как корпоративные университеты (КУ). Появившиеся в Соединенных Штатах в середине прошлого века, КУ стали одним из инструментов решения перечисленных выше проблем. К 1993 году КУ были организованы в 400 компаниях, к 2001 году их стало уже 2000 – рост в 5 раз менее чем за 8 лет! Причем КУ были образованы не только в высокотехнологических компаниях типа Боинг, Моторола, Делл или Джeneral Моторс, но и в таких, казалось бы, далеких от хай-тек чисто развлекательных компаниях как Уолт Дисней или же гигант общепита МакДоналдс. Более того, именно в МакДоналдсе и появился в далеком 1961 году первый КУ. Он так и назывался – Hamburger University (Университет гамбургера), и имел целью подготовку новых кадров по всему миру в соответствии с идеологией быстро растущей компании. Никакое другое бизнес-образование, кроме

корпоративного университета, не позволяло достичь данной цели, и ниже будет подробнее отмечено, что КУ занимаются не только передачей знаний, но задают идеологию и фирменный стиль компании, а также решают и другие важные задачи, в том числе стратегические.

Основной рост количества КУ пришелся на 1990-е годы. Сегодня одним из крупнейших корпоративных университетов считается подразделение IBM Global Learning (Глобальное обучение), которое имеет в своем составе более 3400 преподавателей в 55 странах мира; в арсенале университета 10000 специализированных курсов. Другой яркий пример крупного и успешного корпоративного университета – Motorola University. Годовой бюджет этой организации – около 100 млн долларов, ее представляют 99 подразделений в 21 стране мира, число постоянных сотрудников – 400. В чем причина роста и успеха КУ? Кардинальных причин несколько.

Первая: даже в западных странах система образования на базе традиционных школ и университетов признается во многом устаревшей и не успевающей за потребностями стремительно развивающегося общества; система «классического» образования рассчитана на массового, «обезличенного» студента, она не учитывает его таланты и наклонности, где конкретно и каким образом будет работать будущий студент. Можно вспомнить на собственном примере, что многие студенты-отличники с вашего потока могли ничем не отличаться в карьере после окончания института, если попадали не в конструкторские бюро, а в производственные цеха, и наоборот, бывшие троечники по математике и физике становились успешными руководителями больших производств. Высшее образование – далеко не индивидуальный метод обучения, и многие выдающиеся изобретатели и предприниматели, включая Джона Рокфеллера, Генри Форда или Стива Джоббса, не могли вписаться со своим оригинальным мышлением в жесткие образовательные программы и либо вообще не поступали в университеты, либо досрочно их покинули. А автор более тысячи патентов Томас Эдисон не имел даже начального образования и с бравадой заявлял про себя: «Я смог стать изобретателем потому, что не ходил в школу».

Второе: устоявшиеся образовательные программы, утвержденные во многих инстанциях и преподаваемые в отрыве от потребностей реального производства или процесса проектирования, не так просто менять и адаптировать к реалиям современного стремительно меняющегося мира знаний. Корпорациям нужны свои конкретные, «заточенные» под их потребности знания, многие из которых раскрывать конкурентам крайне рискованно. Таким образом, корпорации были вынуждены создавать свои собственные образовательные программы.

Справедливости ради отметим, что хотя и существует «экстремистская» точка зрения, что корпоративные университеты со временем заменят собой классические гуманитарные и технические университеты, позволим себе возразить, что это все же не так. Базовые знания будут нужны всегда, и будущие юристы, медики, инженеры всегда будут изучать физиологию и анатомию, римское право и сопромат только

в классических университетах. Никакой КУ или специализированный учебный центр не сможет обучить будущих СИУРов (старший инженер управления реактором) основам ядерной физики и теории управляемой цепной реакции, но в то же время никакой технический университет не сможет обучать студентов так, чтобы после его окончания они смогли бы сразу же сесть за пульт управления реактором. Хотя в отличие от традиционных университетов КУ и отраслевые учебные центры используют более продвинутые обучающие технологии, базирующиеся на активных формах изучения, психологических тренингах, демонстрациях с применением мультимедийных средств, case study (изучением на конкретных примерах), знания эти попадают уже на «взрыхленную почву», то есть воспринимаются слушателями, имеющими профильное университетское образование. Проходящие такое обучение или тренинги сотрудники корпораций более мотивированы, чем студенты вузов, так как пренебрежение учебной реальностью тормозит их карьеру.

В плане обучения и стажировки студентов обратимся к опыту международных инженеринговых компаний. Студенты-дипломники и прочие категории соискателей работы в компании Bechtel проходят стажировку по принципу «забавай пока учишься» (earn while they learn).

Они зачисляются в штат по срочному контракту и получают заработную плату. Хотя программы обучения и составлены под системы и бизнес-процессы Bechtel, после успешного окончания такой стажировки соискатель, вопервых, получает квалификационные удостоверения и национальные лицензии, во-вторых, имеет возможность продолжить свою карьеру уже в качестве постоянного сотрудника. Другой глобальный лидер инженеринга, компания WorleyParsons, проводит практическое обучение студентов в рамках похожей программы WIL, или Work Integrated Learning (один из вариантов перевода: обучение, совмещенное с работой). Стажировку WIL в подавляющем большинстве случаев проходят молодые люди без какого-либо предыдущего практического опыта работы, благодаря чему они могут выдавать свои оригинальные суждения и идеи о более совершенных, по их мнению, методах и практиках работы. WorleyParsons приветствует новые и оригинальные идеи, их воплощение в корпорации, а также зачисление после этого молодых креативных студентов в свой штат.

В российской же практике зачастую предпочтение отдается практике «переманивания» специалистов из других компаний, однако приверженцам данной практики следует помнить, что наряду с некими навыками и квалификацией специалист из другой компании может быть обременен догмами, не вписывающимися в корпоративную культуру на новом рабочем месте. Даже производственная система Тойоты (TPS) делает учет того фактора, что сотрудники крайне неохотно переучиваются новым методам работы и постоянно склоняются к мысли «всегда так делали, и все было хорошо».

Инженеринговая корпорация Shaw group именуется свой корпоративный университет «Обучающая академия» (Shaw Learning Academy), в которую входят 8 колледжей, осуществляющих всестороннее обучение специалистов по продажам и закупкам, эксплуатации, лидерству, бизнес-управлению, технологиям, индивидуальному развитию, розничной торговле, а также корпоративной этике.

Все компании обязательно прививают молодым специалистам и соискателям работ изюминку корпоративной культуры, выраженную лозунгом из одной фразы и отличающую инжи-

ниринговые компании друг от друга. Корпорация Shaw одной фразой позиционирует себя как разработчик продукта, «дружественного заказчику и окружающей среде», Нокия «соединяет людей» (Connecting people), Эппл «думает нестандартно» (Think different), IBM «свершает события» (We make it happen), General Dynamics утверждает, что с ними «сила на вашей стороне» (Strength at your side) и так далее. Несомненно, наша компания ОАО «НИАЭП» также должна иметь подобный оригинальный лозунг и с гордостью культивировать его среди студентов на протяжении курсов обучения и повышения квалификации.

Кроме того, в корпоративном обучении отмечается такой тренд, как «развитие лидерства».

Таким образом, КУ решают следующие задачи:

- производят непрерывное обучение;
- инициируют и сопровождают проведение изменений организационной структуры компании;
- внедряют корпоративную культуру, фирменный стиль, лояльность и чувство причастности к компании;
- позволяют усиливать конкурентные преимущества;
- позволяют сохранять коллектив, так как обеспечивают непрерывное повышение квалификации;
- решают другие задачи, требующие мозгового штурма и применения лучших мировых практик ведения бизнеса.

Как видно, помимо обучения, КУ решают весьма и весьма важные для компании тактические и стратегические задачи. Обычно КУ находятся в подчинении директора по корпоративному развитию или HR-директора (директора по персоналу). В ряде случаев корпорации вводят новую непривычную пока для восприятия должность Chief Learning Officer (главный директор по обучению) с весьма высокими полномочиями.

В части передачи знаний наблюдается дополнительное кардинальное отличие КУ от классических вузов: обучение производят преимущественно сотрудники своей же корпорации и учат в основном своих же сотрудников. Сделанная оговорка – преимущественно – крайне важна, так как никакая компания не существует в отрыве от поставщиков или вне кооперации с другими компаниями и, таким образом, всегда имеется необходимость поделить знаниями и ноу-хау с контрагентами. Корпорация для своего выживания обязана быть открытой и восприимчивой к появляющимся на рынке новым знаниям и разработкам, поэтому часть специальных курсов проводят приглашенные лекторы из университетов и консультанты из специализированных фирм. Более того, корпорации всегда находятся в тесном сотрудничестве с научно-исследовательскими университетами и привлекают их к разработкам новой продукции.

Так как помимо обучения КУ решают и другие задачи, организация должна на ранних этапах определить, что создает: учебный центр, корпоративный университет или же отдать обучение на аутсорсинг. Вероятно, правильнее было бы занять консервативный подход и начать с организации базовой кафедры во взаимодействии с ведущими профильными вузами по атомной энергетике, строительству, экономике и юриспруденции. Одновременно следует изучить лучший мировой опыт и найти необходимые аргументы в пользу организации корпоративного университета. Проблема передачи знаний в высокотехнологических областях, в частности в атомной энергетике, становится все более актуальной не только в России, об этом много пишут в разных странах, и в даль-

нейшем имеет смысл опубликовать отдельную статью о мировых практиках и методах, лежащих в основе организации КУ.

Японская Тойота своим успехом и устойчивым ростом во многом обязана в том числе грамотно выстроенной корпоративной системе непрерывного обучения. Система образования Тойоты очень тесно переплетается с производственной системой Тойоты (TPS), в основу которой заложены такие принципы, как простота, наглядность, культивирование у работников желания к непрерывному совершенствованию своего рабочего места и производственного процесса (кайдзен). Из множества обучающих методик отметим такой несколько экзотический для нас способ обучения, как «гассюку кёйку» (то есть обучение с совместным проживанием). Часть руководящих сотрудников всех уровней, а также рабочие производственных участков уезжают на несколько дней в загородный пансион, где под руководством «тренера» (аналог нашего инструктора или же лектора) совместно обучаются, после чего за дружеским обедом или ужином неформально обмениваются своими впечатлениями от полученных знаний, а также выдают свои «кайдзен» – предложения. Такие регулярные встречи обеспечивают интерфейс и обмен информацией по всей иерархической цепочке управления, так как даже директор завода может напрямую общаться с рабочим за одним столом и обмениваться интересными идеями по улучшению производительности труда и качества. Понятие «тренер» в смысле учитель и наставник также стало прививаться в русском языке, но в Тойоте тренерами являются ветераны производства, проработавшие несколько десятков лет и прошедшие все должностные ступени.

Отметим другой интересный феномен: корпорация Тойота имеет свои заводы во множестве стран с самыми разными языками и культурами, но даже в тех странах, где строятся новые заводы и производится набор персонала безо всякого производственного опыта, первая же продукция имеет, по существу, тот же уровень качества, что и на расположенных в Японии предприятиях. В чем секрет? Опять-таки в грамотной системе корпоративного обучения.

С самого начала Тойота прививает чувство гордости за свое предприятие, прививает устойчивые навыки выполнять установленные инструкции и процедуры, а также культивирует уважение к собственной личности. Вывод: корпоративный университет не должен ассоциироваться с аудиторией, оснащенной всего лишь доской и проектором; КУ или центр обучения, помимо названных аксессуаров обучения, должны быть обязательно оснащены всем необходимым для отработки производственных операций с возможностью их визуализации и последующего анализа.

Изучение негативного опыта было бы крайне полезно в корпоративном обучении, с обязательным включением учебных часов по анализу аварий и происшествий, в том числе при строительстве и эксплуатации сложных инженерных объектов. Безопасность сложного инженерного объекта никогда не может быть излишней, и прошлогодняя фукусимская авария является очередным тому подтверждением.

Для понимания системы обучения именно в атомной отрасли обратимся к многолетнему успешному опыту Бургундского ядерного кластера. Для непосвященной публики, а также части специалистов Бургундия в первую очередь ассоциируется в качестве знаменитой на весь мир провинции по производству вин. При всем при этом все крупные компоненты 58 ядерных установок, производящих порядка 80% электроэнергии Франции, производятся именно



в Бургундии. Наряду с виноделием Бургундия является гигантской мастерской по проектированию, изготовлению и сборке оборудования первого контура. С 2005 года вся цепочка поставщиков сконцентрирована вокруг созданного ядерного кластера, объединяющего более 150 предприятий и организаций, начиная от гигантов типа EdF и AREVA до мелких и средних предприятий, лабораторий и послевузовских образовательных курсов.

Бургундский ядерный полюс (pole Nucleaire Bourgogne) есть тема отдельного анализа, но одной из основных его целей является всестороннее, непрерывное и комплексное обучение всего многообразия специалистов, занятых на предприятиях кластера. По инициативе Бургундского ядерного кластера были организованы самые разнообразные курсы и формы профессионального обучения для обучающихся всех уровней начиная от выпускников школ, включая лицензиатов, бакалавров и магистров, в нескольких провинциях Франции. В число центров специализированного обучения вошли Высшая инженерная школа (Ecole d'Ingenieur), технические университеты, лицеи, курсы CFAI и интернет-ресурсы. В апреле 2009 года для подготовки профессионалов и руководителей высшего уровня в Бургундском ядерном кластере создана Международная академия ядерной энергетики.

В рамках обучения в академии руководители предприятий атомной отрасли обучаются в удобное для них время по индивидуальным обучающим программам. Вообще же разработаны типовые курсы продолжительностью от двух дней до нескольких недель. Обязательное изучение на конкретных примерах case study, а также привлечение лучших европейских преподавателей и специалистов по направлениям. В академии производится обучение следующим специальностям (неполный перечень): руководитель по закупкам, качеству, большим проектам, материаловедению, стратегии, коммерции, развитию компании, юридическим вопросам, техобслуживанию оборудования и так далее. Обучение производится на базе полученного технического или гуманитарного образования. Кроме того, для обучающихся имеется имитатор в натуральную величину всех систем и компонентов первого контура, что позволяет производить отработку всех реальных действий по техобслуживанию и капремонту, реагированию в аварийных ситуациях, прочим операциям. В число изучаемых тем (двухдневный специальный курс) входит разбор аварии в атомной энергетике, включая аварию на АЭС Три-Майл Айленд, Чернобыль и Фукусима. Как правило, двухдневная программа обучения стоит порядка 1200 евро на человека без питания и проживания.

Кроме того, Франция, да и все европейские страны с развитой ядерной инфраструктурой для реагирования на вызовы «атомного ренессанса» расширяют сотрудничество между университетами, создают консорциумы вузов, междисциплинарные образовательные консорциумы, программы и интернет-ресурсы. Значимыми примерами являются Европейская сеть ядерного образования (ENEN), Азиатская сеть ядерного образования (ANENT), университетские консорциумы в США, а также Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ в России. В качестве примера можно привести также проект ENEN III, который охватывает программы переподготовки инженеров из различных областей индустрии для привлечения их в ядерный сектор, а также подготовку инженеров-конструкторов АЭС третьего поколения и специалистов – разработчиков реакторов четвертого поколения. Все большую роль стало

играть интернет-обучение, а также дистанционное обучение в режимах видеоконференций.

В нашей стране также имеется развитая цепь послевузовского образования начиная с Центрального института повышения квалификации (ЦИПК), созданного в Обнинске в 1967 году. Обнинск был выбран для этой цели в связи с тем, что в городе находятся такие элементы атомной инфраструктуры, пригодной для обучения, как первая в мире АЭС, Физико-энергетический институт имени А. И. Лейпунского, а также филиал Национального исследовательского ядерного университета МИФИ. ЦИПК стал важнейшим элементом отраслевой системы подготовки кадров, имея 160 разнообразных курсов, каждый из которых рассчитан на 72 учебных часа. Кроме ЦИПК обучение специалистов отрасли проводится в Смоленском и Нововоронежском учебных центрах, где осуществляется подготовка персонала для российских и зарубежных АЭС, включая Китай, Индию, Иран. Упомянем также полезный опыт по систематическому обучению на Балаковской АЭС, а также во ВНИИАЭС.

Отметим в завершение, что в полном виде система корпоративного обучения в большинстве компаний представляет собой конфиденциальную информацию, так как, обучая своих сотрудников, компания передает всевозможные маленькие и большие секреты и ноу-хау, обеспечивающие лидирующее положение компании на рынке.

В свете вышеизложенного проблема подготовки высококвалифицированных специалистов для работы в нашей инженеринговой компании становится крайне актуальной. Ни в каком вузе невозможно обучить студента корпоративной системе закупок, передовым технологиям проектирования и полевого инжиниринга, законодательным актам ГК «Росатома», другим корпоративным нормам, технологиям и практикам. ОАО «НИАЭП» стало компанией мирового уровня: мы проектируем, строим и планируем строить АЭС в Индии, Китае, Турции, Вьетнаме, других странах. В том числе одной из требующих решения задач является подготовка и обучение местного рабочего и инженерного персонала для работы в соответствии с методиками и практиками нашей инженерной компании. Эту работу будут проводить базовая кафедра и учебный центр при Ростовской АЭС. Костяк специалистов и руководителей нашей инженеринговой компании будет обучаться на базовой кафедре «Системы управления жизненным циклом сложных инженерных объектов». НИАЭП по праву может гордиться рядом передовых даже по мировым меркам технологий проектирования и строительства, включая Multi-D проектирование, систему управления жизненным циклом, методику полевого инжиниринга, управление стоимостью, единый отраслевой номенклатурный каталог оборудования и материалов, прочие достижения. Новые знания должны не просто передаваться молодому поколению, но получать дальнейшее развитие и приумножение. Выразим надежду и желание, что, приобретя необходимый опыт и разработав программу обучения, способную обеспечить профессиональный рост сотрудников в соответствии с вызовами нашего времени, базовая кафедра в недалеком будущем сможет стать полноправным корпоративным университетом, и помимо образовательных программ будет заниматься научно-исследовательской деятельностью и решением важных для развития компании и атомной энергетики проблем.

**Использованы материалы, имеющиеся в свободном доступе в Интернете.**

## World practices of corporate training

**N. Leontiev, Chief of Strategic Development and Markets Monitoring Department, Ph.D. in economics, E. Stenshin, leading expert. JSC «NIAEP»**

**Nowadays transnational corporations attach tremendous importance to continuous training of employees. For example in 2002 American corporations invested 56.8 billion dollars in the training and professional development of their staff. The explanation for this is extremely simple: the steady state of a company depends on the capability to correctly predict market needs and offer the best goods at a minimum price and with the best quality leaving competitors behind, which is a daunting task in the modern rapidly changing world with its hard struggle for survival. Price and quality of goods depend on the skills and creativity of all employees taking part in the long chain of development and promotion, including without any exception marketing experts, designers/engineers, process and quality engineers, workers, and, of course, all levels of management. Accordingly, all specialists have to be regularly trained, as even one singer out of tune can ruin an opera.**

Besides, our world becomes predominantly postindustrial and is characterized by avalanche-type progress in information and telecommunication technologies. In good old days, let's mark those with the end of the 60s of the previous century for convenience, basic or secondary education was, as a rule, sufficient for labour and creative work in a person's life, and the only communications facilities for a family were one fixed-line telephone and the nearest post-office, while in the modern rapidly changing world knowledge as well as means of information storage and transfer are continuously updated. We now recall with a smile as a little more than 20 years ago reliable adding machines, slide rules and counting frames that had served for decades began to be replaced by personal computers, that only started to appear. The first PCs were regarded as a technological breakthrough and even a revelation, those being awkward apparatuses with 286 processors taking whole desk space of the most «advanced» employees. And only in some 3-4 years they were simply wiped off by computers with the first versions of Windows installed on them. Faxes and pagers have also not existed for long. In a few years they were replaced by electronic mail and cellular telecommunication. We entered the information era, and the problem of competent control of knowledge flows appeared on the agenda.

On the one hand, information and telecommunication technologies that are rapidly developing and getting into all, without any exception, spheres of activity, make our life more complicated. After all it is necessary to continually learn

to use new software and hardware. On the other hand, they give access to huge and permanently growing arrays of information. Requirements to safety, ecological compatibility, design are becoming tougher and tougher, and it is an incessant issue to be not simply on time, but ahead of market needs and to survive in the sea of information and competitive struggle. How to understand what knowledge is necessary for practical operation and what is not worthy of attention? How to retain corporate style and prevent the specific features of your goods from being lost in the ocean of similar goods from competitors? How to keep confidential small secrets of your company and how to transfer them to new employees for subsequent improvement?

Let's add here that our industry, nuclear power engineering, is still based on the most advanced technologies at all stages of its life cycle (LC), starting from extraction of ore and its enrichment, including fuel production, engineering, construction, power plants operation and so on. At all stages of LC all sorts of specialists are involved, from traditional highly-skilled turners wanted in all industries, welders, fitters, programmers and electronics engineers, to operators of nuclear reactors. We all are under the attention and scrutiny of the public, and a failure of one of us can throw a shadow of mistrust on the whole industry. We will try to look into the situation by the example of the most successful international and domestic companies, but not necessarily operating in nuclear power industry, and determine how to implement systematic training and provide continuous improvement of professional skills of employees in diversified companies.

First of all, it is necessary to talk about such phenomenon, as corporate universities (CU). CUs first appeared in the United States in the middle of the previous century and became a solution to the abovementioned problems. By 1993 CU had been organized in 400 companies, by 2001 there were already 2000 of them – fivefold growth in less 8 years! And CU were formed not only in high-technology companies like Boeing, Motorola, Dell or General Motors, but in those seemingly far from being hi-tech and purely entertaining companies as Walt Disney, or the public catering giant McDonalds. Moreover, it was McDonalds, who organized the first CU in 1961. It was very appropriately called Hamburger University and its mission was training of new personnel worldwide according to the ideology of the quickly growing company. No other business education allowed reaching this goal, we will talk about CUs operation more in detail below. CUs are used not only for transmission of knowledge, but for building the ideology and corporate style. They also take part in solving other important problems, including strategic issues.

The main growth in CU quantity was in the 90s of the 20th century. Today IBM Global training is considered to be one of the largest corporate universities, that employs more than 3400 trainers in 55 countries around the globe; the university provides 10 000 specialization courses. Another good example of a large and successful corporate university is Motorola University. The annual budget of this organization is about 100 million dollars; it is represented by 99 subdivisions in 21 countries with 400 permanent employees. What is the reason for the growth and success of CU as a phenomenon?

There are a few principal ones. The first reason: even in western countries an education system on the basis of traditional schools and universities is considered in many aspects as obsolete

and not in accordance with the needs of the society that is developing so quickly; the so-called system of «classical» education is designed for the average, «depersonalized» student, it does not take into consideration his/her talents and inclinations, where and how this student will work in future. You can use your own experience here: many overachieving student from your stream were not an outstanding success in their career after graduation, if they started working not in design offices, but in production shops and vice versa. Some students with a mediocre knowledge of mathematics and physics became successful managers of large production enterprises. Higher education is far from being an individual method of training, and many outstanding inventors and businessmen, including John Rockefeller, Henry Ford or Steve Jobs, with their original thinking could not fit into strict educational programs, and either did not join any university or dropped their studies very early. And Thomas Edison, an author of more than a thousand patents, did not even have any elementary education and said about himself with bravado that he only became an inventor because he had never attended school. The second reason: traditional educational programs approved and carried out in isolation from real production needs or design process, are hard to change and adapt to the facts of the rapidly changing modern world of knowledge. Corporations need specific knowledge «tailored» for their needs, a big part of which must not be disclosed to competitors. Thus, corporations have been forced to create their own educational programs.

In all fairness it has to be said that there is the «extreme» point of view that in due course corporate universities will replace classical technical and other universities. But we think that it is not correct. Basic knowledge will be always necessary, and future lawyers, physicians, engineers will always study physiology and anatomy, Roman Law and physics only in classical universities. No CU or specialized training centre can train a future SRO (senior reactor operator) in the basics of nuclear physics and the theory of controlled chain reaction, but, at the same time, no technical university can train students so that immediately after graduation they could operate the control panel of a reactor. Though unlike traditional universities, CUs and branch training centers use more advanced training methods based on active learning, psychological training, demonstrations with the use of multimedia and case study, this knowledge already gets into «cultivated soil», that is perceived by trainees with core education. Employees of corporations, who go through this kind of training, are more motivated, than university students, because disregard of their studies slows down their careers.

As for training and practical studies let us look at the experience of international engineering companies. Graduates and others, who seek a job in Bechtel, are trained using the principle «earn while you study».

They are added to the staff under a terminal contract and receive a salary. Though training programs are designed for the systems and business processes of Bechtel, after successful completion of such training a job seeker receives qualification certificates and national licenses and has an opportunity to continue his/her career already as a permanent employee. Worley Parsons, another global leader in engineering, provides practical training within the limits of a similar program called WIL or «work integrated learning». WIL training in the majority of cases is taken up by young men without any previous practical experience. Thanks to this lack of experience they can

give their original opinions and ideas about, as they think, more effective methods and practices. Worley Parsons welcomes new and original ideas and their embodiment inside the corporation. The company employs young creative students after the training is complete. In Russia, as a rule, the preference is given to «pirating» other companies for personnel. However, users of this practice should remember that along with certain skills and qualification a specialist from another company can think in dogmas, which are not in line with the corporate culture of the corporation. Even Toyota production system (TPS) takes into account that employees are very reluctant to be trained in new methods of operation and constantly tend to think «we have always done this way and everything was ok». Engineering corporation Shawgroup called its corporate university Shaw Learning Academy. The Academy embraces 8 colleges, that perform all-round training of specialists in sales and purchasing, operation, leadership, business administration, technologies, individual development, retail and corporate ethics.

All companies mandatorily impart to young specialists and job seekers the «essence» of the corporate culture expressed in a slogan consisting of one phrase. Shaw corporation uses one phrase to set itself up as a developer of «environment and customer friendly» product, Nokia «connects people», Apple «thinks different», IBM «makes it happen», and if you are with General Dynamics, then «strength is at your side», and so on. No doubt, our company, JSC NIAEP, should also have a similar original slogan and with pride cultivate it among students throughout training courses and development programs. Besides, «leadership development» is now becoming a trend in corporate training.

Thus, CUs:

- Provide continuous training;
- Initiate and support carrying out of changes in the organization structure of a company;
- Implement corporate culture, corporate style, loyalty and involvement;
- Allow strengthening of competitive advantages;
- Allow retaining personnel as they provide continuous development.
- Solve other issues that demand brainstorming and application of the best world business practices.

Obviously, apart from training, CUs help to complete very important tactical and strategic objectives. Usually CUs are subordinated to the Director for Corporate Development or HR Director. In some cases corporations set up the new and unusual position of the Chief Learning Officer with rather wide powers.

As regards transfer of knowledge, there is another drastic difference between CUs and classical universities: training is provided predominantly by employees of the same corporation, and trainees are predominantly employees of the corporation. The word predominantly is extremely important here, as no company exists in isolation from suppliers or out of cooperation with other companies, and there is always a necessity to share knowledge and know-how with counteragents. To survive a corporation has to be open and susceptible to new knowledge in the market and to innovations, therefore some special courses are led by invited trainers from universities and advisers from specialized firms. Moreover, corporations are always in a close cooperation with research institutes and involve them in development of new products.



As, besides training, CUs complete other tasks, a corporation should determine at an early stage what it wants: a training centre, corporate university or outsourced training. A conservative approach could be preferable in this case, which is to organize a specialized training department that would cooperate with leading specialized universities training specialists in atomic engineering, construction, economics and law. Simultaneously, it is necessary to analyze the best real-world experience and find necessary arguments in favor of a corporate university. The problem of knowledge transfer in hi tech spheres, particularly in atomic engineering, becomes more and more pressing not only in Russia. A lot of relevant publications appear in many countries, and it would be practical to publish a separate research article on basic world practices and methods used for organization of a CU.

The success and steady growth Japanese Toyota were possible in many respects thanks to a competently built corporate system of continuous training. Toyota education system is very closely intertwined with Toyota production system (TPS). Its basic principles are simplicity, visualization, cultivation among employees of the desire to continuously improve his/her workplace and production process (kaizen). In the multitude of training methods we would like to draw your attention to one training method somewhat exotic for us, and namely «gassuykoiku» (training with joint residence). A part of employees from all levels of management and production workers live for a few days in a country camp, where under the direction of a «coach» (similar to our trainer or instructor) they are jointly trained, and then at a friendly lunch or dinner they informally exchange their impressions of the received knowledge, and also give their «kaizen» -offers. Such regular meetings provide an effective interface and information exchange along the whole hierarchical chain of management, as even a plant manager can communicate directly with workers at the same table and exchange interesting ideas on labour productivity and quality improvement. The concept «coach» meaning a teacher or mentor also started taking root in the Russian language. In Toyota, only production veterans, who worked a few decades in the company and have been through all corporate levels, can become coaches.

Another interesting phenomenon: Toyota has plants in a number of countries with different languages and cultures, but even in those countries, where new factories are under construction and personnel without any production experience has been recruited, the first series products have practically the same quality as the same product manufactured at the enterprises located in Japan! What is their secret? Once again it is their effective system of corporate training.

From the very beginning Toyota imparts to its employees pride in the enterprise, steady skills to carry out provided instructions and procedures, and it cultivates respect of an employee for him/herself. Conclusion: a corporate university should not be associated with a class equipped only with a board and a beamer; a CU or training centre, apart from the said training means, must be fitted with everything necessary for practicing of production operations with a possibility of their visualization and subsequent analysis.

Negative experience analysis would be very useful in corporate training, with mandatory analysis of accidents and incidents, including those during construction and operation of com-

plex facilities. A complex facility can never be excessively safe, and the Fukushima accident adds another argument in favor of this.

To understand a system of training in the nuclear industry, we will look at the successful long-term experience of the Burgundy Nuclear Cluster (BNC). For nonspecialists and a part of specialists, Burgundy is, in the first place, is a region in France world-famous for production of wines. At the same time, all large components of the 58 nuclear plants producing about 80% of all electric power in France, are manufactured in Burgundy. Apart from winemaking, Burgundy is a giant workshop for design, manufacture and assembly of primary coolant circuit equipment. Since 2005 the whole chain of suppliers is concentrated around the nuclear cluster embracing more than 150 enterprises and organizations, from giants like EdF and AREVA, to small and medium size enterprises, laboratories and post graduate training courses.

The Burgundy nuclear pole (pole Nucleaire Bourgogne) is a subject for a separate analysis, but one of its basic purposes is all-round, continuous and complex training of all sorts of specialists working at the enterprises of the cluster. At the initiative of BNC all kinds of courses and forms of vocational training for students of all levels have been organized, including school leavers, licensees, bachelors and masters, in several regions of France. Among the specialized training centers is Ecole d'Ingenieur, technical universities, lyces, CFAI courses and Internet resources. In April 2009 the International Nuclear Power Academy was established in the Burgundy Nuclear Cluster. Its mission is training of professionals and managers of the highest level.

Training for managers of nuclear industry enterprises in the Academy is provided during hours convenient for trainees under individual learning programs. There are general courses with duration from two days to around several weeks. Case study is mandatory and the best European tutors and specialists are invited. Training in the following specialties is provided in the Academy (the list is not complete): manager for purchasing, quality, large projects; materials technology, strategy, commerce, company development, legal issues, equipment maintenance, and so on. Training is carried out on the basis of a core technical or liberal education. Besides, there is a life-sized simulator of all systems and components of the primary circuit that is used for practicing of all kinds of maintenance overhaul, and emergency response. Among the topics (a two-day special course) is analysis of accidents in nuclear power industry, including the Chernobyl, Three Mile Island, and Fukushima accidents. As a rule, a two-day training program costs about 1200 Euros per capita without meals or residence.

Additionally, France and all European countries with a developed nuclear infrastructure to respond to challenges of «the nuclear renaissance» extend cooperation between and establish consortia of universities, set up interdisciplinary training consortia, programs and Internet resources. The European Nuclear Education Network (ENEN), the Asian Network for Education in Nuclear Technology (ANENT), university consortia in the US, and the National Research Nuclear University (MEPhI) in Russia are conspicuous examples. Another good example is ENEN III project, that embraces programs for retraining of engineers from various industries to attract them into the nuclear sector, training of generation III nuclear plants designers and

generation IV reactors designers. Internet training and remote video conferences are becoming more important training tools.

In Russia there is a developed chain of post-graduate education, starting with the State Central Institute of Continuing Education and Training (SCICET), established in Obninsk in 1967. Obninsk was selected for this purpose because there are elements of nuclear infrastructure in the city, that can be used for training, as the first-ever nuclear power plant, Lypunsky Institute for Physics and Power Engineering (SSC IPPE) and a branch of the National Research Nuclear University (MEPhI). SCICET became the major element of the industry professional training system with 160 various courses. Each of these courses includes 72 class periods. Apart from SCICET, training of industry specialists is provided in Smolensk and Novovoronezh training centers, where specialists are trained for the Russian and foreign nuclear power plants, including China, India, Iran. The useful experience of systematic training at the Balakovo Nuclear Power Plant and All-Russian Scientific Research Institute for Nuclear Power Plant Operation (VNIIAES) is also worthy of attention.

In conclusion, it must be mentioned that complete systems of corporate training in the majority of companies constitute confidential information as in the course of training of its employees a company transfers various small and big secrets and know-how that ensure leading positions of companies in the market.

In the light of the foregoing, the issue of training of highly-skilled specialists for our company becomes very pressing. There is no university, where students could be trained in corporate purchasing system operation, advanced techniques of design and field engineering, legal acts of the Russian Federal Atomic Energy Agency, other corporate courses, techniques and practices. JSC NIAEP has grown to become a world-class company: we design, build and are planning to build nuclear power plants in India, China, Turkey, Vietnam, other countries. Among other objectives to be completed is training of local operating and engineering personnel for operation in correspondence with the techniques and practices of our engineering company. This training will be carried out by the specialized training department and the training centre at the Rostov Nuclear Power Plant. The principal staff and managers of our engineering company will be trained in the specialized training department «Complex facilities life-cycle control systems». NIAEP can be justly proud of its design and construction technologies, some of which are cutting edge even on a world-wide scale, including Multi-D engineering, life cycle control system, methods of field engineering, cost control, unified industry equipment and materials catalogue, and so on. Apart from simple transfer to younger generations knowledge should be further developed and expanded. We express our hope and wish that with its new experience and a training program, capable to provide professional growth that will help employees to respond to modern challenges, the specialized training department in the near future will grow into a corporate university and take part in research and decision-making to the advantage of the company and the nuclear power sector.

**All materials used are unrestricted  
access materials available  
on the Internet.**

Доклады в рубрике «Молодые ученые» представлены организаторами конференции «Забабахинские научные чтения-2012», прошедшей в Российском федеральном ядерном центре – ВНИИ технической физики, приуроченной к 95-летию Евгения Ивановича Забабахина – научного руководителя РФЯЦ-ВНИИТФ в 1960–1984 гг.

## Связь скорости детонации с кривизной фронта детонационной волны

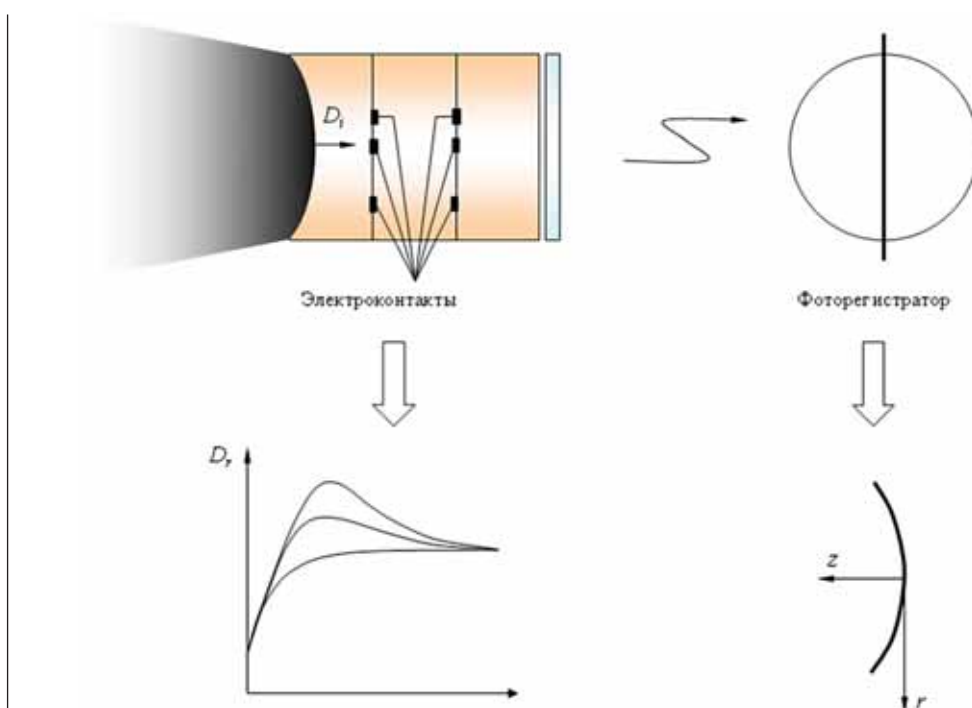
**К.М. Просвирнин, Е.Б. Смирнов,  
Б.Г. Лобойко, О.В. Костицын,  
Ю.А. Беленовский, А.Н. Киселёв  
РФЯЦ-ВНИИТФ, г. Снежинск**

Связь искривления фронта с параметрами детонационной волны для конденсированных взрывчатых веществ уже была многократно подтверждена в ряде экспериментов. Существование такой связи легло в основу построения теории «Динамика детонационного фронта» (Detonation Shock Dynamics), получившей развитие к концу XX века.

Теория идеальной детонации удовлетворительно описывает детонацию зарядов, диаметр которых близок в предельному. При меньших диаметрах скорость детонации может существенно отличаться от идеального значения, ожидаемого на основании равновесной химической термодинамики. Это отличие в значительной степени проявляется для низкочувствительных взрывчатых веществ и может достигать в отдельных случаях до  $1/3$  от скорости идеальной детонации [1]. Связано это с тем, что при детонации зарядов конечных диаметров детонационный фронт не может быть плоским. Действительно, из-за ограниченности скорости химического превращения непосредственно за плоским фронтом детонационной волны (ДВ) поток является дозвуковым. Поэтому боковые волны разгрузки, возникающие при расширении сжатого вещества в стороны, проникают на первоначальный фронт, снижая на нем давление и тем самым уменьшая его скорость в первую очередь у поверхности заряда. Таким образом, ударный фронт детонационной волны приобретает форму выпуклую в сторону распространения детонации и по прошествии некоторого участка развития принимает стационарную форму.

В работе приведены результаты исследования процесса распространения фронта детонационной волны в цилиндрических образцах различного диаметра из низкочувствительного ВВ при одноточечном и плосковолновом инициировании. Исследуемое ВВ различного начального диаметра заключалось в оболочку из меди, а также окружалось слоем взрывчатого вещества, имеющего скорость детонации, превышающую скорость детонации исследуемого ВВ. В экспериментах регистрировалась форма и скорость детонационного фронта. Полученные данные рассмотрены в совокупности с накопленными результатами по данной тематике [2].

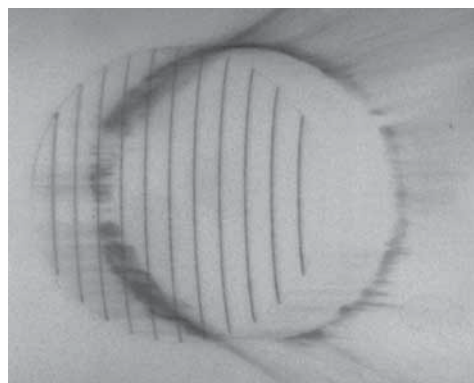
Ранее проводились экспериментальные исследования процесса развития и распространения детонационной волны в цилиндрических образцах из низкочувствительного ВВ проводились в диапазоне изменения диаметров 1–10 дкр (дкр – критический диаметр детонации). При этом инициирование осу-



**Рис. 1.** Схема проведения экспериментальных исследований процесса развития и распространения детонации

ществлялось плоской и расходящейся волной. Схема проведения экспериментов приведена на рис. 1. В данной экспериментальной постановке скорость детонации регистрировалась электроконтактным методом, а форма детонационной волны – фотохронографическим методом.

В экспериментах с помощью высокоскоростного фоторегистратора с линейной щелевой разверткой регистрировались временные профили выхода детонационной волны на торцевую поверхность исследуемых цилиндрических образцов. Типичный профиль выхода фронта детонационной волны представлен на рис. 2.



**Рис. 2.** Фотохронограмма фронта стационарной детонационной волны

Зарегистрированные временные профили пересчитывались в профили детонационных волн с учетом значения скорости детонации.

Для определения кривизны фронта полученные профили аппроксимировались аналитической зависимостью вида:

$$z = f(r) \quad (1)$$

где  $r$  – радиальная координата, измеряемая от оси заряда,  $z$  – осевая координата, отсчитываемая от точки выхода фронта детонационной волны на торец заряда.

Анализ результатов аппроксимации формы детонационного фронта различными функциями показал, что в приосевой части фронта (примерно до половины радиуса) кривизна практически постоянна, слабо зависит от вида аппроксимирующей функции и может быть определена с высокой точностью. Из соображений простоты в качестве аппроксимирующей функции была выбрана функция вида:

$$z(r) = \sqrt{R^2 - (r - r_0)^2} \quad (2)$$

где  $r$  – радиальная координата,  $R$  – радиус,  $r_0$  – подгоночный параметр, учитывающий возможную асимметрию фронта.

Из дифференциальной геометрии известно [3], что средняя кривизна поверхности выражается через две главные кривизны в ортогональных плоскостях:

$$\kappa(r) = \frac{1}{2} (\kappa_1(r) + \kappa_2(r)) \quad (3)$$



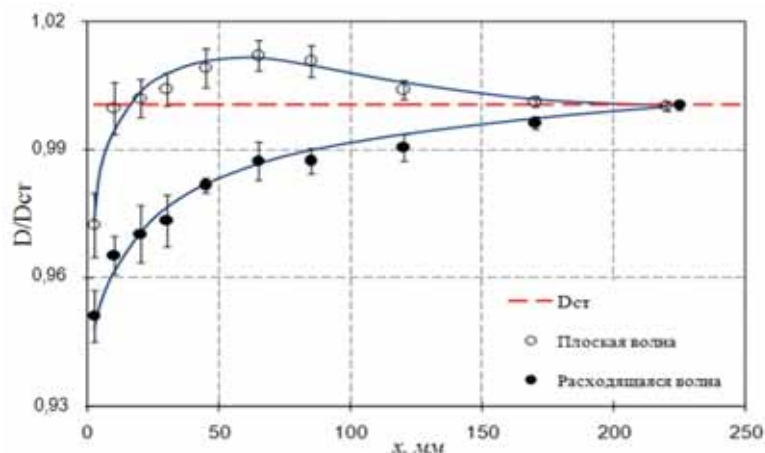


Рис. 3. Развитие и установление детонации при инициировании плоской и расходящейся волной

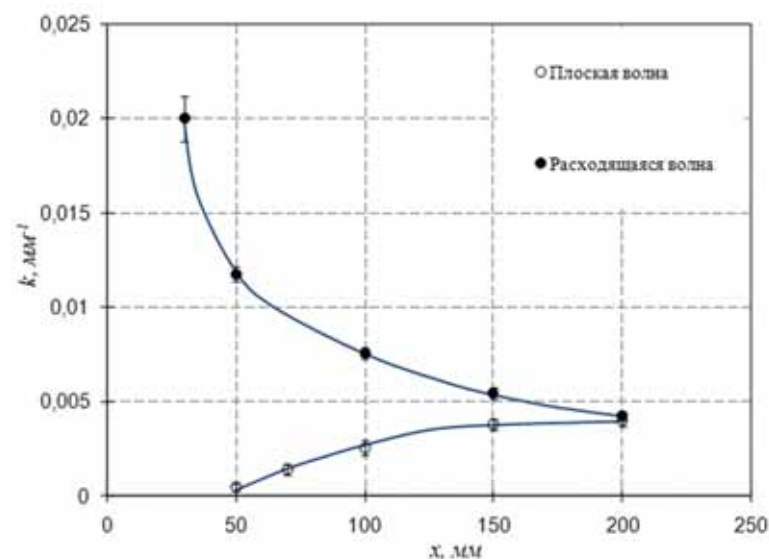


Рис. 4. Изменение кривизны фронта детонационной волны при инициировании плоской и расходящейся волной

Поскольку уравнение (2) есть уравнение окружности радиусом  $R$ , то кривизна в любой точке сферической поверхности будет  $k = 1/R$ .

Аппроксимация экспериментальных профилей ДВ уравнением (2) проводилась методом нелинейной регрессии с использованием алгоритма Левенберга–Маркварта [4; 5].

На начальном этапе определялась связь скорости детонации с кривизной для установившегося (стационарного) режима детонации. С этой целью исследовались цилиндрические образцы различного диаметра 15, 20, 40, 60 и 120 мм. Длина исследуемых зарядов ВВ была достаточно большой, для того чтобы установился детонационный процесс. На рис. 3 демонстрируются результаты установившейся скорости детонации в образцах диаметром 60 мм. Процесс инициирования производился плоской и расходящейся детонационными волнами.

Из результатов, представленных на рис. 3, видно, что характер процесса развития детонации при различных видах инициирования ВВ существенно различается. Процесс развития детонации состоит из двух фаз: фазы быстрого роста  $D$  и фазы медленного и монотонного ее приближения к уровню  $D_{ст}$ . В случае расходящейся детонационной волны фаза быстрого роста  $D$  завершается через  $\sim 20$ – $30$  мм, при этом  $D$  достигает величины  $\sim 0,97D_{ст}$ . В дальнейшем происходит медленный рост скорости детонации, которая достигает уровня  $D_{ст}$  лишь на расстоянии  $\sim 200$ – $250$  мм.

При плосковолновом инициировании скорость детонации через  $\sim 20$  мм уже достигает

уровня  $D_{ст}$ . Более того, через  $\sim 60$ – $70$  мм скорость детонации превышает уровень  $D_{ст}$ , достигает своего максимального значения ( $\sim 1,01D_{ст}$ ) и лишь затем медленно уменьшается до уровня  $D_{ст}$  (на расстоянии  $\sim 150$ – $170$  мм).

Приблизительно на тех же расстояниях, как это демонстрируется на рис. 4, стабилизируется и кривизна детонационного фронта, что в свою очередь свидетельствует об установлении его формы.

Таким образом, несмотря на различия в характере установления детонации, стационарное значение скорости не зависит от способа инициирования, и детонация устанавливается на расстоянии  $\sim 3d$  ( $d$  – диаметр заряда). Аналогичные выводы были сделаны ранее в работе [6] при исследовании развития детонации в цилиндрических образцах различного диаметра из взрывчатого состава PBX 9502.

В ходе исследований также было установлено, что характер развития детонации не зависит от диаметра заряда ВВ. Об этом свидетельствуют, например, данные полученные при плосковолновом инициировании цилиндрических деталей диаметром 60 и 120 мм, приведенные на рис. 5. Результаты на графике представлены в относительных скоростях детонации цилиндрических зарядов ВВ как функции отношения длины заряда к его диаметру.

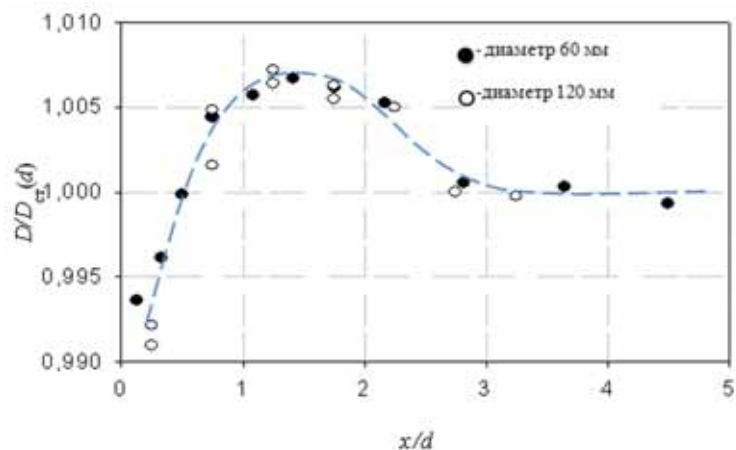


Рис. 5. Развитие детонации при плосковолновом инициировании деталей диаметром 60 и 120 мм

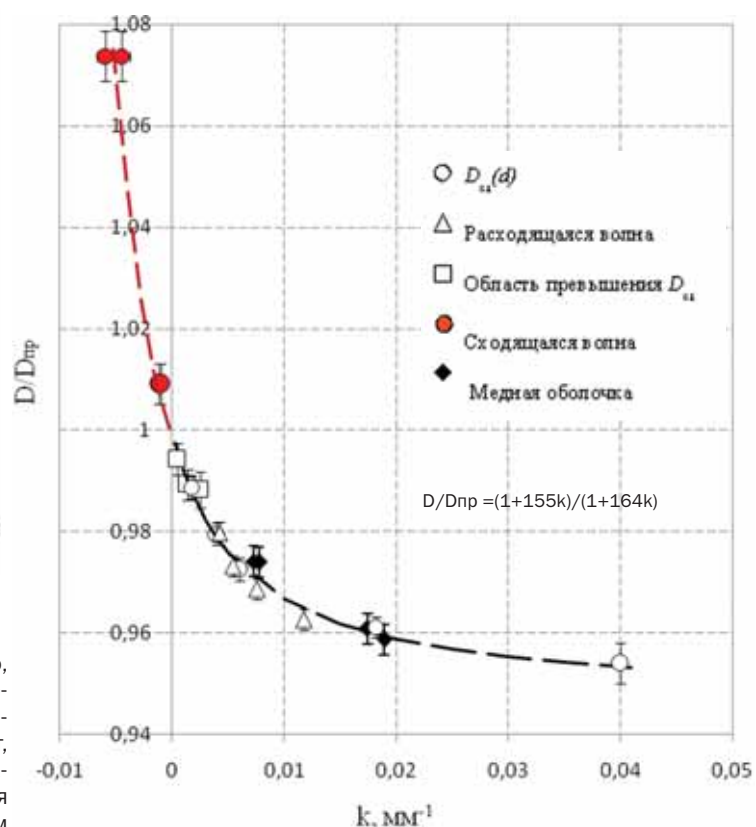


Рис. 6. Зависимость относительной скорости детонации от кривизны фронта  $D/D_{пр}(k)$

Из результатов, представленных на рис. 5, видно, что вначале скорость детонации быстро возрастает с длиной заряда  $x$ , достигая при  $x \approx d/2$  значения стационарной скорости детонации для данного диаметра заряда  $D_{ст}(d)$ . При  $x \approx 1,5d$  скорость детонации достигает своего максимального значения, превышающего  $D_{ст}(d)$  на  $\sim 1\%$ . Затем боковая разгрузка постепенно снижает скорость детонации, и при длине заряда свыше  $3d$  скорость детонации практически равна  $D_{ст}$  [7].

Полученные данные в серии экспериментов со стационарным режимом детонации представлены на рис. 6 в виде зависимости относительной скорости детонации от кривизны детонационного фронта. Указанные точки на рис. 6 – круглые маркеры. По оси абсцисс отложены скорости детонации, отнесенные к предельной скорости  $D_{пр}$ , отвечающей предельному диаметру заряда ВВ.

Далее представлял интерес, выполняется ли связь скорости детонации с кривизной для нестационарных режимов детонации. С этой целью были обработаны данные на участке развития детонации до выхода ее

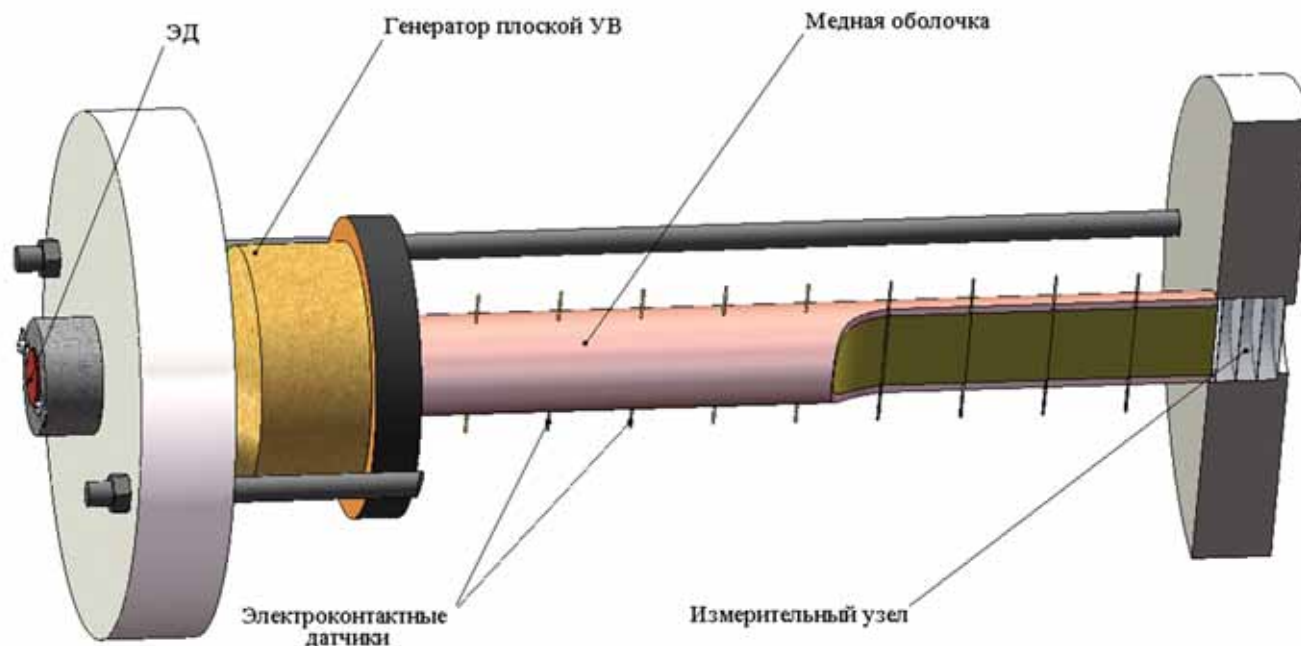


Рис. 7. Схема проведения экспериментальных исследований

на стационарный режим (см. рис. 3). Полученные данные обобщены и представлены на рис. 6 – треугольные и квадратные маркеры.

Из графика (рис. 6) видно, что данные по относительной скорости детонации и кривизне для нестационарного режима согласуются с данными на кривой для стационарного режима детонации. Таким образом, связь скорости детонации с кривизной справедлива как для стационарного, так и для нестационарного режима распространения детонации.

В следующей серии экспериментов исследовались цилиндрические образцы ВВ диаметром 20, 40 и 60 мм, помещенные в цилиндрическую оболочку из меди. Толщина медной оболочки соответствовала  $0,1d$  ( $d$  – диаметр исследуемого образца). Длина снаряженной трубы равнялась  $10d$  исследуемого образца. Схема постановки экспериментов представлена на рис. 7.

В данной постановке опытов определялась скорость детонации с помощью системы электроконтактных датчиков и кривизна детонационного фронта при выходе его на торцевую поверхность. Обработанные экспериментальные данные помещены на аппроксимационную кривую – рис. 6. Указанные точки выделены черными ромбами. Из графика следует хорошее согласие результатов с ранее полученными данными на открытых цилиндрических образцах.

Долгое время открытым оставался вопрос, выполняется ли связь скорости детонации с кривизной детонационного фронта в области отрицательных значений его кривизны (вогнутый фронт детонационной волны). Для установления этого были проведены эксперименты, в которых фронт детонационной волны имел отрицательную кривизну. На практике это реализовалось следующим образом. Исследуемые

цилиндрические образцы ВВ помещались в оболочку из взрывчатого вещества имеющего скорость детонации исследуемого ВВ. В данной серии экспериментов использовались два вида ВВ скорость детонации которых на ~5% и ~10% превышала скорость детонации исследуемого ВВ. Схема постановки экспериментов представлена на рис. 8.

В данной постановке опытов определялась только кривизна детонационного фронта при выходе его на торцевую поверхность образца. За скорость детонации принималось известное значение скорости детонации ВВ оболочки. Типичный профиль выхода фронта детонационной волны представлен на рис. 9.

Зарегистрированные временные профили также пересчитывались в профили детонационных волн с учетом значения скорости. Последующая обработка экспериментальных данных была аналогичной и описана выше.

Результаты последней серии экспериментов дали значения кривизны фронта детонационной волны в отрицательной области диаграммы  $D/D_{пр}(k)$ . Полученные данные представлены на рис. 6 – красные круглые маркеры. Из графика (рис. 6) видно, что значения лежат на продолжении приведенных ранее данных. Кривая в области отрицательной кривизны сшивается с зависимостью для положительной кривизны в точке  $D/D_{пр} = 1$ . Последнее подтверждает справедливость найденной ранее  $D_{пр}$  по данным в области положительной кривизны.

Из рис. 6 следует, что полученные результаты представляют собой единую зависимость  $D/D_{пр}(k)$  относительной скорости детонации от кривизны детонационного фронта.

Таким образом, существование однозначной связи скорости детонации с кривизной  $D(k)$

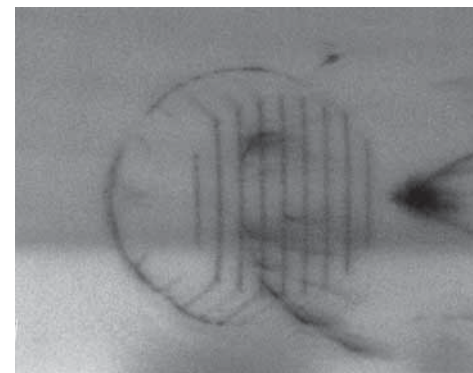


Рис. 9. Фотохронограмма фронта сходящейся детонационной волны

как для стационарного, так и для нестационарного процесса распространения детонации в областях с положительной и отрицательной кривизной свидетельствует о фундаментальном характере данной зависимости.

## Литература

1. Kennedy D.L., Drive G.B. Multi-valued normal shock velocity versus curvature relationships for highly non-ideal explosives / XIth Symposium (Int.) on Detonation (1998).
2. Лобойко Б.Г., Филин В.П., Костицын О.В., Баталов С.В., Любятинский С.Н., Смирнов Е.Б. Распространение детонации в цилиндрических образцах из нечувствительного ВВ // VII Забахинские научные чтения. РФЯЦ-ВНИИФ. – Снежинск, 2003.
3. Аминов Ю.А. Дифференциальная геометрия и топология кривых. – М.: Наука, 1987.
4. Турин Ю.Н., Макаров А.А. Статистический анализ данных на компьютере. – М.: ИНФРА – М., 1998.
5. Димиденко Е.З. Линейная и нелинейная регрессия. – М.: Финансы и статистика, 1981.
6. Souers P.C., McGuire E., Garza R., Roeske F., Vitello P. The diverging sphere and the rib in prompt detonation / XIIth Symposium (Int.) on Detonation (2002).
7. Смирнов Е.Б., Аверин А.Н., Лобойко Б.Г., Костицын О.В., Беленовский Ю.А., Просвирнин К.М., Киселёв А.Н. Динамика фронта детонационной волны в твердых ВВ / Научно-технический семинар «Физика горения и взрыва», посвященный 100-летию со дня рождения К.И. Щелкина. – Снежинск, 2011.

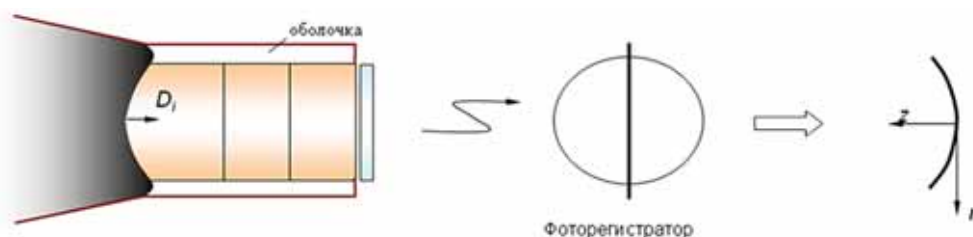


Рис. 8. Схема проведения экспериментальных исследований



# Измерение параметров электронного пучка в инжекторе ЛИУ (ЛИУ-2)

Список авторов от ФГУП «РЯЦ-ВНИИФ имени академика Е.И. Забабахина» (НИО-4, отд. 42): А.Р. Ахметов, П.С. Базаров, Д.А. Железкин, А.А. Каргин, О.А. Никитин, М.Ю. Столбиков, Д.В. Сысков, К.С. Шубин, С.Д. Хренков.

Список авторов от федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук: А.В. Акимов, П.А. Бак, М.А. Батазова, А.М. Батраков, О.В. Беликов, Ю.М. Боймелынтейн, Д.Ю. Болховитянов, А.А. Елисеев, Ф.А. Еманов, Г.А. Фатькин, А.А. Корепанов, А.Н. Косарев, Я.В. Куленко, Г.И. Кузнецов, П.В. Логачев, И.В. Николаев, А.В. Оттмар, А.А. Пачков, А.Н. Панов, О.А. Павлов, Д.Н. Пурескин, Е.С. Рувинский, Д.А. Старостенко, С.О. Суворов, Ю.Ф. Токарев, А.П. Торшин, С.В. Тур.

## Введение

Импульсная рентгенография является сегодня одним из основных методов газодинамических исследований, позволяющих разрабатывать новые изделия без проведения натуральных испытаний. К настоящему моменту в мире работают следующие наиболее крупные рентгенографические комплексы (РГК): DARHT, PHERMEX, FXR (созданные в США), AIRIX (Франция), Mogul (Англия), БИМ 234-3000 (Россия). Из этих систем DARHT, FXR и AIRIX созданы на основе линейных индукционных ускорителей (ЛИУ), которые обеспечивают наилучшие показатели по заряду электронного пучка, фокусируемого на мишень с минимальным поперечным размером. Радиочастотные ускорители (PHERMEX) и бетатроны (БИМ 234-3000) не обеспечивают ускорение сильноточных пучков и имеют поперечный размер пучка на мишени больше, чем у ЛИУ. Указанные выше индукционные ускорители DARHT-I, DARHT-II, AIRIX работают на энергиях до 20 МэВ. При фокусировке на мишень электронов в таком энергетическом диапазоне происходит наиболее эффективное рождение фотонов с энергией порядка 3-5 МэВ, что соответствует окну прозрачности тяжелых металлов. В этом спектральном диапазоне вклад нерассеянных фотонов в рентгенографическое изображение является максимальным. При рентгенографическом исследовании ставится задача достижения субмиллиметрового пространственного разрешения. Это определяет требования к длительности импульса тормозного излучения. Также с этой точки зрения необходимо стремиться к уменьшению поперечного размера пучка на мишени. Как уже было отмечено, наилучшие показатели по этому параметру обеспечивают линейные индукционные ускорители. Однако лучшие линейные индукционные ускорители, действующие сегодня в мире, далеко не достигли пределов своих физических и технических возможностей. Для того чтобы продвинуться дальше (в сторону увеличения яркости и уменьшения размеров рентгеновского источника) в Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера (ИЯФ СО РАН) совместно с Всероссийским научно-исследовательским инсти-

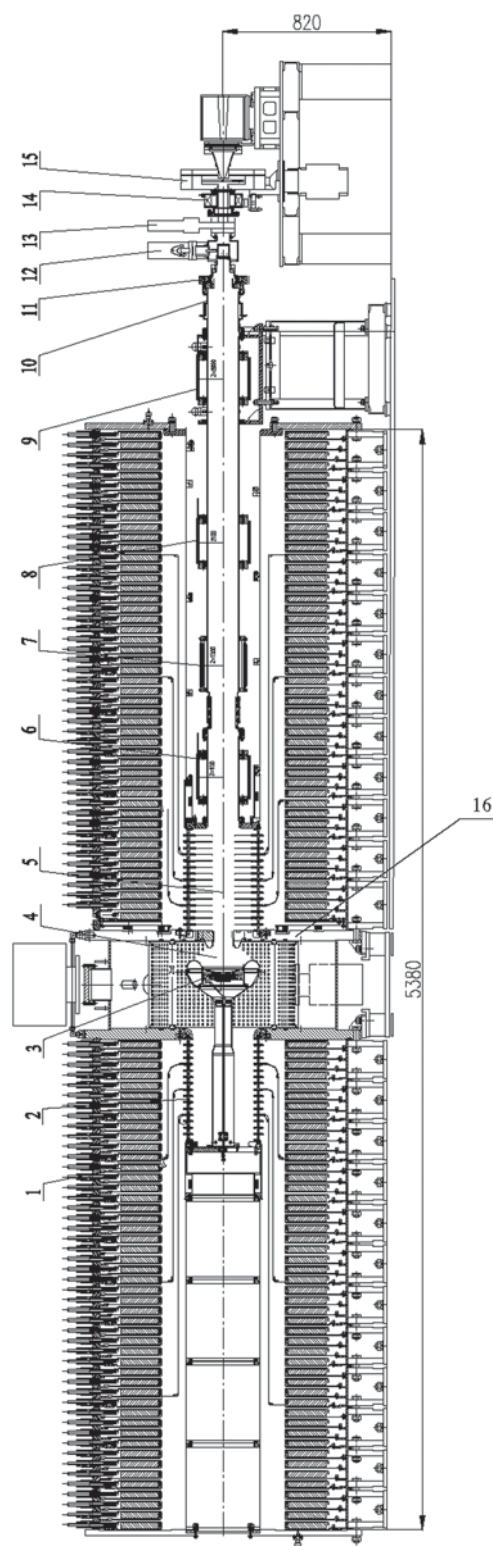


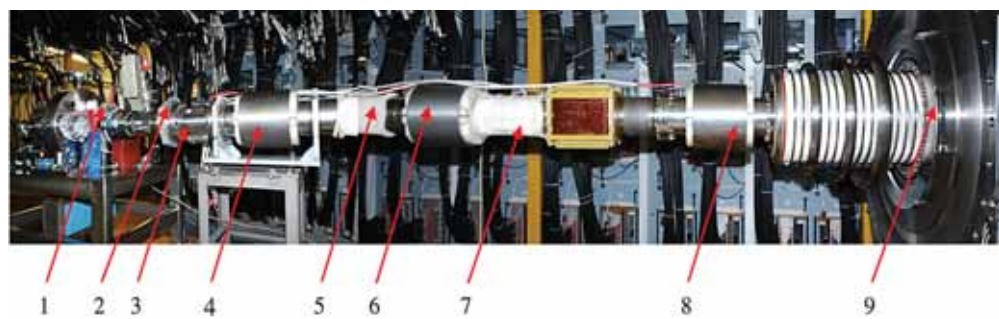
Рис. 1. Общий вид инжектора.

1 – индуктор; 2 – изолятор вакуумного диода; 3 – сферический катод; 4 – вакуумный диод; 5 – ускоряющая трубка; 6, 8, 9, 14 – магнитные линзы; 7 – корректор; 10 – полосковый датчик положения пучка; 11 – трансформатор тока; 12 – цилиндр Фарадея; 13 – шифер; 15 – мишенный узел; 16 – трансформатор тока вакуумного диода

тутом технической физики им. Е.И. Забабахина (ВНИИФ) была спроектирована и изготовлена наиболее сложная часть индукционного ускорителя – инжектор ЛИУ-2, рассчитанный на предельно достижимое качество электронного пучка током 2 кА, энергией 2 МэВ и позволяющий сфокусировать этот пучок на мишень в диаметр менее 2 мм. Формирование такого пучка требует не только высокой точности выставки всех элементов электронной оптики, качественного высоковольтного импульса, но и надежной работы системы диагностики и коррекции параметров пучка. Эта система обеспечивает возможность тонкой настройки ускорителя по результатам измерений и достижения минимального поперечного размера электронного пучка на мишени. Практическая процедура оптимальной настройки пучка в ускорителе ЛИУ-2, работающем в рентгенографическом режиме, и является предметом данной работы.

## 1. Описание экспериментальной установки

Общий вид конструкции инжектора линейного индукционного ускорителя показан на рис. 1. Ускоряющее напряжение в инжекторе формируется на двух ускоряющих зазорах – вакуумном диоде (поз. 4 на рис. 1) и ускоряющей секции (поз. 5), напряжения на которых равны по 1 МВ. Индукторная система состоит из 96 индукторов (1). Суммарное напряжение 48 индукторов первой половины инжектора (вакуумного диода) прикладывается к опорному изолятору (2), а напряжение второй половины индукторной системы стягивается на ускоряющей секции (5). Для обеспечения электрической прочности индукторной системы обе ее части выполнены герметично и заполнены элегазом. Импульс питающего индуктор напряжения подается через герметичные изоляторы, расположенные равномерно на внешней поверхности индукторного модуля. Один индуктор питается через 10 высоковольтных коаксиальных вводов. Один из двух дополнительных вводов, расположенных в нижней части модуля, используется для измерения виткового напряжения на индукторе. Непосредственно за отверстием в анодном фланце расположен первый трансформатор тока, который позволяет измерять ток, ускоренный в вакуумном диоде. Далее идет ускоряющая секция и тракт проводки пучка с системой магнитной фокусировки и коррекции пучка, соединяющий ускоряющий модуль с мишенным узлом. Транспортный канал состоит из вакуумной камеры, четырех импульсных магнитных линз и четырех двухкоординатных дипольных корректоров траектории пучка. Линзы имеют специальный дизайн, чтобы максимально уменьшить величину сферической аберрации. Корректоры располагаются после линз и призваны компенсировать отклонение электронного пучка в паразитных внешних магнитных полях. Все линзы и корректора имеют индивидуальное питание с долговременной стабильностью лучше 0,1%. На выходе инжектора перед мишенным узлом, установлен второй трансформатор тока, который позволяет мерить ток на входе в мишенный узел. Фотография ускоряющей



**Рис. 2. Ускоряющая секция и тракт проводки пучка с системой магнитной фокусировки и коррекции пучка. 1, 4, 6, 8 – магнитные линзы; 2, 9 – трансформатор тока, 3 – полосковый датчик, 5, 7 – корректор**

секции и тракта проводки пучка с системой магнитной фокусировки и коррекции пучка представлена на рис. 2.

Мишенный узел представляет собой вращающееся в вакууме колесо с закрепленными по его периметру 18 пластинами танталовых мишеней толщиной 0,5 мм. Каждая пластина может принять до 10 рабочих импульсов тока пучка в рентгенографическом режиме. В составе мишенного узла работает видеокамера, расположенная по мишенному колесу в диаметрально противоположной от траектории пучка точке. После выстрела ускорителя мишенное колесо поворачивается на половину полного оборота, и камера показывает образовавшееся отверстие в мишени.

Для вращения мишенного колеса используется шаговый двигатель. Фотография мишенного узла представлена на рис. 3.

**2. Система диагностики пучка ускорителя ЛИУ-2**

Система диагностики пучка предназначена для измерения и оперативного контроля основных параметров электронного пучка, а именно, энергии и тока пучка, его поперечного положения и размера на входе в мишенный узел [1]. Ток пучка измеряется двумя импульсными трансформаторами тока. Первый из них расположен на выходе электронного пучка из диода, в первой секции второй ускоряющей трубки. Второй трансформатор расположен на входе в мишенный узел. Временная зависимость поперечного положения и тока пучка измеряется посредством широкополосного полоскового датчика (далее – пикапа) непосредственно на входе в мишенный узел. Сразу за пикапом расположен поглотитель, который может перекрывать и полностью поглощать электронный пучок.

Для проведения точных измерений уровней сигналов используются осциллографы (ADC200ME [2]). Для обеспечения точности измерения лучше 1%, в осциллографах используется схема калибровки тракта по сигналу от точного ЦАП. Для этого в начале работы



**Рис. 3. Мишенный узел**

нужно провести процедуру калибровки, чтобы устранить смещение нуля и искажения масштаба, а затем, по мере надобности, её повторять, чтобы компенсировать температурные дрейфы этих величин. В нашем случае, такие измерения можно проводить перед каждым выстрелом, или раз в несколько выстрелов.

Для приведения уровней сигналов в системе измерения параметров пучка к входному диапазону цифровых осциллографов используются емкостные и резистивные делители. Система диагностики параметров электронного пучка инжектора ЛИУ состоит из следующих элементов:

1. Емкостные делители напряжения на индукторах инжектора.
2. Емкостной делитель напряжения в вакуумном диоде.
3. Трансформатор тока за анодным отверстием.
4. Трансформатор тока на выходе из инжектора.
5. Полосковый датчик положения пучка.
6. Визуальное наблюдение за отпечатком пучка на мишени.

Емкостные делители напряжения на 48 индукторах инжектора отобраны по коэффициентам и разделены на 2 группы по 24

делителя так, чтобы коэффициенты деления укладывались в ±1%. Первая группа емкостных делителей располагается на индукторах первого МэВ, вторая – на индукторах второго МэВ. Резисторы и конденсаторы подобраны таким образом, чтобы температурные уходы коэффициентов деления резистивного и емкостного делителей при суточных колебаниях температуры ±20 градусов составляли меньше 1%.

Искажения, привносимые передающим трактом, составляют 5–7%. Применив алгоритм восстановления сигнала, можно уменьшить эти искажения до 2–3%. Таким образом, общая точность измерения составит порядка 3%.

Трансформатор тока представляет собой пояс Роговского. Первый трансформатор расположен непосредственно за отверстием в анодном фланце и позволяет измерять ток, ускоренный в вакуумном диоде. Аналогичную схему имеет трансформатор тока, установленный на выходе инжектора перед мишенным узлом.

Для измерения поперечных координат пучка используются полосковый датчик, расположенный на выходе инжектора. Он представляет собой магнитоиндукционный датчик. В нем проводник образует виток, в котором возникает электродвижущая сила, благодаря изменению потока магнитного поля, создаваемого движущимися зарядами пучка. Азимутальное распределение магнитного поля тока пучка дает информацию о токе и центре тяжести пучка. Измеряя сигналы с четырех пластин (рис. 4) S1–S4, можно определить смещение центра тяжести пучка относительно оси вакуумной камер по формулам (для малых ΔX и ΔY):

$$\Delta Y = \frac{S1 - S3}{2(S1 + S3)} \cdot R, \Delta X = \frac{S2 - S4}{2(S2 + S4)} \cdot R.$$

Здесь R – радиус вакуумной камеры. Разностный и суммарный сигнал формируется с помощью специальных мостовых трансформаторов (BT962\_04 – ось Y и BT962\_05 – ось X) и оцифровывается с помощью «быстрого» АЦП.

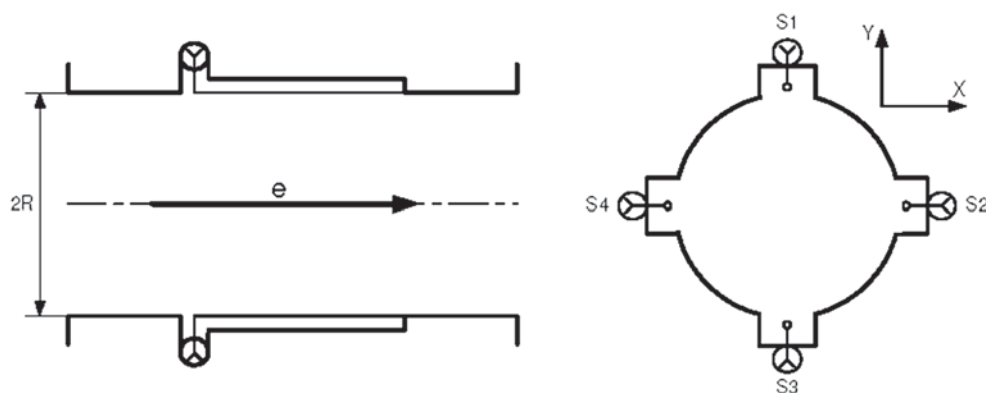
Величину полного тока можно вычислить по измеренным суммарным сигналам S1+S3 и S2+S4 по формулам:

$$I = K \frac{(S1 + S3) \cdot (S2 + S4)}{(S1 + S3) + (S2 + S4)}$$

Здесь K – калибровочный коэффициент. Калибровка датчика путем возбуждения его проводником с током, расположенным по центру датчика, показала, что погрешность определения смещения составляет <0,7 мм, а коэффициент K=275±5%. Фотография полоскового датчика представлена на рис. 5.



**Рис. 5. Полосковый датчик**



**Рис. 4. Схематичное изображение полоскового датчика положения пучка.**



### 3. Настройка электронного пучка ЛИУ-2

Рентгенография быстротекающих процессов, как правило, требует от электронного ускорителя, производящего тормозное излучение, максимальной яркости рентгеновского источника при его минимальном размере. Это определяет требования к электронному пучку, который должен иметь большой импульсный ток и минимально возможный поперечный фазовый объем. Именно решению этой основной задачи и подчинен дизайн всех систем линейного индукционного ускорителя ЛИУ-2 (разработка и изготовление ИЯФ СО РАН). Системы формирования, ускорения, фокусировки и диагностики пучка не являются исключением. Все они собраны и выставлены с максимальной возможной геометрической точностью. Это позволяет получить интенсивный электронный пучок с требуемым предельно возможным качеством. Однако небольшие ошибки в геометрической выставке ускоряющего диода и линз системы магнитной фокусировки могут существенно ухудшить качество пучка. Для устранения нежелательного эффекта от этих ошибок используется система магнитных коррекций, позволяющая точно провести пучок по центрам магнитных линз. Процедура подбора правильных значений токов в корректирующих катушках для оптимальной проводки пучка по центрам магнитных линз представлена в ниже.

Формирование и ускорение пучка в ЛИУ-2 происходит следующим образом. Пучок эмитируется низкотемпературным металлоксидным сферическим катодом диаметром 187 мм. Поверхность катода имеет малую шероховатость, высокую точность изготовления (0,05 мм) и высокую точность выставки относительно формирующих пучок электродов (0,2 мм). Прикатодный электрод и анод выполнены так, чтобы обеспечить оптимальную электростатическую компрессию пучка в диоде. Оптимизация оптики проводилась по принципу минимизации величины геометрических aberrаций в пучке, вызванных совместным влиянием пространственного заряда и ускоряющих полей в области диода. Далее за диодом на оптимальном расстоянии располагается ускоряющая структура, которая удваивает энергию сформированного в диоде пучка. Все формирование и ускорение пучка в ЛИУ-2 идет в отсутствие магнитного поля. Максимальная допустимая величина магнитного поля в этой области не должна превышать 0,2 Тс. Для этого приняты специальные меры и соответствующие элементы внесены в конструкцию ускорителя. На оптимальном расстоянии от ускоряющей секции, расположена первая импульсная магнитная линза,

обеспечивающая согласование ускоряющей системы с последующим каналом транспортировки пучка. Эта линза выставлена так, чтобы ее магнитная ось совпала с осью ускоряющей секции (с точностью 0,2 мм и 0,001 рад). За первой линзой находится двухкоординатный магнитный корректор, который позволяет направить электронный пучок в центр второй линзы, расположенной следом. Сразу за второй импульсной линзой расположен второй корректор, который направляет пучок в центр третьей линзы. За третьей линзой установлен третий корректор, который нацеливает пучок в центр последней – четвертой линзы, обеспечивающей финальную фокусировку пучка на мишень. Итак, основной задачей системы магнитной коррекции поперечного положения пучка является нацеливание оси пучка на магнитный центр каждой из трех последних линз. Перед первой линзой нет технической возможности разместить магнитный корректор, поэтому конструкция крепления этой линзы специально разработана так, чтобы геометрически поставить магнитную ось линзы на ось ускоряющей системы. Условие прохождения оси электронного пучка через магнитные центры линз соответствует минимуму нелинейных и энергетических искажений движения электронов в пучке, что, в свою очередь, соответствует минимальному поперечному размеру электронного пучка на мишени.

Методика нацеливания оси пучка на магнитный центр линзы основана на эффекте появления дополнительного поперечного угла у пучка, прошедшего не по центру линзы. Этот угол увеличивается с увеличением фокусирующей силы линзы и на некотором расстоянии от линзы дает поперечное смещение центра масс пучка. При центральном пролете, поперечное положение центра масс пучка после линзы не изменяется при изменении фокусирующей силы линзы, меняется только поперечный размер пучка.

В состав системы диагностики пучка ускорителя ЛИУ-2 входит один полосковый датчик поперечного положения центра масс пучка, расположенный между третьей и четвертой линзами. Этот датчик позволяет применить указанную выше методику для нацеливания пучка на магнитные центры второй и третьей линз. Осциллограмма разностного и суммарного сигнала с полоскового датчика, оцифрованного с помощью быстрого АЦП, представлена на рис. 6.

Для нацеливания пучка на магнитный центр второй линзы третья линза отключается, работают только первая и вторая. Ток

в первой линзе не меняется, ток во второй линзе изменяется в пределах  $\pm 10\%$  от номинального значения. При этом регистрируется смещение поперечного положения пучка в полосковом датчике. Далее токи в первом корректоре подбираются так, чтобы положение центра масс пучка в полосковом датчике практически не изменялось при изменении тока во второй линзе. Затем аналогичным образом включается третья линза и производится подбор оптимальных токов второго корректора. Нужно отметить, что в процессе такой настройки пучок принимается в поглотитель, вставляющийся после полоскового датчика, и не повреждает мишень.

Несколько более трудоемкой и затратной является процедура настройки третьего корректора, обеспечивающего прохождение пучка через магнитный центр последней – четвертой линзы. Дело в том, что расстояние от центра этой линзы до мишени всего 90 мм. Поскольку последняя линза самая короткофокусная, то и aberrации в ней наиболее сильные. Поэтому очень важно правильно нацелить пучок на центр финальной линзы. Нацеливание происходит точно таким же образом, только поперечное положение и размер фокусного пятна на мишени определяется визуально по образуемому пучку в мишени отверстие. Как правило, достаточно сделать 10–15 выстрелов, чтобы провести нацеливание.

Результатом такой настройки является минимальный поперечный диаметр рентгеновского источника – на уровне 1,5 мм (ширина на полувысоте) и его аксиально-симметричная форма. Это подтверждается снимком рентгеновского источника, полученного с помощью камеры-обскуры (см. рис. 7).

При этом нужно отметить, что создаваемые пучком отверстия в танталовой мишени (см. рис. 8) имеют несколько больший размер, что может быть объяснено следующим образом. При энергии электронов 2 МэВ и длительности электронного пучка 200 нс величина плотности тока пучка, необходимая для расплавления танталовой мишени толщиной 0,5 мм, составляет 3 кА/см<sup>2</sup>. Для тех же энергии и длительности пучка плотность тока, необходимая для испарения мишени, составляет 25 кА/см<sup>2</sup>. При диаметре рентгеновского источника 1,5 мм (ширина на полувысоте) максимальная плотность тока в центре превышает величину 100 кА/см<sup>2</sup>. Отсюда видно, что испарение мишени происходит на расстоянии от центра большем, чем полуширина на полувысоте. Для сравнения диаметра отверстий в мишени – диаметр заклепки составляет 4 мм.

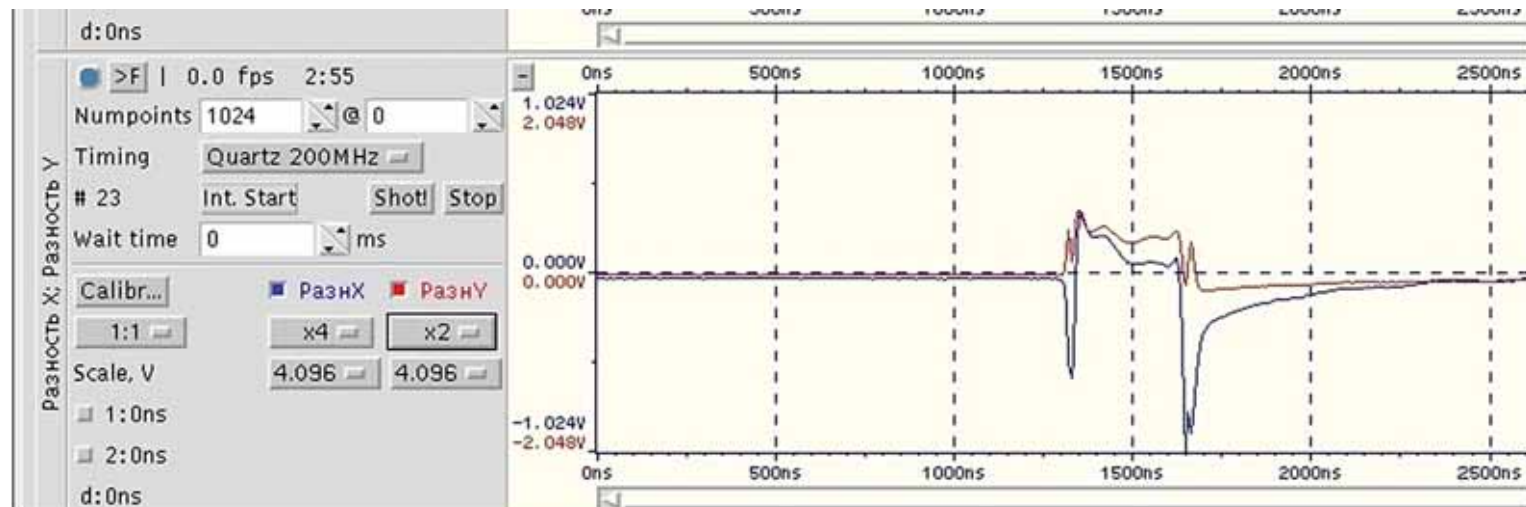


Рис. 6. Разностный и суммарный сигналы с полоскового датчика

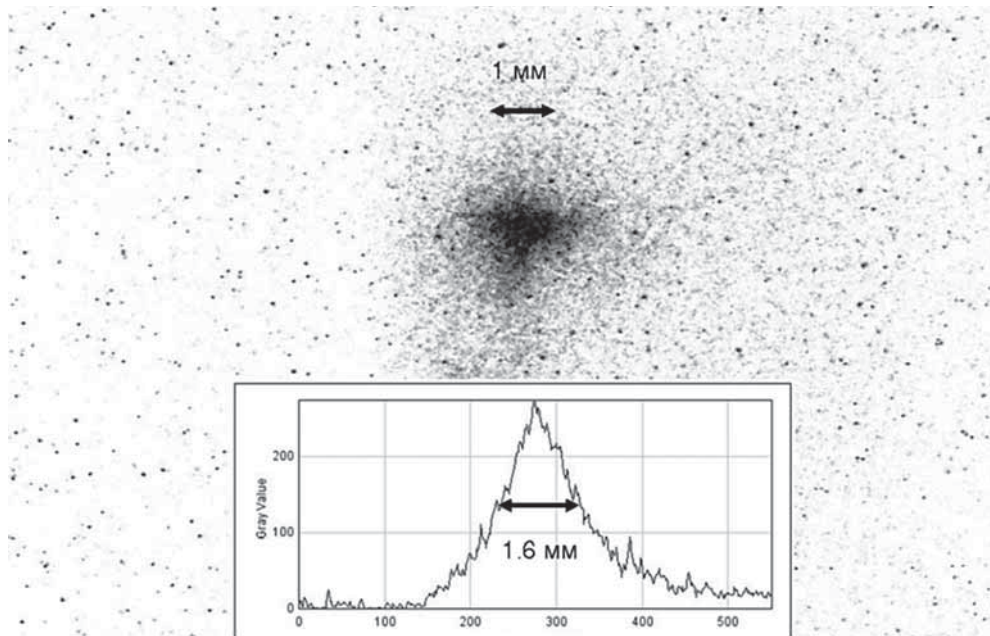


Рис. 7. Снимок рентгеновского источника, полученного с помощью камеры-обскуры

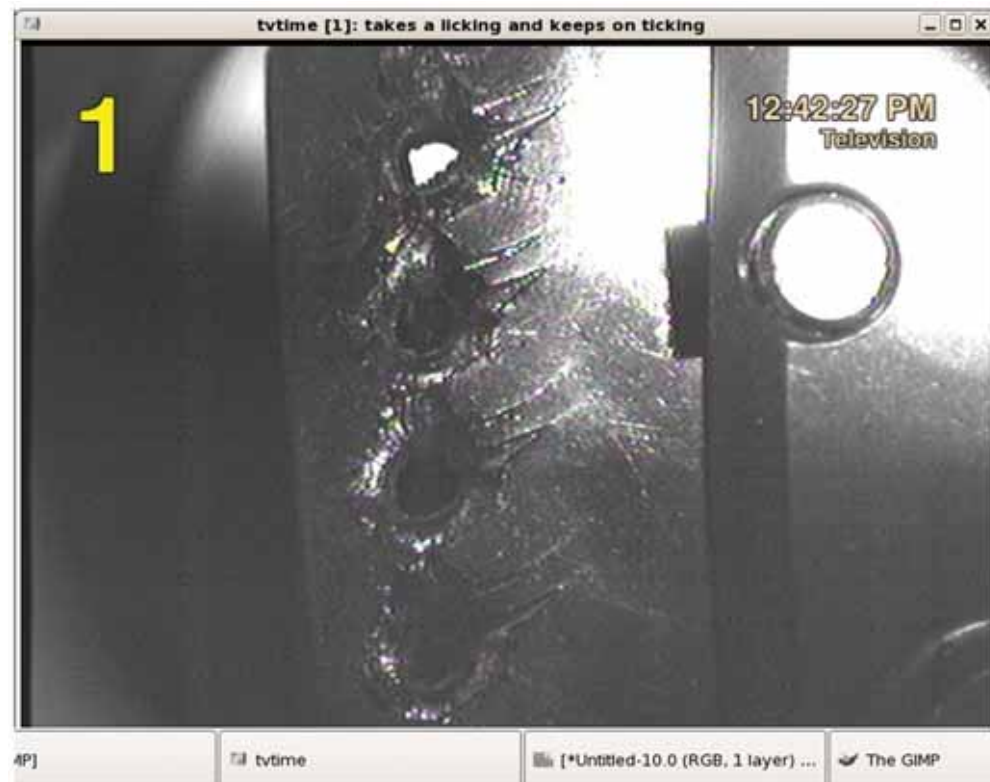


Рис. 8. Отверстия в танталовой мишени, создаваемые пучком

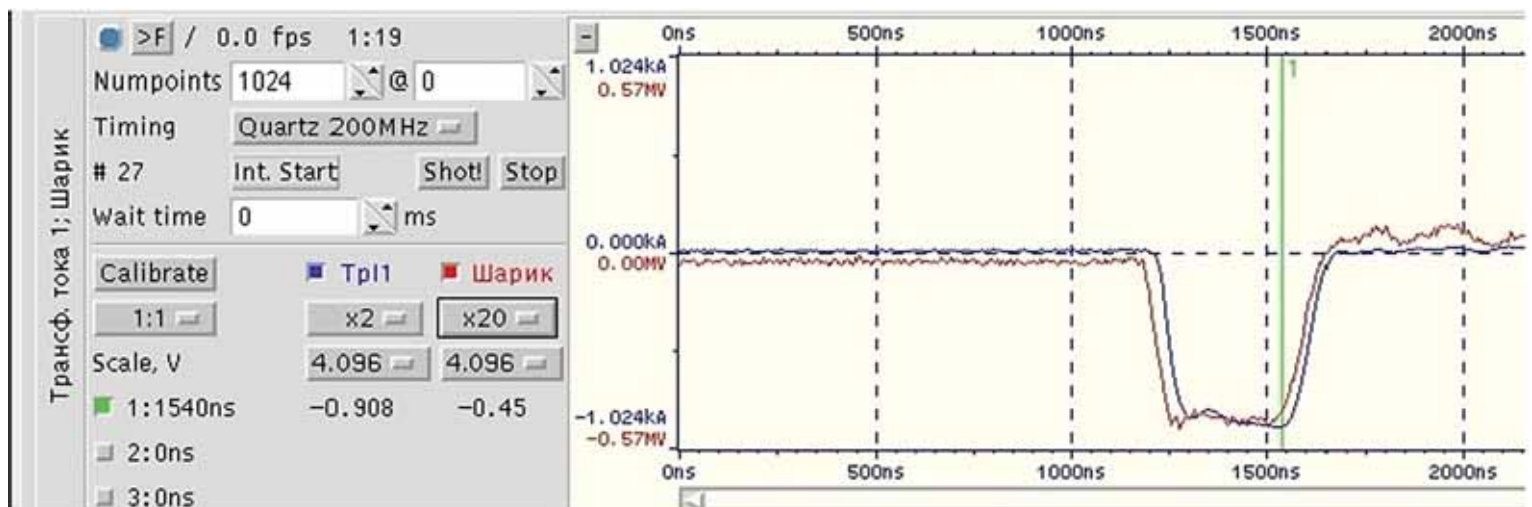


Рис. 10. Ток и напряжение на вакуумном диоде

#### 4. Заключение

В результате настройки пучка, было получено существенное уменьшение поперечного размера рентгеновского источника с 3 до 1,5 мм (ширина на полувысоте) см. рис. 9.

Точная проводка пучка по магнитным центрам линз позволяет в первом приближении убрать зависимость положения пучка на мишени от энергии и уменьшить уровень сферических aberrаций, приобретаемых пучком в магнитных полях линз. Оба этих эффекта способствуют уменьшению поперечного размера фокусного пятна на мишени в условиях неоднородности энергии пучка на протяжении основной части импульса. Дальнейшее уменьшение поперечного размера рентгеновского источника возможно при улучшении однородности энергии пучка на протяжении импульса, см. рис. 10. Эта работа запланирована и будет проведена в ближайшее время. При этом на осциллограммах тока и напряжения на вакуумном диоде наблюдаем не очень однородную «полочку». Это указывает на то, что энергия пучка в течении импульса, тоже неоднородна.

*Работа выполнена при поддержке государственной корпорации «Росатом» и Министерства образования и науки Российской Федерации.*

#### Литература

1. Батраков А.М., Логачёв П.В., Павленко А.В., Сазанский В.Я., Фаткин Г.А. Система автоматизации линейного индукционного ускорителя рентгенографического комплекса. // Вестник НГУ. Серия: Физика, 2010. Том 5. Вып.3. с.98-105.
2. Бак П.А., Батраков А.М., Кадыров Р.А., Логачев П.В., Павленко А.В., Панов А.Н., Сазанский В.Я., Фаткин Г.А. Система управления линейным индукционным ускорителем рентгенографического комплекса: структура, аппаратные средства, результаты опытной эксплуатации. // Автометрия. 2011, Т. 47, №0. 3, с.120-132.

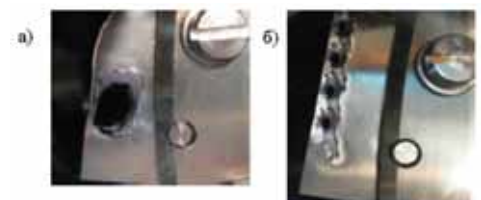


Рис. 9. След пучка на мишени: а) след нефокусированного пучка на мишени; б) след сфокусированного пучка на мишени



# Отработка катод-анодной пары рентгеновской установки РФЯЦ-ВНИИТФ ИГУР-3,5 для оптимизации регистрации быстропротекающих процессов

П.С. Базаров, А.М. Василенко,  
М.Ю. Столбиков, О.А. Никитин, В.Е. Черемазов  
Доклад на XI Забалахских чтениях  
Снежинск, 2012

## Введение

Конструкция импульсных рентгеновских установок по схеме обращенного катода, предложенная в свое время В.А. Цукерманом и др. [1, 2], является достаточно актуальной и в настоящее время. Это связано с гипотетической возможностью острой самофокусировки электронного пучка с энергией  $1\div 2$  МэВ на игольчатом аноде с размером фокуса менее 1 мм для рентгенографирования быстропротекающих процессов с поверхностной плотностью просвечиваемых объектов более  $100$  г/см [3].

Характерной конструктивной особенностью вакуумных диодов этой схемы является использование кольцевого или кольцеобразного катода. Однако, как выяснилось экспериментально, основным недостатком такой формы катода является возможность возбуждения в нем вихревых токов, приводящих к появлению в разрядном промежутке вакуумного диода продольной компоненты магнитного поля. Взаимодействие электронного пучка, ориентированного преимущественно радиально, с продольной компонентой магнитного поля должно приводить к магнитодинамическому эффекту: вращению электронного пучка вокруг анодной иглы. Учитывая свойство параллельных токов к взаимному притяжению, можно ожидать эволюцию электронных токов к их объединению и формированию в итоге одного или нескольких электронных пучков, вращающихся вокруг анодной иглы. Этот магнитодинамический эффект может служить причиной нестабильности в работе импульсных рентгеновских трубок как по интенсивности импульса излучения, так и блужданию направления излучения установки, что приводит к неравномерной засветке рентгеновских пленок в эксперименте.

В то же время получение корректной информации при обработке рентгеновской пленки в рамках многих методик требует равномерного или по крайней мере осесимметричного экспонирования пленки. К таким задачам относятся, например, исследование процесса распространения детонационных волн.

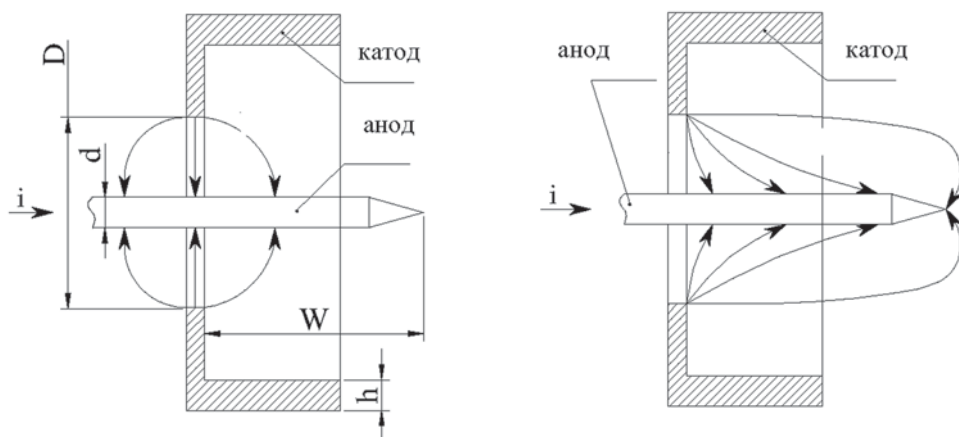
В докладе представлены работы по исследованию возможности стабилизации работы установки ИГУР-3,5 и поиску режима ее работы с равномерным или по крайней мере осесимметричным пространственным распределением интенсивности излучения.

## 1. Устройство установки ИГУР-3,5 и предложения по модернизации ее катод-анодной пары

Принцип действия импульсной рентгеновской трубки в варианте с обращенным катодом (рисунок 1) основан на эффекте вытеснения собственным магнитным полем установки электронных токов, идущих от катода к аноду [1, 2], за срез катода. В этом случае ускоренные в анод-катодном промежутке электроны приобретают компоненту скорости в осевом направлении, что, по мнению авторов этой идеи, должно было повысить интенсивность излучения установки.

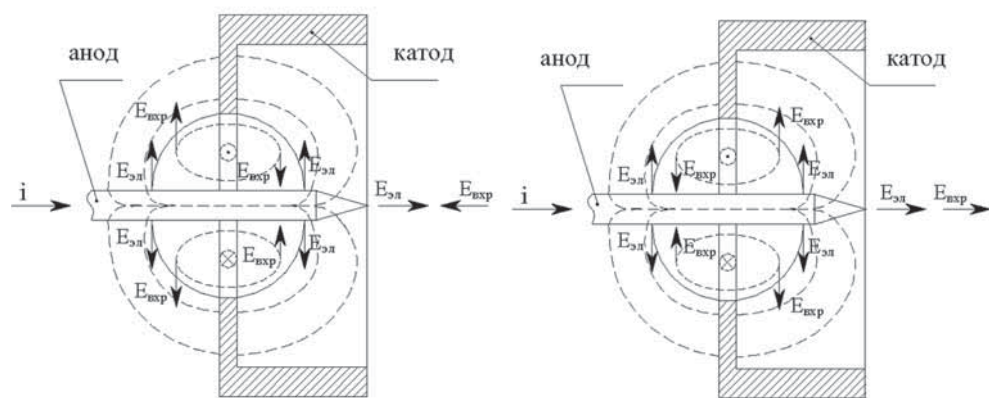
В дальнейшем, по мере совершенствования импульсных источников питания и повышения их рабочего напряжения и силы тока, было предположено [3], что при достаточно высокой напряженности магнитного поля (превосходящей некоторую критическую величину) у анодного токоведущего стержня электроны будут вытесняться вдоль него вплоть до заостренного конца анода, что и позволит получать источник излучения с размерами фокусного пятна менее 1 мм и с высокой интенсивностью излучения.

Процесс фокусировки (линчевания) электронного потока установки с учетом влияния



а) начальная стадия развития вакуумного пробоя, или стадия ограничения тока электронов отрицательным объемным зарядом

б) стадия вытеснения электронов за срез катода на лобовую часть анода собственным магнитным полем импульса тока

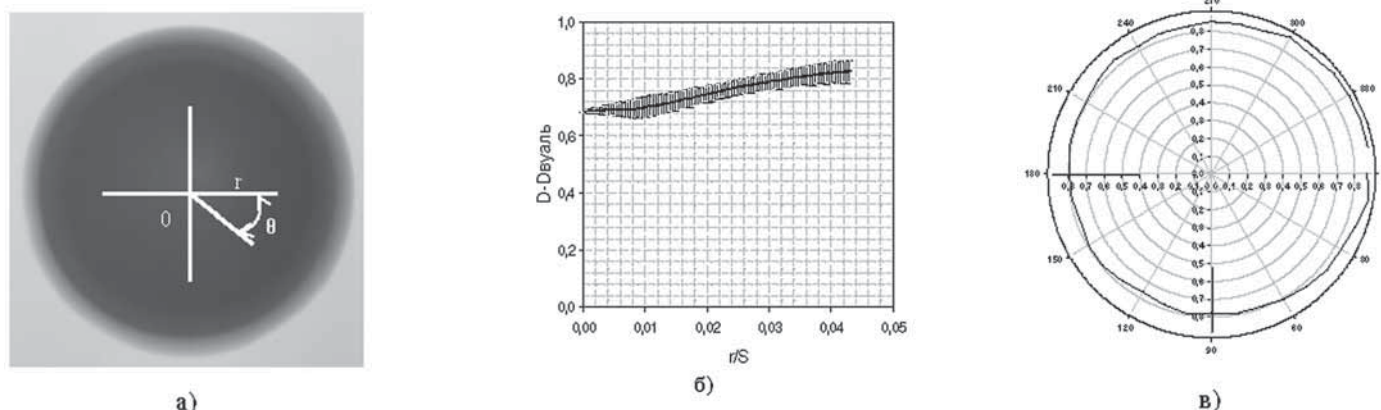


в) схематическое распределение электрических и магнитных полей в фазе нарастания тока

г) схематическое распределение электрических и магнитных полей в фазе уменьшения тока

$D$  – диаметр катодного отверстия,  $d$  – диаметр основания анодного стержня,  $h$  – толщина катода,  $W$  – вынос анода за срез катода,  $I$  – сила тока

Рис. 1. Схематическое изображение анод-катодной группы рентгеновской трубки в режиме обращенного катода



**Рис. 2. Рентгенограмма и профили почернения рентгеновской пленки в опыте с кольцевым катодом (анод цилиндрический Ta d=4 мм):**  
**r** – радиус по рентгенограмме, проведенный от центра изображения «окна» коллиматора;  
**S** – расстояние от источника излучения до системы регистрации.  
**а)** Изображение «окна» коллиматора. Масштаб изображения 1:4,2.  
**б)** Усредненный профиль почернения пленки и среднее квадратическое отклонение **D**.  
**в)** Полярная диаграмма плотности почернения для радиуса **r=100** мм.

вихревого электрического поля поясняется схематически на рисунке 1 (в и г). Основным процессом ускорения электронов, испускаемых с катода вследствие взрывной эмиссии при подаче на анод рабочего напряжения, происходит в области катодного среза. Магнитное поле в этой области с индукцией  $B(t)$  возбуждается током в аноде. Как следует из рис. 1 (в), в фазе нарастания импульса тока вихревое электрическое поле  $rot \vec{E} = -\frac{dB}{dt}$  в соответствии с правилом Ленца усиливает электростатическое поле в области перед катодным срезом и ослабляет его же в области за срезом, в том числе и на конце анодного стержня.

Следовательно, в начальной стадии основного процесса ускорения электронов происходит в области перед катодным срезом. В дальнейшем по мере увеличения тока и ослабления темпа его нарастания влияние вихревого электрического поля на перераспределение электрического поля установки уменьшается, усиливающееся же магнитное поле вытесняет потоки электронов в область за катодный срез.

После прохождения импульсом тока максимума происходит противоположный процесс перераспределения электрического поля. В области перед катодным срезом вихревое электрическое поле действует уже в

противоположном направлении к электростатическому, а в области за срезом – наоборот (см. рис. 1 г). В этой фазе убывания импульса тока происходит максимальная концентрация как электрического поля у конца анода, так и самих электронных потоков, так как происходит их вытеснение магнитным полем за срез катода.

Однако, как уже упоминалось выше, для установок с кольцевым или кольцеобразным катодом должна быть характерна магнитодинамическая неустойчивость, связанная с вращением электронного пучка вокруг анодной иглы и приводящая к неравномерности в пространственном распределении интенсивности излучения установки. Основной идеей по улучшению стабильности работы настоящей установки являлось использование вместо кольцевого или дискового катода установки, применяемого на ИГУР-3,5 катода с принудительным токораспределением по нескольким радиальным направлениям для увеличения собственной индуктивности.

В этом случае повышалась начальная напряженность электрического поля за счет его концентрации у электродных выступов и существенно увеличивалась собственная индуктивность катода для вихревых токов самоиндукции из-за увеличения пути их прохождения.

**2. Эксперименты по отработке катод-анодной пары**

В экспериментах с дисковым катодом в паре с цилиндрическим анодом (рис. 2) выявлялись отклонения изображения фокусного пятна установки (участок минимального  $D$ ). Этот факт вызван, на наш взгляд, упомянутой выше магнитно-динамической неустойчивостью. В дальнейшем использовались катоды с принудительным токораспределением.

По результатам опытов с модифицированным катодом была отмечена стабилизация режима работы установки. Однако пространственная неравномерность интенсивности излучения на периферии изображения оказалась неприемлемой по причине самоэкранировки анодной иглой излучения, исходящего с боковой ее поверхности. Для устранения этого явления была принята конструкция со сферической мишенью из материала с большим  $Z$  ( $W$ ) на державке из материала с малым атомным весом ( $Fe$ ).

Результаты экспериментов приведены в таблице, а диаграмма почернения пленки регистратора одного из типичных снимков приведена на рис. 3.

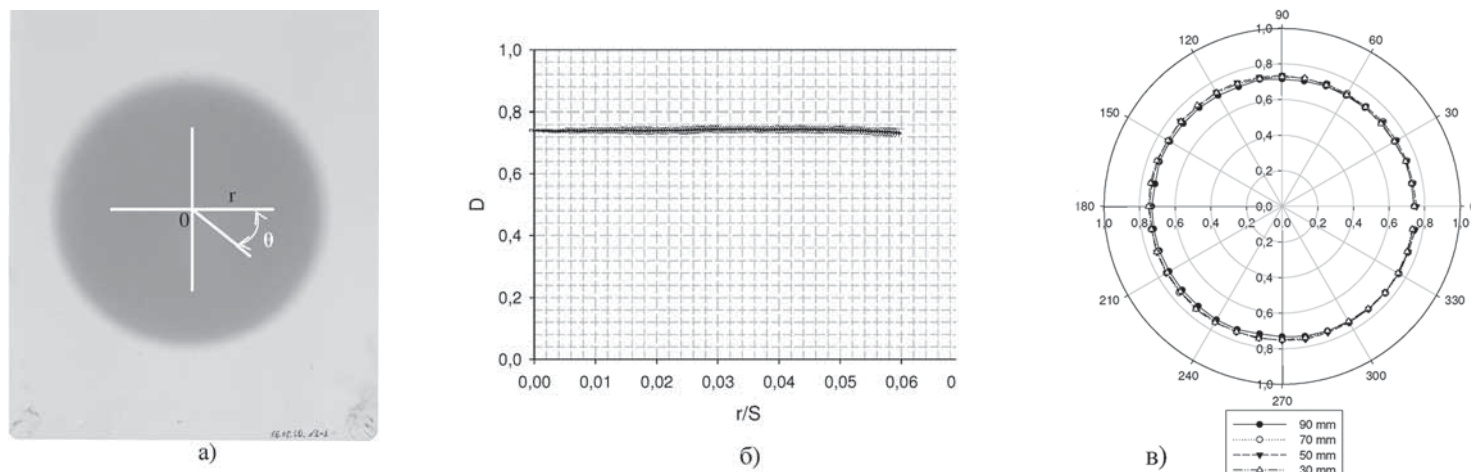
Как видно из таблицы, отклонения экстремума  $D$  от оси выявлено не было, кроме того, уровень флуктуации почернения  $\sigma_D < 0,016$ ,

**Фотометрические параметры рентгеновских пленок-регистраторов в опытах с катодом с принудительным токораспределением и сферическим анодом-мишенью из сплава ВНМ,  $d_a=4$  мм**

Дата опыта	Дистанция регистрации S, м	Вынос анода W, мм	Уклонение экстремума D(r) от оси φ, рад	Уровень D и флуктуации D ( $D-D_B^{**}$ ) ± $\sigma_D^{***}$
17.02.10 № 1-2	1,5	25	0	0,878±0,016
18.02.10 № 1-2*	3,0	25	0	1,079±0,008
12.04.10 № 1-1	1,5	22	0	0,59±0,001
09.06.10 № 1-1	1,5	13	0	0,76±0,013
16.06.10 № 1-1	1,5	22	0	0,744±0,009
29.06.10 № 1-1	1,5	1,0	0	0,744±0,009
30.06.10 № 1-2	1,5	0	0	0,83±0,013
01.07.10 № 1-1	1,5	35	0	0,845±0,012
28.09.10 № 1-1	1,5	-18	0	0,268±0,005
28.09.10 № 2-1	1,5	-35	0	0,171±0,008

\* – в опыте использовалась регистрирующая система с усиливающими экранами;  
 \*\* –  $D_B$  – уровень почернения вуали;  
 \*\*\* –  $\sigma_D$  – среднее квадратическое отклонение потемнения пленки.





**Рис. 3. Рентгенограмма и профили почернения рентгеновской пленки в опыте с катодом с принудительным токораспределением (анод – сферическая мишень диаметром 4 мм из сплава ВММ, державка – конический стержень из Fe)**  
 $r$  – радиус по рентгенограмме, проведенный от центра изображения «окна» коллиматора;  
 $S$  – расстояние от источника излучения до системы регистрации.  
 а) Рентгенограмма окна коллиматора, масштаб изображения 1:4.  
 б) Усредненный профиль почернения пленки и среднеквадратическое отклонение.  
 в) Полярная диаграмма плотности почернения для радиусов 90 мм, 70 мм, 50 мм и 30 мм.

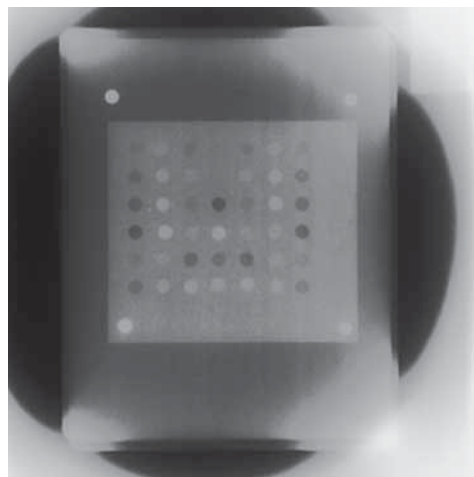
что, по имеющимся оценкам, позволяет провести определение плотности свинцового элемента толщиной 2 мм с погрешностью не более 70%.

Следует отметить, что режим работы установки в варианте с модифицированной катод-анодной парой, судя по эрозии стальной анодной державки, самофокусировки электронов на сферической мишени не обнаруживает. Державка на протяжении  $\approx 35$  мм от конца расколота вследствие электронного удара. Следовательно, в установке сохранился описанный ранее режим ее работы.

Экспериментальная проверка расчетных данных по точности определения свинцового элемента проводилась с помощью специально созданного эталона, типичная рентгенограмма представлена на рисунке 4. Номинальная толщина эталона 3 мм. Свинцовые диски создают распределение толщины в интервале 2–4 мм с шагом 0,25 мм.

Изображение дисков обрабатывались персонально. Далее данные по отсчетам сканера для дисков одной толщины усреднялись ( $N_h$ ). Зависимости  $N_h = N_h(h)$  для всех проведенных экспериментов приведены на рис. 5.

Как видно из графика, задача различимости толщины свинцового элемента, равного 10% от номинальной толщины, решена. Более того, шаг 0,25 мм составляет 8,33% от номинальной толщины эталона, равной 3 мм.



**Рис. 4. Рентгенограмма эксперимента 19.08.10**

**3. Результаты некоторых опытов, проведенных после модернизации катод-анодной пары**

В качестве примера использования ИГУР-3,5 для регистрации быстропротекающих процессов приведем изображения, полученные в двух типах опытов: опыте по регистрации детонационных волн во взрывчатом веществе и опыте по регистрации образования трещин в цилиндрических оболочках из высокоплотных материалов.

**3.1 Регистрация профиля детонационных волн (ДВ) во взрывчатом веществе**

Для примера и сравнения работы модифицированной катод-анодной пары и немодифицированной приводятся результаты двух опытов по регистрации сферических ДВ в образце ВВ (рис. 6). На экране монитора изображение фронта ДВ просматривается отчетливо, при печати же принтер, как правило, использует меньше цветов, чем монитор, поэтому изображение фронта ДВ обозначено пунктирной линией.

Простейший анализ показывает, что:

– фиксируемый скачок плотности (контраст) во фронте ДВ, оцененный по фотосрезам, в опыте № 1 составил  $\approx 2\%$ , в опыте № 2 он вырос до  $\approx 4\%$  (рис. 6 в);

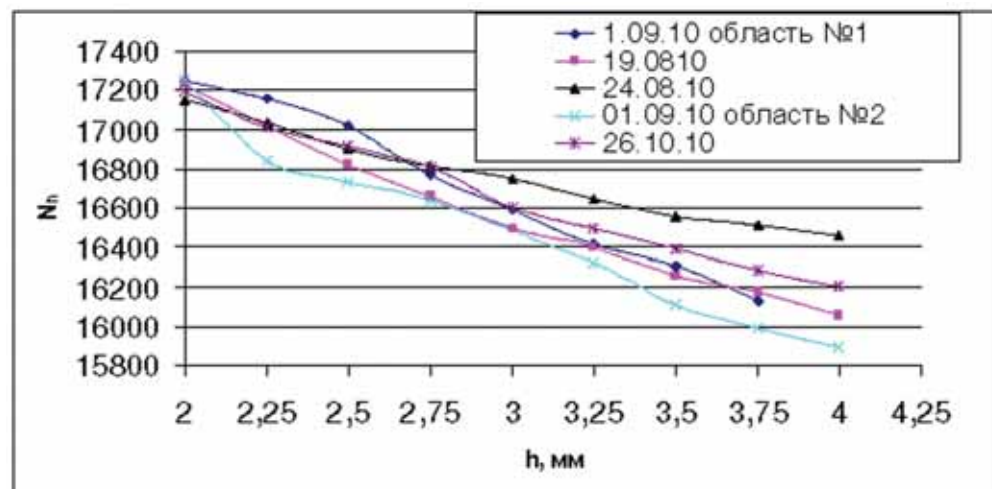
– неравномерность поля излучения установки, оцененная по фотосрезам по непродетонировавшему ДВ, составила  $\approx 14\%$  для опыта № 1 и  $\approx 1\%$  для опыта № 2 (рис. 6 г).

**3.2 Эксперименты с кольцами по исследованию динамической пластичности материалов высокой плотности**

Увеличение контраста изображения после модифицирования катод-анодной группы также хорошо иллюстрируют опыты с кольцами по исследованию пластичности материалов, целью которых являлось определение диаметра кольца, на котором начинается образование трещин в материале (рис. 7).

**3.3 Исследование процесса образования трещин в опытах с цилиндрическими образцами из высокоплотных материалов, нагружаемыми взрывом ВВ**

После проведения опытов с кольцами, показавшим предпочтительность использования модифицированной катод-анодной пары, с этой парой проводился опыт с цилиндрическим образцом высокоплотного материала, также с целью определения диаметра, на котором начинается образование трещин в материале.



**Рис. 5. Зависимости  $N_h = N_h(h)$  для проведенных экспериментов**

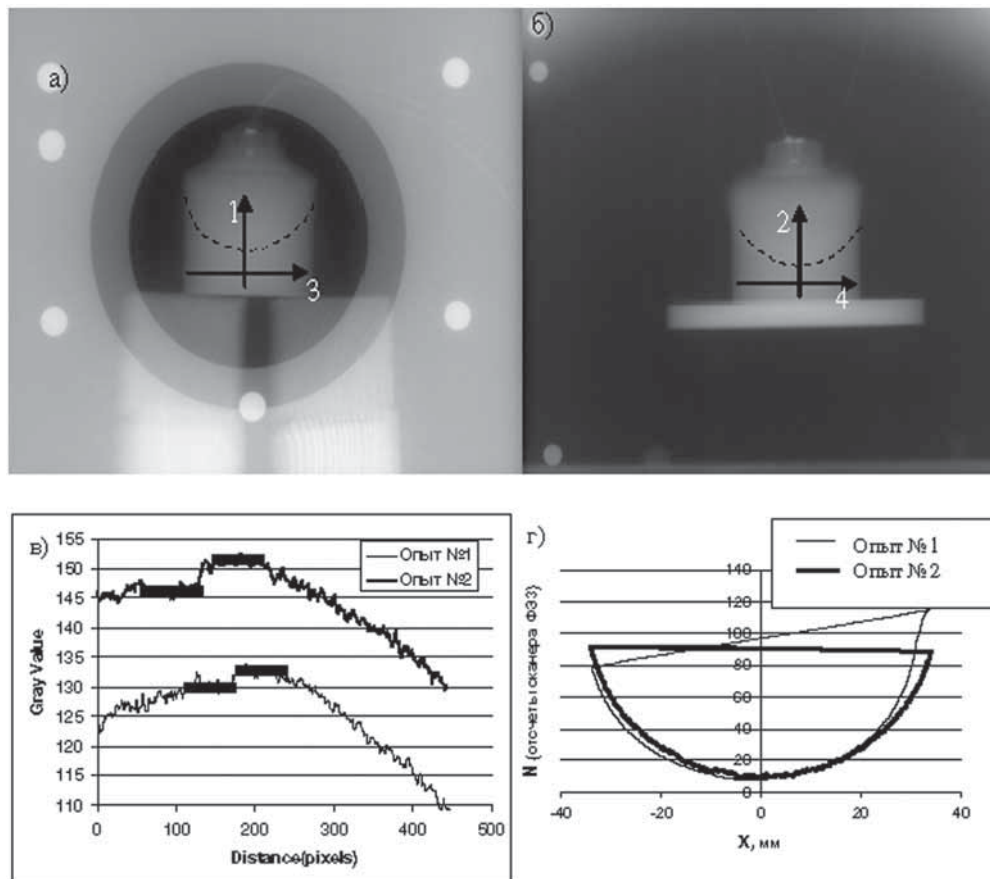


Рис. 6. Профили ДВ, зафиксированные на ИГУР-3,5:  
 а) рентгенограмма опыта № 1 (с немодифицированной катод-анодной парой);  
 б) рентгенограмма опыта № 2 (с модифицированной катод-анодной парой);  
 в) фотометрические срезы, взятые по направлениям 1 и 2 (поперек фронта ДВ);  
 г) фотометрические срезы, взятые в направлении 3 и 4 по непродетонировавшему ВВ).

Предварительный и рабочий снимки опыта по исследованию процесса образования трещин приведены на рисунке 8.

Диаметр начала образования трещин просматривается на рентгенограмме и оценивается после обработки рентгеновского изображения в 90,3 мм. Результат, полученный по методике, основанной на улавливании осколков цилиндрического образца, составляет 92,6 мм.

**Заключение**

Отработана катод-анодная пара установки ИГУР-3,5 с улучшенными характеристиками, достигнутыми за счет принудительного токораспределения и сферической мишени анода. Достигнуто пространственное распределение излучения установки с неравномерностью  $\sigma < 0,016$ . Экспериментально показано существенное улучшение разрешающей способности системы регистрации, а также показаны примеры использования ИГУР-3,5 для регистрации быстропротекающих процессов.

**Список использованных источников**

1. К.Ф. Зелинский, О.П.Печерский, В.А. Цукерман. Двухэлектродная импульсная рентгеновская трубка. Авторское свидетельство № 147262, «Бюллетень изобретений», № 10, 1962 г.
2. К.Ф. Зелинский, О.П.Печерский, В.А. Цукерман. Явления на аноде импульсной трубки.

Ж.Т.Ф. т. 38, № 9, стр. 1581-1588, 1968 г.  
 3. G. Cooperstein, J.R. Boller, R.J. Comosso, D.D. Hinshelwood, D. Moshen, P.F. Ottinger, J.W. Schumer, S.J. Stephanakis, S.B. Swanekamp, B.V. Weber and F.C. Young. Theoretical modeling and experimental characterization of a rod-pinch diode. Physics of Plasmas V8, № 10, 2001 г.

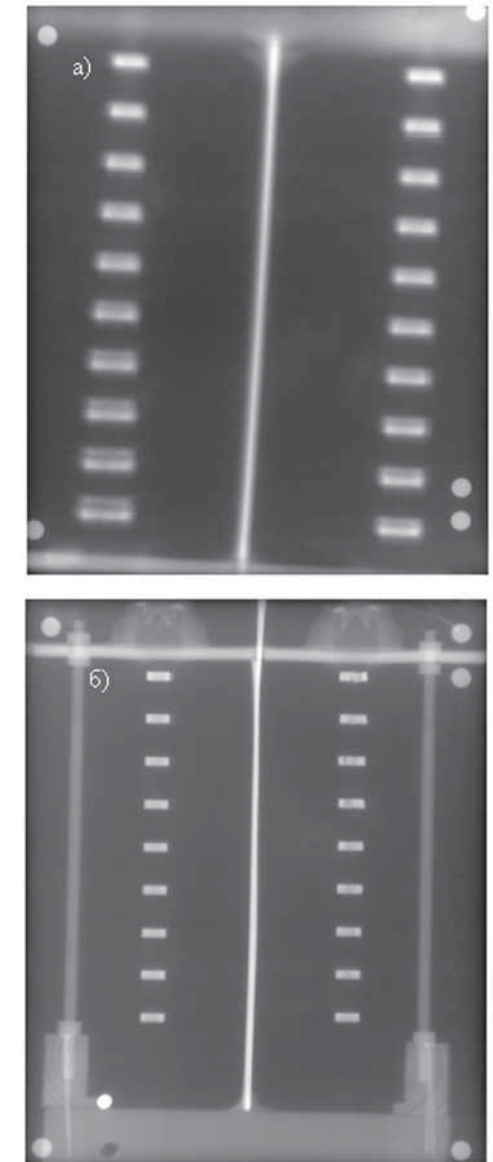
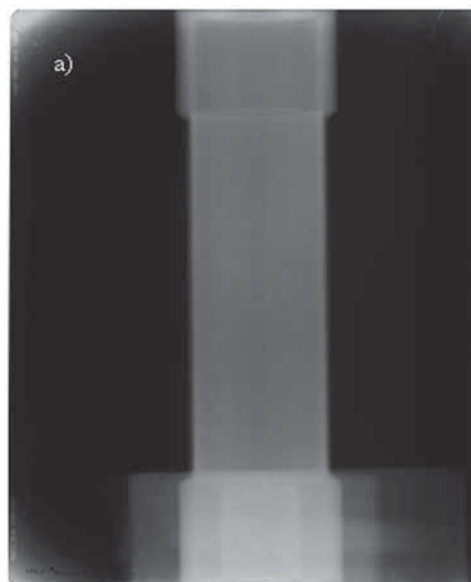


Рис. 7. Рентгенограммы экспериментов с кольцами по исследованию динамической пластичности материалов высокой плотности:  
 а) опыт № 1 (с немодифицированной катод-анодной парой);  
 б) опыт № 2 (с модифицированной катод-анодной парой).

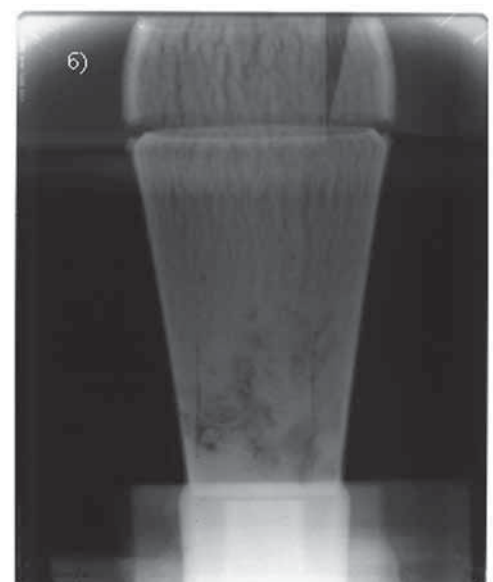


Рис. 8. Рентгенограммы экспериментов с цилиндрическими моделями по исследованию динамической пластичности материалов высокой плотности:  
 а) предварительная рентгенограмма;  
 б) рентгенограмма опыта.



# Концепция построения информационной системы управления территориями: от оптимизации к информатизации

**Управление территорией – задача, которая требует постоянного мониторинга и анализа данных о развитии объекта управления. Фактически это информационно-аналитическая задача, и от умения ее решать, или, другими словами, от умения организовать работу с информацией, зависит качество управления территорией. В современном мире для обеспечения решения такой задачи используют информационные системы, но часто внедрение информационной системы не приносит ожидаемого результата. Почему так происходит и как исправить ситуацию – предмет изучения в данной статье, подготовленной специалистами компании «Неолант».**

## Как сегодня осуществляется сбор и анализ информации в регионах

Рассмотрим типичную ситуацию. В отдельном департаменте регионального органа управления идет сбор данных, необходимых для обеспечения собственной деятельности. На основе этих данных готовятся информационно-аналитические документы и проекты решений. Когда для подготовки проекта решения необходимо собрать данные из нескольких департаментов, ситуация усложняется. Из-за того что сбор данных не согласован между департаментами, чаще всего оказывается, что:

- данные собираются в разных форматах;
- периодичность сбора (актуализации) данных различается;
- данные дублируются;
- данные противоречат друг другу.

В результате данные, собираемые в нескольких департаментах, невозможно объединить без потери достоверности или же из-за противоречивости первичных данных объективность объединенных данных вызывает сомнение.

Таким образом, когда данные, собранные в департаментах, сводятся на уровне ведомства, они только частично отражают реальную ситуацию. При объединении неточных данных из нескольких ведомств ошибка накапливается. А при переходе на уровень управления, когда используются неточные данные нескольких территорий, ошибка возрастает еще больше. Именно поэтому при современном экспоненциальном росте объемов информации и скорости работы руководители не имеют возможности увидеть реальную картину происходящего на подотчетной им территории. Чем выше уровень управления, чем дальше он от места сбора первичных данных, тем меньше у руководителя валидной информации для принятия решений.

Процесс объединения информации, хранимой в разных форматах, или попытки срочно собрать недостающие данные требуют дополнительных ресурсов (времени или людских). В результате получаем низкую скорость и сомнительное качество подготовки информации для принятия решений. И аналогично накоплению ошибки при сведении данных скорость и эф-

фективность подготовки консолидированных данных снижаются с ростом уровня управления, то есть по мере удаления от точки сбора первичных данных.

Таким образом, руководители регионов не получают целостную информацию о состоянии территории или получают ее с задержкой и им приходится принимать решения, опираясь на усеченные, искаженные и разрозненные данные. И это не может не влиять отрицательно на качество управления территорией.

Важно заметить, что описанная ситуация возникает независимо от того, внедрены информационные системы в департаментах или нет. Потому что часто даже в соседних департаментах используются несовместимые между собой информационные системы, интеграция которых изначально не предусматривалась, не говоря уже об информационных системах в разных ведомствах. Поэтому и возникают проблемы с подготовкой информации и, как следствие, снижается качество управления.

## Как преодолеть текущие ограничения мониторинга данных

Таким образом, для улучшения качества управления территориями с точки зрения информационно-аналитического подхода необходимо:

1. Обеспечить руководителей всех уровней валидной (достоверной) информацией для принятия решений.
2. Увеличить скорость подготовки документов для принятия решений.
3. Оптимизировать функции работы с информацией.

Для решения этих задач разработана концепция построения информационной системы управления территориями. Использование данной концепции при создании информационной системы дает возможность исполнительной власти организовать информационно-аналитическую деятельность таким образом, чтобы руководители, отвечающие за управление территориями, на всех уровнях видели реальную картину состояния управляемых территорий и получили возможность повысить качество управления и оперативность принятия решений.

В рамках концепции при информатизации процесса управления территориями эксперты считают обязательной следующей последовательностью действий:

1. Выстроить информационно-аналитический процесс на всех уровнях управления территорией.
2. Регламентировать исполняемые функции.
3. Определить унифицированные требования к информационной системе, обеспечивающей информационно-аналитическую деятельность.
4. Разработать информационную систему на базе сформулированных унифицированных требований к системе.

## Выстраивание информационно-аналитического процесса



Прежде чем приступить к разработке информационной системы, необходимо привести в порядок информационно-аналитические процессы на всех уровнях власти: в поселениях, муниципалитетах, районах, региональных администрациях. Для этого в первую очередь нужно систематизировать исполняемые функции.

Информационно-аналитический процесс состоит из потока информации и функций работы с ней.

Функции работы с информацией – это фактически те функции, которые осуществляют органы государственного управления, а именно:

- сбор данных;
- учет данных;
- мониторинг и хранение данных;
- аналитическая обработка полученных данных;
- подготовка информационно-аналитических документов на базе результатов аналитической обработки данных;
- формирование проектов управленческих решений на базе информационно-аналитических документов.



Каждая функция – это действие, выполняемое определенными исполнителями и в указанные сроки или с периодичностью, с заданными исходными данными, имеющее результат и получателя результата.

Для организации информационного процесса необходимо определить полный перечень выполняемых функций. Возможно, задача составления перечня выполняемых функций уже была решена на уровне департамента при внедрении локальной информационной системы, но для эффективного управления территориями необходимо организовать сквозной, то есть объединяющий департаменты, поселения, муниципалитеты, районы, информационно-аналитический процесс на всех уровнях управления. Обычно данные собираются на нижнем уровне управления, далее в зависимости от

исполняемых функций к ним получают доступ с более высоких уровней и каким-либо образом обрабатывают. Результат этой обработки передается на следующий уровень, на котором, например, данные консолидируются с данными из других департаментов и используются для подготовки проекта решения. Таким образом, функции, которые осуществляются на каждом уровне, зависят от результатов осуществляемых функций на более низких или соседних уровнях. Поэтому для улучшения качества управления информационно-аналитический процесс должен быть построен целиком, по всем уровням управления, чтобы информация протекала снизу вверх в форме данных и сверху вниз в форме запросов без разрывов, застоев и тупиков.

Для выстраивания сквозного информационно-аналитического процесса на всех уровнях управления эксперты предлагают:

1. Систематизировать исполняемые на всех уровнях функции.
2. Описать информационно-аналитический процесс от целей к функциям.
3. Оптимизировать процесс, опираясь на результаты выполнения пунктов 1 и 2.

### Систематизация функций

Для систематизации функций в первую очередь необходимо сформировать список всех функций, которые осуществляются ведомствами, органами региональной исполнительной власти, муниципалитетами:

- какие данные и кто собирает;
- как и кем учитываются данные;
- как и кем осуществляется мониторинг данных и их хранение;
- какая аналитическая обработка полученных данных и кем производится;
- какие и кем готовятся информационно-аналитические документы на базе результатов аналитической обработки данных;
- как и кем формируются проекты управленческих решений на базе информационно-аналитических документов.

Затем полученный список функций нужно структурировать и сгруппировать по согласованным параметрам.

Структуризация и группировка функций поможет организовать упорядоченный учет и выявить функции:

- которые дублируются и соприкасаются между различными ведомствами;
- для исполнения которых недостаточно данных;
- у результатов которых нет получателей.

Таким образом, будет получено описание информационно-аналитического процесса с точки зрения того, какие функции кто выполняет и кто является потребителем их результатов.

### Описание процесса от целей к функциям



Для построения эффективной информационно-аналитической системы необходимо также провести изучение процесса в обратном

направлении – от конечных целей или задач, в данном случае от выработки управленческих решений, к осуществляемым функциям. Провести эти работы необходимо для того, чтобы синхронизировать перечень документов, которые готовятся в соответствии с устоявшейся практикой, и перечень документов, которые востребованы лицами, принимающими решения. Это необходимо также и для последующей автоматизации процесса.

Информационные задачи, реализуемые в рамках информационной системы, должны идти от целей и задач, которые решаются при управлении территориями. Если речь идет о подготовке управленческого решения, то любая информационная задача должна строиться из того:

- какова тема управленческого решения;
  - кому из лиц, принимающих решения, информация должна быть предоставлена.
- И в соответствии с этим определяются:
- состав информации;
  - форма представления информации;
  - участники процесса подготовки информации;
  - функции участников процесса.

Таким образом, после изучения процесса от целей будет получено описание процесса с точки зрения того, какие существуют темы управленческих решений и какие функции работы с информацией необходимо выполнить, чтобы эти управленческие решения подготовить. Затем также необходимо выполнить структуризацию и группировку полученных функций по согласованным на первом этапе параметрам.

В итоге после проведения двух этапов будут подготовлены два перечня функций. В одном – все уже выполняемые функции и во втором – функции, необходимые для выполнения поставленных задач. Результатом объединения этих перечней будет необходимый и достаточный для качественного решения задач управления территориями перечень функций.

### Регламентация исполняемых функций

После того как определен необходимый и достаточный набор функций для качественного исполнения деятельности, которая осуществляется органами власти, требуется провести обязательную регламентацию выполняемых функций. В рамках регламентации должно быть проведено описание функций путем установления таких норм, правил и характеристик исполнения функций, следование которым обеспечивает требуемое качество управления территориями.

После завершения описания и регламентации исполняемых функций или фактически наведения порядка в информационно-аналитическом процессе можно переходить к задачам автоматизации этого процесса.

### Определение унифицированных требований к информационной системе

Решение задачи по автоматизации любого сложного процесса правильно начинать с определения требований к системе, которую нужно получить. Это позволяет создать унифицированную информационную систему. Поэтому, прежде чем приступать непосредственно к разработке информационной системы предлагается определить унифицированные требования к комплексной информационной системе информационно-аналитического обеспечения деятельности по управлению территориями.

Для формирования унифицированных требований необходимо проанализировать функции и состав информации, которые необходимы для исполнения этих функций. Важно проанализировать данные по всем подразделениям исполнительной власти: в региональных администрациях и соответствующих ведомствах и комитетах. В процессе анализа информации должны быть определены:

- тематические блоки в управлении развитием территории;
- направления и показатели мониторинга;
- состав пространственной информации;
- способы аналитической обработки;
- способы представления результатов обработки.

На базе результатов этой работы можно сформировать унифицированные требования к комплексной информационной системе информационно-аналитического обеспечения деятельности.



### Разработка информационной системы на базе унифицированных требований

Далее, исходя из полученных требований, можно разработать информационную систему, которая объединит процессы сбора, обработки и последующей подготовки информационно-аналитических решений в целостный процесс и станет системой обеспечения качества информационно-аналитической деятельности органов государственной власти.

В дальнейшем информационную систему, разработанную на примере одного или нескольких регионов, можно использовать в качестве шаблона или прототипа, который накладывается на информационные процессы в других регионах. Например, если в регионе процессы уже структурированы и формализованы, то имеющийся прототип настраивается в соответствии с процессами данного региона. Если в регионе процессы недостаточно формализованы, то использование прототипа позволит быстро и эффективно структурировать и автоматизировать региональные задачи.

Придерживаясь при реализации информационной системы предлагаемой концепции, органы государственного управления получат доступ к целостным данным, оптимизируют процесс управления и в результате смогут повысить качество управления и оперативность принятия решений.

Таким образом, говоря о цели создания и внедрения информационной системы для регионов, специалисты предлагают сосредоточиться на повышении качества и оперативности управленческих решений, которые должны приниматься на уровне губернаторов региона, региональных органов исполнительной власти и муниципальных образований. В соответствии с данной концепцией разрабатывается унифицированная информационная система информационно-аналитического обеспечения деятельности (система ИАОД), которая может стать стандартом информационной системы для обеспечения качества управления территориями.



## Concept of Territory Management Information System: from Optimization to Informatization

Territory management is the task that requires continuous monitoring and analysis of data on development of the object of management. In fact, it is an information-analysis challenge, and on the ability to face it or in other words on the ability to arrange information operation the quality of territory management fully depends. In order to tackle this task the contemporary world recurses to information systems, still integration thereof most often does not yield the desired outcome. Why it actually happens and what ways there exist to improve the situation constitutes the subject matter of this article prepared by experts of the NEOLANT company.

### Ways of collecting and analyzing data in the regions

Let's consider a typical situation. One of the departments within a regional regulatory body is collecting data required to maintain its own activity. Based on these data information-analysis documents and draft decisions are prepared. However the situation gets even more complicated when a draft decision requires data from several departments. Since data collection is not coordinated between the departments it most often turns out that:

- data are collected in different formats;
- data collection (updating) frequency varies;
- data are duplicated;
- data contradict each another.

As a result data collected at several departments cannot be integrated without losing reliability thereof, or otherwise due to inconsistency of primary data objectivity of integrated data spawns doubts.

Thus, when data collected at the departmental level are consolidated at the agency level they only partially reflect the actual situation. When integrating inaccurate data from several governmental agencies the error still accumulates. Whereas when shifting to a new level of management inaccurate data accumulated from several territories aggravate the error. That is precisely why the present-day exponential growth of the information content and the operating speed leave senior managers no opportunity to see the entire gamut on the reportable territory. The higher the management level is, the farther it is from the primary data collection site, consequently the less valid information the senior manager holds that is sufficient to make a decision.

The process of integrating information stored in various formats or attempts to urgently collect missing data require additional resources (both time and human resources). As a result we get low-speed and questionable-quality generation of information to make a decision. And similar to error accumulation during data consolidation the speed and efficiency of preparing consolidated data decrease as the level of management goes up, i.e. as the distance from the primary data collection point increases.

Thus, regional authorities fail to obtain comprehensive information on the state of territories or obtain delayed data, so they have to make

decisions based on truncated, distorted or disembodied data. And it cannot but have an adverse effect on the quality of territory management.

It should be noted that the situation described may arise irrespective of whether information systems are implemented at departments or not. The reason is that even neighbouring departments use incompatible information systems integration of which was not initially stipulated, let alone information systems employed at various governmental agencies. Therefore problems arise in terms of information preparation, consequently management quality decreases.

### Ways to overcome current restrictions on data monitoring

Thus, in order to improve the quality of territory management in terms of information-analysis approach it is required to:

- 1) provide managers of all levels with valid (reliable) information to make decisions;
- 2) increase the speed of document preparation to make decisions;
- 3) optimize functions of information operation.

In order to tackle these tasks the concept of generating a territory management information system was devised. Utilization of this concept while generating an information system gives executive authorities an opportunity to arrange information-analysis activity in such a way that senior managers responsible for territory management could at all levels see the actual state of managed territories and had a chance to increase management quality and decision-making efficiency.

Within the concept framework during territory management informatization experts deem the following sequence of actions to be compulsory:

1. Establishment of an information-analysis process at all levels of territory management;
2. Regulation of functions accomplished;
3. Determination of unified requirements as to the information system which ensures information-analysis activity;
4. Development of an information system based on defined unified system requirements.

### Alignment of an information-analysis process



Before embarking on development of an information system it is essential to set information-analysis processes in order at all levels of authority: settlements, municipalities, regions,

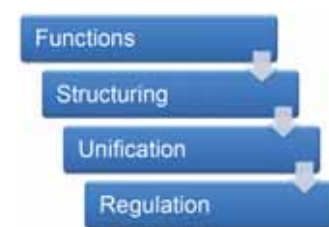
regional administrations. For that end in the first place it is required to systematize the functions accomplished.

An information-analysis process comprises an information stream and functions of operating thereof.

Functions of information operation are actually the following functions exercised by state administration bodies:

- data collection;
- data accounting;
- data monitoring and storage;
- analytical processing of accumulated data;
- preparation of information-analysis documents based on analytical processing results;
- generation of draft managerial decisions based on information-analysis documents.

Each function represents an action accomplished by certain agents within the specified timeframe or intermittently characterized by the set basic data which brings about results and has a result recipient.



In order to arrange an information process it is essential to specify a complete list of functions accomplished. Probably the task of compiling a list of functions has already been tackled at the departmental level during integration of a local information system, still for the purpose of efficient territory management it is required to ensure a through information-analysis process, i.e. which would unite departments, settlements, municipalities, regions at all levels of management. Data are usually collected at the lowest level of management, further on those at higher levels depending on their functions get access to them and process them somehow. Processing results are passed over to the next level at which, for instance, data are consolidated with data from other departments and utilized to prepare a draft decision. Thus, functions accomplished at every level depend on the functions accomplished at lower or neighbouring levels. Therefore in order to improve quality of management an information-analytical process shall be organized en bloc, namely at all levels of management, so that information would flow upwards in the form of data and downwards in the form of requests without abruptness, stagnation or dead ends.

In order to organize a through information-analytical process at all levels of management experts propose the following:

- 1) to systematize functions accomplished at all levels;
- 2) to describe an information-analytical process from its goals to functions;
- 3) to optimize a process based on results of fulfilling clauses 1 and 2.

### Systemization of functions

In order to systematize functions in the first place it is required to form a list of all functions accomplished by governmental agencies, regional executive authorities, municipalities:

- which data are subject to collection and who ensures collection;
- how and who ensures data accounting;
- how and who ensures data monitoring and storage;
- what type of analytical processing is performed and who performs it;
- what type of information-analysis documents are prepared based on analytical processing results and who prepares them;
- how and who forms draft managerial decisions based on information-analysis documents.

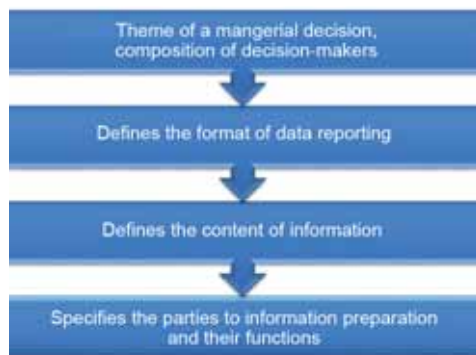
Then the given list of functions shall be structured and grouped according to the agreed parameters.

Structuring and grouping of functions shall help to establish orderly accounting and to identify functions:

- that duplicate each other or overlap between various agencies;
- accomplishment of which is impossible due to insufficiency of data;
- the results of which have no recipients.

Thus, a description of an information-analysis process will be obtained from the standpoint of who fulfills what type of functions and who acts as a consumer of the results.

### Process description from goals to functions



In order to generate an efficient information-analysis system it is also essential to examine the process in the reverse order – from ultimate goals or tasks, in this case, from development of managerial decisions to the functions accomplished. These activities shall be carried out for the purpose of synchronizing a list of documents drawn up in accordance with the established practice and a list of documents requested by decision makers. This is also requisite for further process automation. Information tasks fulfilled within the framework of an information system shall stem from goals and tasks defined during territory management. Referring to the development of a managerial decision any information task shall repose on the following:

- what the theme of a managerial decision is;
- who of the decision makers shall be provided with information.

Accordingly the following shall be defined:

- information content;
- form of information presentation;
- participants of the process of information preparation;
- functions of the participants of the process.

Thus, upon examination of the process from goals the description of the process would be obtained from the standpoint of what themes of

managerial decisions exist and what functions of information operation shall be fulfilled so as to prepare these managerial decisions. Then it is also required to structure and group the functions obtained in accordance with the parameters agreed upon at the first stage.

Eventually upon completion of two stages two lists of functions will be compiled. The first list will contain all the functions that are being accomplished and the second one will comprise functions required to fulfill the set goals. Unification of these lists will result in a list of functions required and sufficient to ensure high-quality territory management.

### Regulation of functions accomplished

As soon as the set of functions required and sufficient to enable high-quality performance of activities carried out by public authorities is defined, it is essential to ensure compulsory regulation of the functions accomplished. As part of the regulation procedure functions shall be described through establishment of such norms, rules and characteristics concerning the exercise of functions compliance with which shall guarantee the required quality of territory management.

Upon completion of description and regulatory activities as to the functions accomplished or actual ordering of an information-analysis process one may pass over to process automation.

### Determination of unified requirements as to the information system

The task of automating any complex process correctly shall start with determination of requirements for the system which should be obtained. This allows to set up a unified information system. Therefore prior to actually starting the development of an information system it is proposed to set unified requirements as to the complex information system of information-analysis maintenance of territory management.

In order to formulate unified requirements it is essential to analyze the functions and content of information required to fulfill these functions. It is important to analyze data at all subdivisions of executive power: at regional administrations and relevant agencies or committees. In the process of information analysis the following issues shall be defined:

- thematic blocks in territory development management;
- monitoring trends and indices;
- content of spatial information;
- means of analytical processing;
- means of presenting processing results.

Based on the results of this work one may formulate unified requirements as to the complex information system of information-analysis maintenance of territory management.



### Development of an information system based on unified requirements

Proceeding further on from the set requirements it is deemed feasible to develop an information system that would unite processes of collection, processing and subsequent preparation of information-analysis decisions into an integrated process and would become a system of maintaining the quality of information-analysis activities carried out by public authorities.

From then on an information system worked out through the example of one or several regions may be used as a template or prototype which shall be applied to information processes in other regions. For instance, if processes in the region are already structured and formalized the existing prototype shall be adapted to the processes in the given region. If processes are not sufficiently formalized the use of a prototype will allow to quickly and efficiently structure and automate regional tasks.

Sticking to a proposed concept during implementation of an information system public authorities will get access to comprehensive data, optimize the management process and consequently enhance the quality of management and decision-making operability.

Thus, speaking about the goal of generating and integrating an information system for the regions experts propose to focus on promotion of quality and promptness of managerial decisions to be taken at the level of regional governors, regional executive authorities and municipal units. Pursuant to this concept a unified information system of information-analysis maintenance of activities (IAMA system) is being developed which may become an information system standard used to ensure quality of territory management.



# Опыт моделирования процессов линейной сварки трением на гибридных вычислительных системах

**Р. К. Газизов, А. В. Юлдашев,  
А. М. Ямилова**  
**Уфимский государственный  
авиационный технический университет  
(УГАТУ)**

Видимо, в мире параллельных вычислений никогда не наступит спокойствие. За последнее десятилетие мировые рейтинги заполнили кластерные системы, потеснив все альтернативные архитектуры. Параллельность вышла за пределы суперкомпьютерного мира и материализовалась явным образом в персональных компьютерах. Стандартные процессоры (CPU)x86 уже не удивляют плановым ростом количества ядер. Последние годы ознаменовались новым веянием: для ускорения вычислений общего назначения начали использоваться графические процессоры (GPU).

Как же повлияли последние архитектурные новшества на скорость решения реальных задач? Это мы попытались выяснить при сравнительном тестировании эффективности решения задачи, типичной для моделирования процесса линейной сварки трением, в MPI-версии программного модуля ANSYS Mechanical на двух вычислительных системах, представляющих различные поколения. В тестировании были задействованы узлы вычислительного кластера УГАТУ на базе процессоров IntelXeonClovertown и гибридный вычислительный сервер, в состав которого входят как более новые процессоры IntelXeonNehalem, так и графические процессоры NVIDIA TeslaFermi.

Надо отдать должное производителям прикладного программного обеспечения, которые, выступая в роли догоняющих, старательно производят адаптацию своих программных комплексов к новым вычислительным системам. Известный пакет конечно-элементного анализа ANSYS одним из первых обзавелся поддержкой расчетов на GPU NVIDIA. Такая возможность появилась в модуле термомеханических расчетов (ANSYS Mechanical) для си-



**Рис. 1. Блисковые конструкции, в производстве которых востребована технология ЛСТ**

стем с общей памятью начиная с 13-й версии. С выходом 14-й версии также стало возможным вести расчеты с использованием GPU в модуле для систем с распределенной памятью, правда, пока задействовать можно не более одного графического процессора на вычислительном узле. В ходе нашего тестирования были использованы обе версии ANSYS, что позволило оценить не только преимущества новой вычислительной платформы, но и положительный эффект ускорения компьютерного моделирования при переходе на новую версию пакета.

Линейная сварка трением (ЛСТ) в последнее время становится ключевой технологией формирования сварных соединений из трудносвариваемых материалов. Данная технология успешно применяется в авиационной промышленности при производстве газотурбинных двигателей для «наращивания» деталей вместо их обработки из заготовки, а также в ремонтном производстве.

В России работы по внедрению технологии ЛСТ для создания авиационных двигателей нового поколения в настоящее время проводятся на ОАО «Уфимское моторостроительное производственное объединение» (УМПО). Определение оптимальных режимов проведения сварки в зависимости от геометрии свариваемых поверхностей и используемых материалов требует предварительного математического и компьютерного моделирования. Соответствующие исследования ведутся сотрудниками УМПО и УГАТУ по проекту «Создание технологий и промышленного производства узлов и лопаток газотурбинных двигателей с облегченными высокопрочными конструкциями для авиационных двигателей новых поколений»<sup>1</sup> с привлечением высокопроизводительных вычислительных ресурсов университета.

Сварка трением – это разновидность сварки давлением, при которой нагрев осуществляется трением, вызванным перемещением друг относительно друга соединяемых частей свариваемого изделия. Благодаря тому что в процессе трения тепловыделение локализовано в тонких приповерхностных слоях металла, т. е. именно там, где это и требуется, такая сварка обладает рядом важных достоинств.

Высокая производительность – полный цикл сварки длится всего от одной до нескольких секунд.

Малое потребление энергии – в процессе сварки материал не достигает точки плавления, и при этом прогревается только

небольшая область вблизи плоскости контакта свариваемых частей.

Высокое качество сварного шва и стабильность качества сварных соединений.

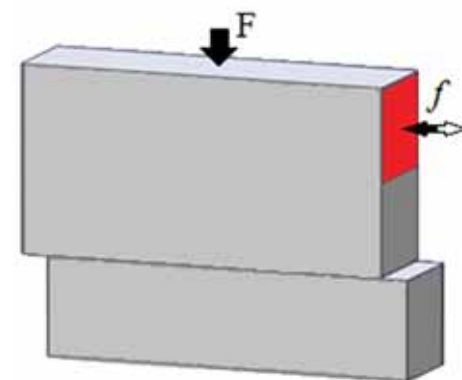
Возможность сварки металлов и сплавов в различных сочетаниях и снижение требований к предварительной подготовке свариваемых поверхностей.

Гигиеничность процесса (отсутствие ультрафиолетового излучения, вредных газовых выделений, горячих брызг металла и т. д.) и др.

В процессе ЛСТ тепло выделяется при возвратно-поступательном движении свариваемых частей с частотой порядка 60 Гц и амплитудой до 3 мм, сжимаемых для образования плотного контакта. Выделяют четыре стадии процесса ЛСТ. На начальной стадии свариваемые изделия приводятся в контакт под давлением и начинается их относительное движение, сопровождаемое износом шероховатостей. В переходной стадии происходит нагрев и упругое деформирование изделий (упругая стадия). При достижении предела текучести наступает равновесная стадия, характеризующаяся осевым укорачиванием. Происходит вытеснение пластичного материала из зоны контакта (рис. 2). На завершающей стадии механическое движение завершается и к образцам прикладывается дополнительное давление (проковка) для образования сварного соединения.

Необходимо отметить, что компьютерное моделирование только упругой стадии процесса ЛСТ, которая на практике длится около 0,2 секунды, занимает в последовательном режиме около недели. Поэтому говорить о расчете полной модели без привлечения параллельных вычислений не приходится.

Высокая вычислительная сложность моделирования определяется следующими ключевыми особенностями рассматриваемой задачи. Большие напряжения в области контакта приводят к интенсивному тепловыделению и резким перепадам температур, вследствие чего при моделировании требуется мелкая сетка. Выполняется связанный расчет прочностной и тепловой задач. Быстротечность процесса обуславливает необходимость выбора маленького ( $10^{-4} \dots 10^{-5}$  с) шага по времени для сходимости расчетных методов. Также при решении учитываются зависимости механических и теплофизических свойств материала от температуры (физическая нелинейность) и изменение нагрузок (перемещение, давление) с течением времени (конструктивная нелинейность).



**Рис. 3. Схематическая геометрическая модель**



**Рис. 2. Образцы, сваренные с помощью ЛСТ**

Характеристики вычислительных узлов, задействованных для тестирования

Вычислительные узлы, год установки	Пиковая производительность узла	Количество задействованных узлов	Процессоры	Ускорители	Оперативная память
IBM HS21, комм. среда InfiniBand 10 Gbps, 2007 г.	74,56 GFlops	до 64	2x IntelXeon 5345 2,33GHz	нет	8-64 GB, DDRII 667 MHz, ECC, FB-DIMM
IBM iDataPlex dx360 M3, 2011 г.	140,64 GFlops (2xCPU) + 1 030 GFlops (2xGPU) = 1 170,64 GFlops	1	2x IntelXeon 5670 2,93 GHz	2xGPU NVIDIA Tesla M2050	48 GB, DDR3 1 333 MHz, ECC

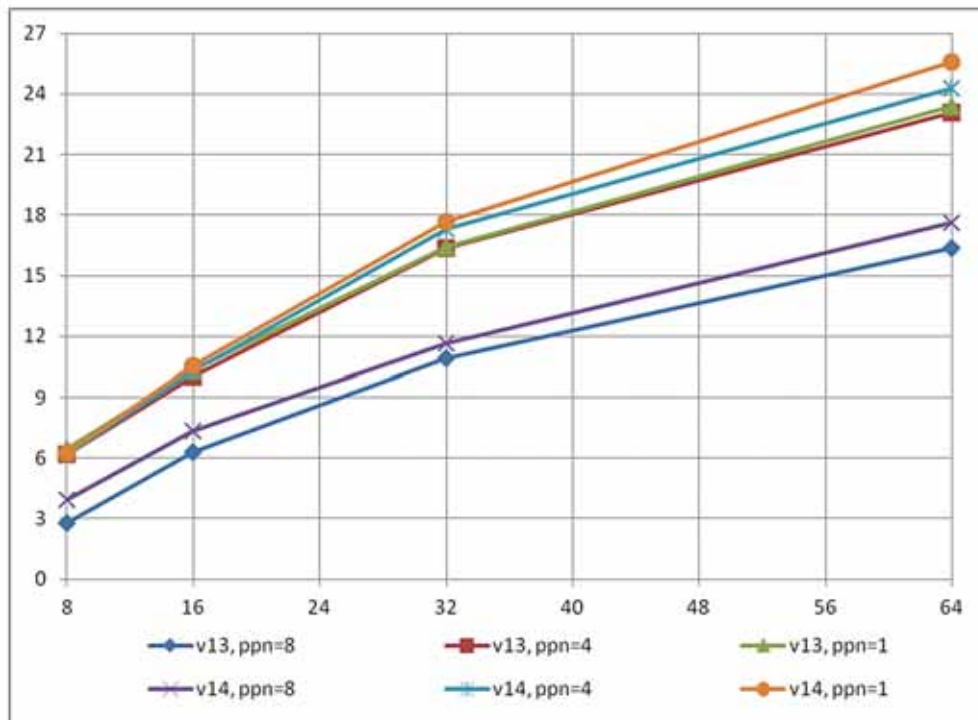


Рис. 4. Ускорение в зависимости от числа ядер при расчете на узлах HS21 относительно времени расчета на одном ядре узла HS21 в ANSYS v13

Итак, в ходе нашего сравнительного тестирования было исследовано время решения на различных вычислительных платформах (табл. 1) термостойкости задачи моделирования упругой стадии ЛСТ стальных образцов до возникновения пластических деформаций средствами MPI-версии программного модуля ANSYS Mechanical. Геометрическая модель состоит из двух образцов прямоугольной формы, расположенных один на другом (рис. 3). Модель содержит 18 432 элемента средним размером 0,55 мм. На каждом временном шаге методом SPARSE решается система около 300 тысяч уравнений.

Для начала рассмотрим ускорение при параллельном решении нашей задачи в MPI-версии ANSYS v13 и v14 на вычислительных узлах IBM HS21 (рис. 4). Ускорение приведено относительно времени последовательного расчета на 1 ядре в ANSYS v13. Максимальное ускорение, достигнутое на 64 ядрах, составило около 25. Дальнейшее увеличение числа ядер не производилось в силу ограниченного числа лицензий. Видно, что при фиксированном числе параллельных процессоров и соответственно вычислительных ядер расчет идет быстрее, если на узле задействовать как можно меньше вычислительных ядер, таким образом минимизируя конкуренцию процессов за общие ресурсы. Также наблюдается выигрыш от использования новой, 14-й версии ANSYS: в среднем расчеты идут на 5% быстрее.

А теперь перейдем к результатам тестирования на гибридном узле с графическими процессорами (рис. 5). Ускорение рассмотрено относительно той же величины, что и ранее. За-

метно преимущество от использования более современных процессоров Intel: при расчете на 8 ядрах внутри одного узла производительность вычислений возрастает более чем в 2,5 раза. Максимальное ускорение силами CPU получено при расчете на 12 ядрах в новой версии ANSYS (v14, CPU на рис. 5). Здесь использование 14-й версии дает существенный (до 1,5 раз) выигрыш относительно предыдущей. В придачу к более производительному счету на

CPU MPI-версия программного модуля ANSYS Mechanical v14 позволяет задействовать для ускорения вычислений на узле один графический процессор. В результате удается достичь рекордного показателя производительности с использованием одного нового вычислительного узла (v14, CPU+GPU на рис. 5): время расчета задачи на 8 ядрах CPU и одном GPU эквивалентно времени расчета на 32 ядрах 8 узлов HS21 вычислительного кластера.

Более того, не стоит забывать, что второй графический процессор гибридного узла остался незадействованным. В связи с этим при необходимости проведения массовых расчетов представляется рациональным запускать на узле 2 задачи, скажем, на 4 ядрах CPU и одном GPU каждую. Соответствующие эксперименты (v14, CPU+GPU (2x) на рис. 5) показали, что совместный запуск незначительно замедляет выполнение каждой из задач, тем самым позволяя практически удвоить производительность массовых вычислений. Фактически получается, что для рассмотренного класса задач новая гибридная система по реальной производительности может заменить уже не 8, а около 12 «обычных» узлов!

В целом можно констатировать, что минимальное время решения термостойкости задачи, типичной для моделирования процесса линейной сварки трением, достигнуто на множестве узлов вычислительного кластера на базе процессоров IntelXeonClovertown. Тем не менее гибридный сервер показал впечатляющую производительность. А это значит, что современные программно-аппаратные решения позволяют вывести моделирование на новый качественный уровень.

<sup>1</sup> Проект реализуется в рамках постановления № 218 правительства РФ от 09.04.2010 г. «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства».

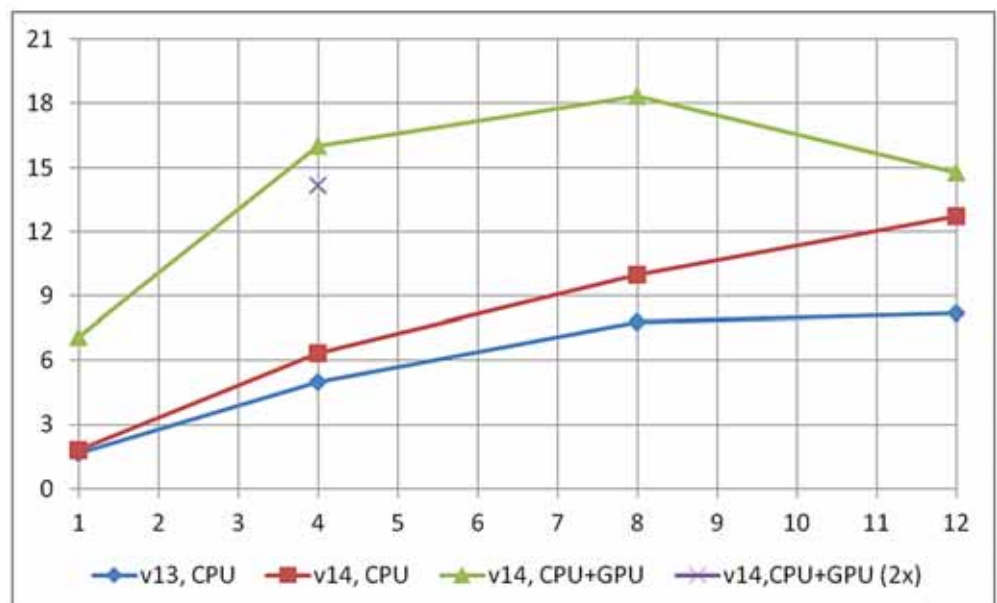


Рис. 5. Ускорение в зависимости от числа ядер при расчете на узле iDataPlex dx360 M3 относительно времени расчета на одном ядре узла HS21 в ANSYS v13



# Simulation of linear friction welding processes in hybrid computing system

**R. Gazizov, A. Yuldashev, A. Yamileva**  
Ufa State Aviation Technical University

Apparently the world of parallel computations will never halt to repose. Throughout the past decade world ratings have taken over cluster systems thus pressing any alternative architectures aside. Concurrency exceeded the bounds of the supercomputer world and explicitly materialized itself in personal computers. Standard processors (CPU)x86 no longer surprise us with a systemically growing number of processor cores. Recent years have been marked by a new trend: in order to accelerate general-purpose computations graphic processors (GPU) came into use.

So how did architecture innovations affect the speed of tackling actual tasks? We tried to figure it out while benchmark testing aimed at assessing the efficiency of solving tasks that may typically occur in modeling a linear friction welding process using MPI version of ANSYS Mechanical software module on two computing systems of different generations. Testing implied the use of USATU computational cluster nodes based on Intel Xeon Clovertown processors and a hybrid computational server consisting of both new Intel Xeon Nehalem processors and NVIDIA Tesla Fermi graphic processors.

Credit shall be given to producers of application software that are constantly trying to catch up by diligently adapting their software solutions to new computing systems. A well-known ANSYS FEA package was one of the first to ensure calculation backup at GPU NVIDIA. Such an opportunity appeared in a thermostrength calculation module (ANSYS Mechanical) for shared-memory systems starting with version 13. When version 14 appeared it also became possible to carry out calculations using GPU in a



**Fig. 2. Samples welded through LFW**



**Fig. 1. Blisk structures produced using LFW technology**

module for distributed-memory systems, however still no more than one graphic processor can be used on a computational node. While testing we used both ANSYS versions which allowed us to estimate not only strong points of a new computing platform, but also that positive effect of accelerated computer modeling after shifting to a new package version.

Linear friction welding (LFW) has lately become a key technology of forming welded joints from difficult-to-weld materials. This technology is successfully employed in aircraft engineering while manufacturing gas-turbine engines for «building up» details instead of processing them from workpiece, as well as in maintenance operation.

In Russia integration of LFW technology for developing a new generation of aircraft engines is effected by UMPO JSC (the Ufa Engine Industrial Association). Identification of optimal welding modes depending on the geometry of welding surfaces and utilized materials requires preliminary mathematical and computer simulation. Relevant studies are now being conducted by UMPO and USATU specialists within the project called «Development of Technologies and Establishment of Commercial Production of Nodes and Vanes of Gas-Turbine Engines with Light-Weight High-Strength Structures for Next-Generation Aircraft Engines»<sup>1</sup> using high-performance computational resources provided by the university.

Friction welding is a type of pressure welding when heating is ensured through friction caused by motion of connectable parts of a weldable product sliding against each other. Since heat emission during friction is localized in thin near surface layers of metal, i.e. where it is exactly required, such welding has a number of undeniable advantages.

High performance – a complete welding cycle lasts from one to several seconds.

Low energy consumption – the material does not reach its melting point while welding, and only a small area around the contact plane of welded parts warms up.

High quality of weld and consistency of welded joints.

An opportunity to weld metals and alloys in various combinations and reduction of require-

ments as to preliminary preparation of welding surfaces.

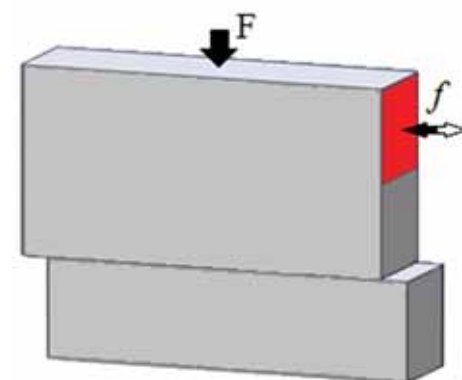
Absolutely hygienic process (lack of ultraviolet emission, noxious gas emissions, weld spatters, etc.) and things like this.

During LFW heat release occurs as welded parts that are pressed to each other to ensure firm contact are moving back and forth against each other at approximately 60 Hz and with amplitude of up to 3mm. LFW process is divided into 4 stages. At the primary stage weldable products are brought into contact under pressure, and their relative movement starts accompanied by roughness deterioration. The transition stage is characterized by such processes as heating and product elastic deformation (elastic stage). As the flow limit is reached the balance stage takes place which is characterized by axial contraction. Plastic material is expelled from the contact area (Fig. 2). At the final stage mechanical motion ceases and additional pressure is applied to samples (postweld upsetting) in order to form a welded joint.

It is important to note that computer modeling of LFW elastic stage only which in actual practice lasts around 0.2 seconds takes in a serial mode around a week. Therefore a comprehensive model calculation without parallel computations is deemed unreasonable.

High computational complexity of simulation is determined by the following key features of the task under consideration. High pressures in the contact area cause intensive heat release and rapid temperature change, consequently a fine grid is required in modeling. Coherent calculation is accomplished for strength and heat tasks. The process short duration stipulates the need to opt for a short step ( $10^{-4} \dots 10^{-5}$  sec) for convergence of calculation methods. In task solving account is also taken of the dependence of mechanical and thermophysical properties of materials on temperature (physical nonlinearity) and load variation (relocation, pressure) over time (constructional nonlinearity).

Thus, in the course of our parallel testing solution time was studied at various computing platforms (table 1) which is required to tackle a



**Fig. 3. A schematic geometrical model**

Characteristics of computational nodes employed for testing

Computational nodes, installation year	Node peak performance	Number of nodes involved	Processors	Accelerators	RAM
IBM HS21, com. envir. InfiniBand 10 Gbps, 2007.	74,56 GFlops	up to 64	2x Intel Xeon 5345 2,33GHz	no	8-64 GB, DDRII 667 MHz, ECC, FB-DIMM
IBM iDataPlex dx360 M3, 2011.	140,64 GFlops (2xCPU) + 1 030 GFlops (2xGPU) = 1 170,64 GFlops	1	2x IntelXeon 5670 2,93 GHz	2x GPU NVIDIA Tesla M2050	48 GB, DDR3 1 333 MHz, ECC

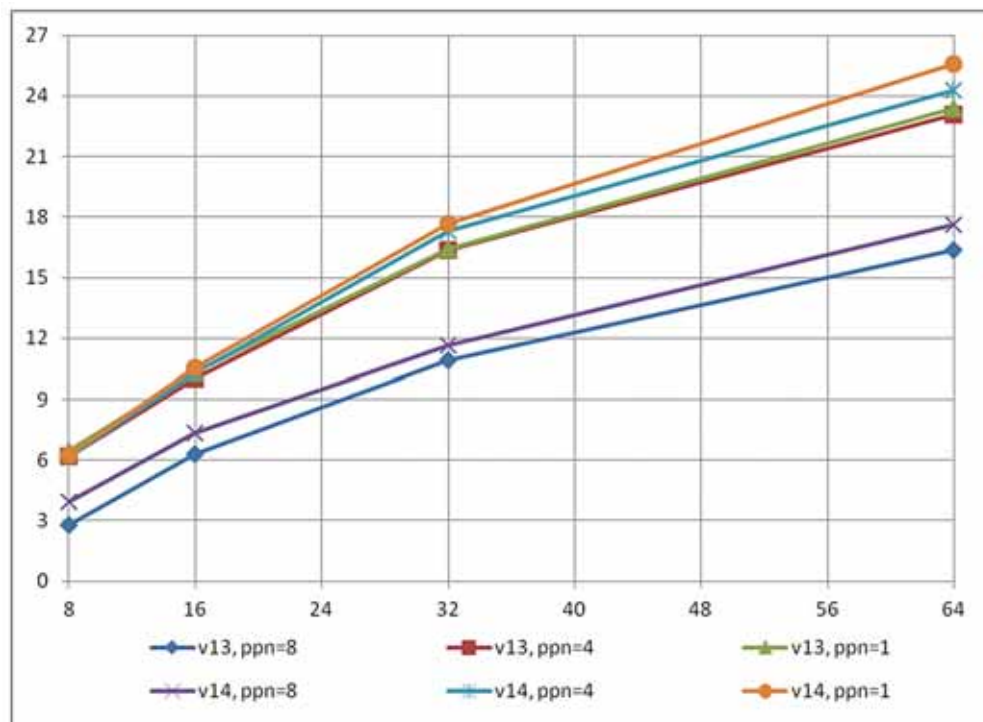


Fig. 4. Acceleration depending on the number of cores when calculation is accomplished on HS21 nodes in relation to calculation time on one core of HS21 node in ANSYS v 13

thermostrength task of modeling LFW elastic stage for steel samples prior to plastic deformations using ANSYS Mechanical software module of MPI version.

A geometrical model consists of two rectangular samples located one upon the other (Fig. 3). The model contains 18 432 elements with average size of 0.55 mm per element. Through SPARSE method around 300 thousand equations are solved at each time step.

To begin with let us consider acceleration in parallel task solving using ANSYS v13 and v14 of MPI version on IBM HS21 computational nodes (Fig. 4). Acceleration is shown in relation to time of consecutive calculation for one core in ANSYS v13. Maximum acceleration achieved with 64 cores amounted to around 25. No further increase in the number of cores followed due to a limited number of licenses. It is evident that with a fixed number of concurrent processes and consequently computational cores calculation is accomplished much faster, if as few computational cores in a node are used as possible which minimizes competition of processes for common resources. Besides, the use of new ANSYS v 14 is undoubtedly advantageous: calculation speed has on average increased by 5%.

And now let us pass over to the results of testing conducted on a hybrid node with graphic processors (Fig. 5). Acceleration is viewed here in relation to the same value as before. Evident are the benefits of using more advanced Intel processors: calculation being accomplished on 8 cores calculation performance inside one node increases more than 2.5 times. Maximum acceleration

by CPU efforts is achieved when calculation is accomplished on 8 cores using a new ANSYS version (v14, CPU, Fig. 5). Application of version 14 here ensures a significant (up to 1.5 times) advantage as compared to the previous one. In addition to a more productive CPU computation ANSYS Mechanical v 14 software module of MPI version gives an opportunity to use one graphic processor to accelerate calculations in a node.

Consequently a record performance parameter is reached using one new computational node (v14, CPU+GPU, Fig. 5): time required for a task computation on 8 CPU cores and one GPU is equivalent to calculation time on 32 cores of 8 HS21 nodes of a computational cluster.

Moreover one should not forget that the second graphic processor in a hybrid node has been left untapped. Thus when the need arises to accomplish large-scale calculations it is deemed reasonable to launch 2 tasks per node, say one on 4 CPU cores and one on a GPU core. Relevant experiments (v14, CPU+GPU (2x), Fig. 5) have shown that parallel launch slightly slackens the accomplishment of each task thus allowing to almost double large-scale calculation performance.

It actually turns out that for the class of tasks considered the hybrid system in terms of its performance may replace not 8 but already 12 'ordinary' nodes!

Upon the whole it may be stated that minimum time required for tackling a thermostrength task typical of LFW simulation is achieved at numerous nodes of a computational cluster based on Intel Xeon Clovertown processors. Still a hybrid server has demonstrated an impressive performance. And that means that advanced hardware/software solutions give a chance to bring simulation to a totally new level.

<sup>1</sup> The project is implemented under Resolution No.218 of the Government of the Russian Federation of April 9, 2010 «On Measures of State Support of Development of Cooperation of Russian Higher Educational Institutions and Organizations Implementing Complex Projects Creating Hi-Tech Production Facilities».

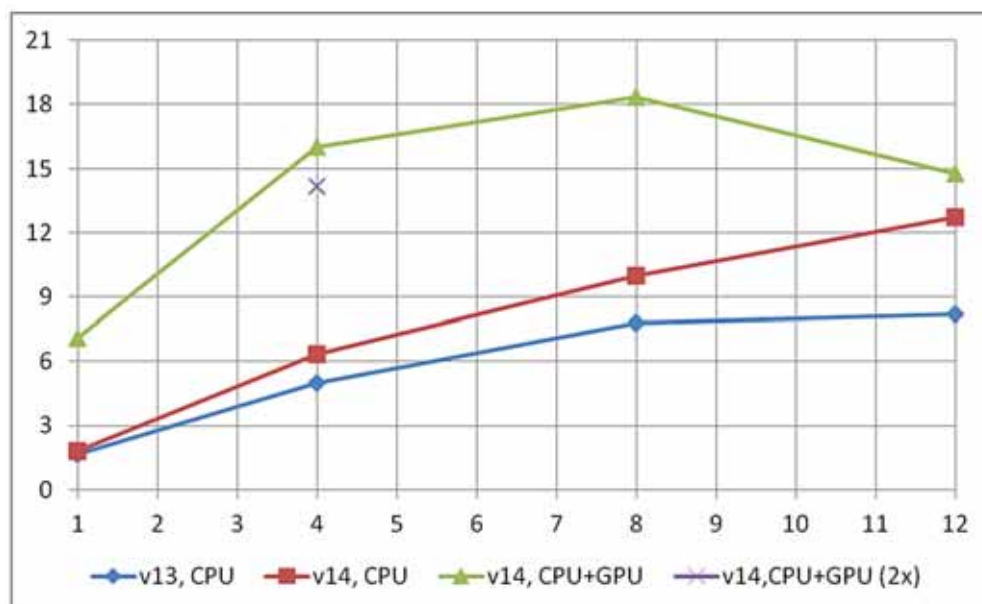
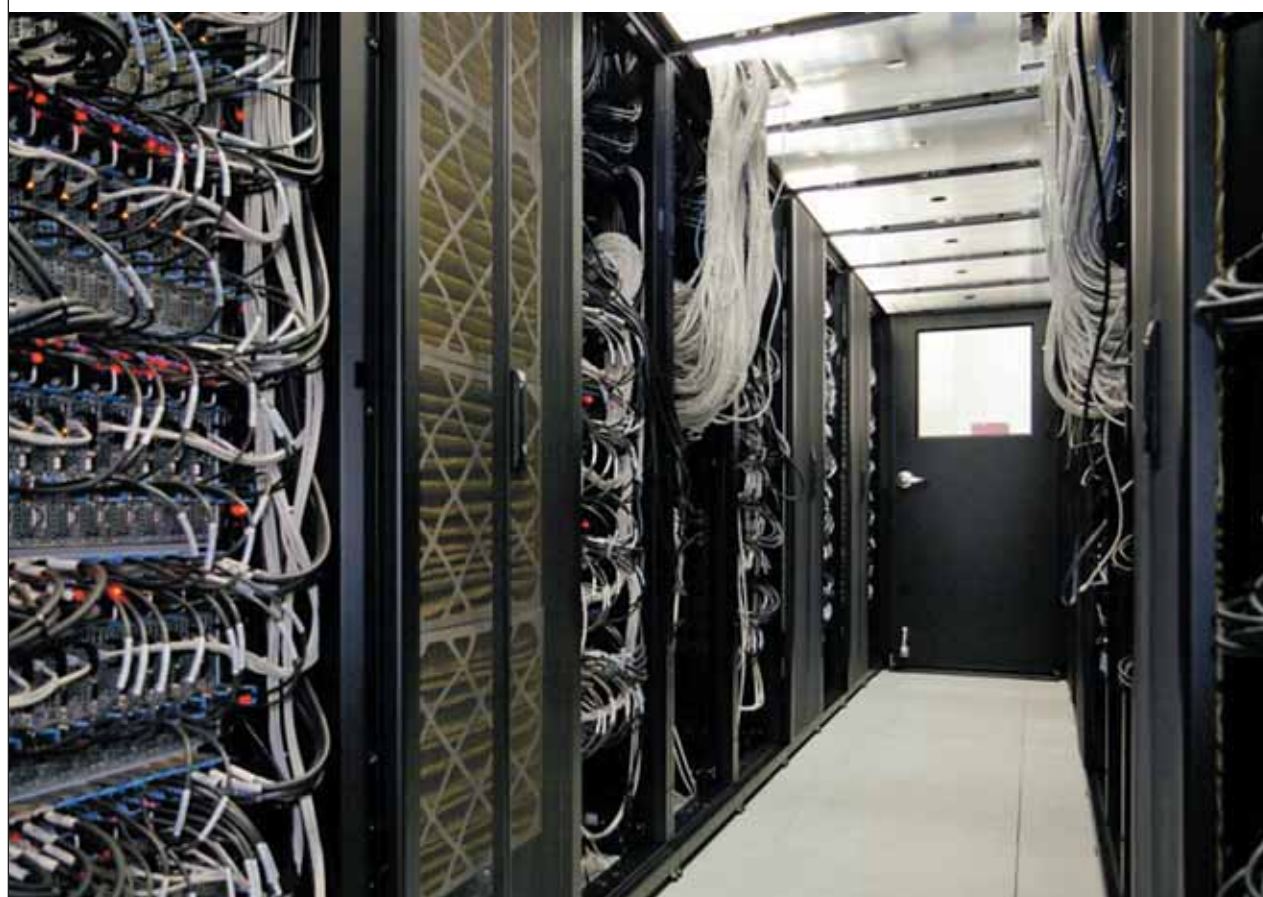


Fig. 5. Acceleration depending on the number of cores when calculation is accomplished on iDataPlex dx360 M3 node in relation to calculation time on one core of HS21 node in ANSYS v 13





## Применение CFD кодов CFD Codes Application

## Проблемы верификации и применения CFD-кодов

Всеобщий интерес для атомщиков на сегодняшний день представляют вопросы верификации кодов, что подтвердил двухдневный научно-технический семинар «Проблемы верификации и применения CFD-кодов», организованный ОКБМ Африкантов. В работе семинара приняли участие более 120 человек из 20 весьма уважаемых предприятий отрасли.

Предваряя выступления участников, член программного комитета, заместитель начальника Центра поддержки проектирования и информационных технологий АЭС ОАО «ВНИИАЭС» **С. Л. Соловьев** отметил:

– Очень символично, что первая конференция по промышленному использованию CFD-кодов проходит на нижегородской земле. В мае 2003 года в Сарове впервые в нашей стране рассматривались перспективы развития многомерных и многофазных расчетов в атомной отрасли. Тогда полмиллиона контрольных объемов считались запредельной величиной. Сейчас мы выходим на миллиарды и ставим вопросы об аттестации и промышленном применении кодов.

– Крайне важной и актуальной задачей является разработка отечественных CFD-кодов, к которой приступили многие наши предприятия, и здесь очень важна концентрация усилий как разработчиков, так и конструкторов, специалистов в области экспериментальных работ. Надо понимать, что без верификации кодов



отечественное программное обеспечение просто не состоится, – подчеркнул и заместитель начальника математического отделения Института теоретической и математической физики РЯЦ-ВНИИЭФ **А. Н. Гребенников**.

Журнал «Атомный проект», выступивший в качестве официального информационного партнера данного семинара, предлагает вниманию читателей некоторые выступления, посвященные верификации кодов.

## Problems of CFD Codes Verification and Application

**Issues of codes verification are of great interest for all atomic specialists now. The fact was revealed once again by the seminar «Problems of CFD Codes Verification and Application» held by OKBM Afrikantov. 120 representatives of the top companies of the industry participated in the seminar.**

**S. Solovyov**, a member of the program committee and Deputy Head of the Center for Design and NPP IT Support, VNIIAES JSC, said at the opening ceremony of the seminar:

– It is symbolic that the first conference on CFD codes industrial application was organized in the Nizhny Novgorod region. It was the first time when application of multivariate and multiphase calculations in the nuclear industry was considered in Sarov in May 2003. That time half a million of sample volumes was believed to be an incredible figure. Now we have almost billions of volumes, thus issues of attestation and industrial application of the codes have been placed on the agenda.

– Development of Russia-made CFD codes is an urgent problem that is being solved by

many companies. Joining efforts of developers, designers and specialists in experimental works is of vital importance. It is clear that there will be no Russian software without verification of codes, said **A.N. Grebennikov**, Deputy Head of Mathematical Department of the Institute of Theoretical and Mathematical Physics of VNIIAEF.

The «Atomic Project», an official information partner of the seminar, publishes some presentations on the codes verification issue.





## Проблемы аттестации кодов CFD-класса

**С. Л. Соловьев**  
**Центр поддержки проектирования**  
**и информационных технологий АЭС**  
**ОАО «ВНИИАЭС»**

Уже в начале 2000-х было ясно, что промышленное применение CFD-кодов не за горами, и надо думать о том, как мы их будем верифицировать и аттестовывать. Несмотря на то, что в те годы еще не у многих проектировщиков и конструкторов был на слуху сам термин «CFD-коды», не говоря уже о доверии к ним, сейчас в техническом задании большинства проектов четко ставится задача обоснования тех или иных параметров с помощью CFD-кодов.

Если же мы посмотрим Федеральную целевую программу «Ядерные технологии нового поколения», то там в планах работ до 2015 года планируется массовая аттестация CFD-кодов.

Как известно, гораздо раньше, чем у нас, CFD-коды стартовали на Западе, поэтому опыт их применения для самых разнообразных задач атомной энергетики от обоснования технической надежности ТВС до пассивных систем безопасности уже широко используется.

Мы знаем, что у нас есть проблемы с аттестацией одномерных теплогидравлических кодов. А сейчас речь идет уже о трехмерных кодах. Как же мы будем их аттестовывать? Что будет являться критерием истины? Что именно мы будем аттестовывать? Например, если перед нами стоит задача оптимизации проточных частей, нужны ли нам верификационные расчеты по полям скоростей или достаточно по полям давлений, отсутствия вихрей и т. д.? Ведь когда мы аттестовываем одномерный теплогидравлический код, мы же не аттестовываем отдельно замыкающиеся отношения, отдельно – карту режимов, то есть, мы практически не трогаем внутреннюю начинку.

Еще один вопрос для обсуждения. Начинается массовая верификация кодов. Но если мы не выработаем общих подходов ее проведения, несомненно, будет задействован

административный ресурс, и тогда аттестация может пойти совсем в другом направлении. Поэтому очень важно как можно быстрее определить некие правила, которым все будут подчиняться.

Итак, что же является критерием оценки? Лет пять назад у меня был примерно такой ход мыслей: CFD-коды по сравнению с одномерными ближе к аналитичности. Надо ли нам аттестовывать аналитическое решение? Да вроде бы нет. Стоит лишь пригласить специалиста, попросить его посмотреть, корректна ли численная схема, сходится ли она, и этого достаточно. На самом деле в современных коммерческих, да и в наших кодах достаточно много моделей турбулентности, самых разнообразных, разных подходов, что создает достаточно большое поле для «подкрутки» результатов. Поэтому все-таки строгие процедуры аттестации должны быть выполнены. При этом важно, чтобы в том случае, когда аттестовывается код на одну и ту же область применения, он был верифицирован на примерно похожих базах данных. Опыт верификации теплогидравлических кодов зачастую показывает, что область применения одна и та же, а база для аттестации берется разная, из-за чего возникает много дополнительных вопросов. Формализация оценки нужна, чтобы не было ситуации, когда одни так считают погрешность, другие – по-другому, ориентируясь каждый на свой вкус.

Если лет 12 назад, как уже говорили, у нас было сплошное недоверие к CFD-кодам, то сейчас наблюдается некая их переоценка: что с помощью CFD-расчетов можно обеспечить точность практически любых результатов не меньше чем в эксперименте. Это утверждение не справедливо. В зависимости от условий расчета результаты применения кодов могут очень отличаться друг от друга. В мировой практике ставится задача объединения прецизионных кодов: CFD, термомеханических, физико-химических и других. Чтобы нам не отстать – а у нас к 2020 году ставятся похожие задачи – надо сейчас уже думать о том,

как мы будем верифицировать такие сложные комплексы.

Недавно мы с коллегами побывали в Коре на международной конференции по CFD-расчетам. И я взял оттуда работу немецких специалистов, которые проводили расчет с помощью CFX-кода такой задачи, когда в трубу подаются жидкости с разными температурами. Ее решение очень важно с точки зрения термоциклики. Задачу решали с разными приближениями, комбинируя разные подходы. Результаты расчетов квалифицированных пользователей существенно менялись в зависимости от применяемых подходов.

Что же вообще такое «точность расчетов»? Что мы хотим получить? Необходимо заранее определиться, какие параметры в данном расчете для нас являются действительно важными. Либо это термоциклика, и тогда важны частота и термомодуль, либо это скорость роста какого-то параметра, максимальное его значение. Такие подходы успешно применяются за рубежом. И нам надо их использовать уже в своей практике, верифицируя отечественные коды.

В принципе существующие требования к верификационному отчету, изданные еще в 2000 году, при соответствующей доработке являются вполне подходящим фундаментом для выработки специфических требований к аттестации CFD-кодов. Тем не менее нужно использовать из них не все подряд, а, в частности, выработать собственные критерии оценки точности.

Поскольку верификационные эксперименты сейчас бурно развиваются, очень важно создать отраслевой банк оценочных экспериментальных данных и аналитических тестов, чтобы мы могли аттестовывать свои коды на максимально широкой базе. А так как в рамках ФЦП предусмотрены достаточно большие средства на проведение экспериментов, надо совместными усилиями добиться дооборудования их необходимыми средствами измерения, чтобы получить полноценный верификационный продукт.

## Challenges in CFD-codes attestation

**S. Solovyov**  
**Center for Design and NPP IT Support,**  
**VNIIAES**

In the early 2000s it was quite clear that CFD codes would be used in industry pretty soon, and it was necessary to decide how they must be attested and verified. Despite the fact that not many developers and designers knew a lot about CFD codes, to say nothing of their trust in them, codes have got popular, and now many indicators are calculated with the use of CFD codes in performance specifications of projects.

Federal Program «Nuclear Technologies of a New generation» envisages mass attestation of CFD codes by 2015.

In the west CFD codes were implemented much earlier than in this country, that is why the experience in their application in the nuclear industry is widely used.

There are problems with attestation of one-dimensional thermohydraulic codes. But now we look at the application of three-dimensional codes. How should they be attested? What is the standard of truth? What exactly are we going to attest? For example, if we need to improve liquid ends, shall we need to make verification

calculations of velocity fields or, maybe, only calculations of pressure fields and irrotationality will be sufficient? That fact is that when we attest a one-dimensional code we do not attest separately closure relations or flow pattern map, i.e. we do not attest the inner components.

Another issue for discussion is as follows. Mass codes verification has begun. If general approaches to the attestation are not worked out, administrative resources will be used, and then the attestation procedures will be distorted. Therefore, it is essential to adopt general rules for everybody as soon as possible.

# Суперкомпьютерные технологии для атомной энергетики

**А.Н. Гребенников, В.П. Соловьев,  
Р.М. Шагалиев, А.А. Деулин  
ИТМФ ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»**

В современных условиях особая роль в обеспечении конкурентных преимуществ наукоемкой высокотехнологичной промышленной продукции, вооружений, военной и специальной техники принадлежит стремительно развивающимся технологиям компьютерного моделирования на суперЭВМ. Суперкомпьютерные технологии (СКТ) рассматриваются как основное «технологическое оружие» в борьбе за конкурентоспособность промышленных разработок и вытеснение с рынка других производителей. Возможности, которые предоставляет имитационное моделирование на суперЭВМ, позволяют сократить процесс проектирования, создавать инновационные продукты с экономией финансовых и временных ресурсов, уменьшить расходы на создание опытных прототипов и проведение экспериментов. Активное и эффективное применение СКТ служит локомотивом инновационного развития экономики, способствуя не только глубокой модернизации промышленности и ликвидации имеющегося технологического отставания, но и обеспечению лидерства в глобальной экономической конкуренции.

В настоящее время происходит становление отечественной суперкомпьютерной индустрии. Выбор основных направлений развития этой индустрии определяется общемировыми тенденциями в области высокопроизводительных вычислений, а также заинтересованностью руководства страны в модернизации промышленности и экономики за счет создания стратегических информационных технологий.

В России с 2010 года в приоритетном режиме организованы работы по развитию и внедрению отечественных суперкомпьютерных технологий в интересах проектирования сложных технических систем предприятиями стратегических отраслей промышленности. Эти работы ведутся в рамках проекта «Развитие суперкомпьютеров и грид-технологий», утвержденного комиссией при Президенте Российской Федерации по модернизации и технологическому развитию экономики России.

Основной целью проекта является создание основ для последующего технологического перевооружения ведущих отраслей промышленности на базе широкомасштабного внедрения технологий имитационного и предсказательного моделирования на супер-ЭВМ разрабатываемой наукоемкой продукции. Из этого следуют основные задачи, которые необходимо решить для успешной реализации проекта:

- создание вычислительной базы для высокотехнологичных отраслей промышленности;
- разработка отечественного программного обеспечения для комплексного имитационного 3D-моделирования сложных технических систем на супер-ЭВМ;
- внедрение технологий имитационного моделирования на суперЭВМ в работы научных и проектных организаций промышленности.

Головной организацией по реализации этих задач проекта определен ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». Для успешного выполнения работ создана широкая кооперация, объединяющая более 40 организаций и предприятий. Это прежде всего ведущие предприятия атомной энергетики (ОАО «ОКБМ Африкантов», ОАО «ОКБ ГИДРОПРЕСС», ОАО «СПбАЭП», ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» и др.), предприятия других

высокотехнологичных отраслей промышленности: авиастроения, автомобилестроения, ракетно-космической отрасли, институты Российской академии наук, IT-компании и другие предприятия и организации.

Результаты, достигнутые на данном этапе при решении основных задач проекта, таковы:

- создание вычислительного центра коллективного пользования (ВЦКП) на базе суперкомпьютерного центра ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»;
- разработка и создание во ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» линейки компактных супер-ЭВМ (КС-ЭВМ) терафлопсного класса для оснащения ими промышленных предприятий;
- создание базовых версий отечественных пакетов программ имитационного 3D-моделирования на супер-ЭВМ с массовым параллелизмом;
- адаптация разрабатываемых пакетов программ для решения прикладных задач атомной энергетики, а также их верификация на экспериментальной базе предприятий отрасли.

Определена основная задача внедрения СКТ в работы атомной отрасли, а именно, создание новых технологий обоснования проектных решений, позволяющих снять излишнюю консервативность проектов РУ и проводить комплексное моделирование различных систем энергоблоков. Выполнение поставленной задачи даст возможность доведения отечественных проектов до современных требований МАГАТЭ, а также оптимизировать конструкции элементов РУ для повышения их эффективности и снизить расходы на пусконаладочные работы за счет комплексной отработки проектных решений на этапе проектирования.

## Supercomputer technology in the nuclear industry

**A. Grebennikov, V. Solovyov, R. Shagaliev,  
A. Deulin  
Russian Federal Nuclear Center –  
All-Russian Research Institute of  
Experimental Physics**

Supercomputer-aided engineering plays a decisive role in ensuring competitive advantages of science-intensive and hi-tech industrial products, weaponry, military and special equipment. Supercomputer technology is seen as the main weapon in the fight for competitiveness and ousting rivals from the market. By means of supercomputer-generated simulation it is possible to make the design process shorter, to save time and finance while developing innovation products, to cut cost of development prototypes and experimental work. Active application of supercomputer technology (SCT) is a locomotive of the innovation development of the economy; it helps modernize the industry, overcome the lack in technology and to gain the leadership position in the global economic competition.

Russia's supercomputer industry is at the initial stage of its development. The choice of the main development areas is determined by the global trends in the field of highly productive computation techniques and by the readiness of the government to modernize the industry and economy as a whole by means of strategic information technologies.

Since 2010 enterprises of Russia's strategic industries have been developing and introducing SCT in designing of sophisticated facilities. The work is done within the project «Development of Supercomputers and Grid Technologies» approved by the Commission for Economy Modernization and Technical Development at the President of the Russian Federation.

The project is aimed to lay foundation for further technical upgrading of the principal industries through large-scale application of supercomputer modeling of science-intensive products. To implement the project the following tasks are to be solved:

- creation of computation basis in hi-tech industries;
- development of software for 3D supercomputer-aided modeling of sophisticated facilities;
- introduction of supercomputer-aided simulation modeling in the activities of research and design organizations.

The role of the parent organization implementing the project is performed by the Russian Federal Nuclear Center – All-Russian Research Institute of Experimental Physics. Within the project over 40 organizations and enterprises cooperate. The list includes top companies of the nuclear sector (OKBM Afrikantov, GIDROPPRESS Design Office, Saint-Petersburg Atomenergoproekt JSC, Research and Technology Institute

n. a. A.P. Alexandrov, etc.), enterprises of other hi-tech industries such as aircraft industry, automotive industry, rocket and space industry, institutes of the Russian Academy of Sciences, IT companies and other organizations.

The report covers the results of the present stage of the project implementation, specifically:

- setting up a multiple-access computing center on the basis of VNIIEF supercomputer center;
- development and creation of a range of KS-EVM teraflops-class supercomputers by VNIIEF for industrial enterprises;
- creation of basic versions of program packs for 3D supercomputer-aided simulation engineering with massive parallelism;
- adaptation of program packs to application tasks of the nuclear industry, their verification using experimental capabilities of the industry.

The main goal of the SCT application in the nuclear industry is as follows: to develop new technologies of project assessment in order to overcome the excessive conservatism of nuclear facilities projects and to be able to perform comprehensive modeling of various power-generating units systems. It will allow to meet the IAEA requirements, to boost the effectiveness of the reactor components through improving their design and to cut development expenses by means of optimization of design solutions at the development stage.



# Текущее состояние развития и задачи верификации CFD-кодов

**В.Н. Семенов, В.Ф. Стрижов,  
В.В. Чуданов, В.М. Головизнин  
ИБРАЭ РАН**

Движущим мотивом моделирования в атомной энергетике является возможность ускорения цикла разработок и проектирования, оптимизации существующих и будущих проектов; снижение неопределенностей и консерватизма при проектировании через лучшее понимание и возможность расчета; ускорение процесса лицензирования; снижение стоимости сооружения объектов.

В гидродинамическом моделировании это обеспечивается переходом к трехмерным CFD расчетам на сетках высокого разрешения с полным описанием геометрии, улучшением точности физических моделей (LES вместо  $k-\epsilon$ -модели турбулентности и т. д.). Возможности применения CFD методов по мере роста производительности компьютеров будут возрастать, а возможности прямой экспериментальной отработки многих вариантов элементов конструкций, по видимому, будут снижаться. Это предопределяет важность развития CFD расчетных методов.

В настоящее время существует ряд коммерческих кодов широкого назначения, в которых реализовано трехмерное моделирование турбулентных течений. Однако использование их для обоснования отечественных проектов АЭС имеет существенные недостатки. Можно ожидать ужесточения ограничений по коммерческому использованию. Для открытых кодов также существуют ограничения. Имеются трудности по модификации таких кодов для учета деталей конкретной установки или процесса. В коммерческих CFD кодах, как правило, используются довольно грубые (но робастные) модели, ориентированные на применение моделей турбулентности, что препятствует проведению прецизионных расчетов на основе DNS или квази-DNS подходов. Еще одной особенностью коммерческих пакетов программ является их изначальная ориентация на персональные ЭВМ

или рабочие станции, что определяет серьезные ограничения (на отечественном рынке) эффективного распараллеливания на сотнях и тысячах процессоров. Все это приводит к заключению о необходимости собственных разработок для детального трехмерного моделирования на мировом уровне.

В течение ряда лет в ИБРАЭ разрабатывается собственный код и методики для CFD моделирования турбулентных течений. Разработаны и используются две методики решения гидродинамических уравнений: методика CONV-3D и методика КАБАРЕ. Обе они позиционируются как прецизионные, обладающие очень малой численной диффузией, что дает наиболее благоприятные возможности для прямого моделирования турбулентности с минимумом эмпирических моделей – методами LES, квази-DNS, DNS. Обе методики изначально разрабатывались с прицелом на эффективное распараллеливание на неограниченное число узлов и на использование суперкомпьютеров. Обе методики свободны для использования любых физических моделей.

Методика CONV-3D основана на использовании простейших декартовых расчетных сеток, причем как IBM (immersed boundary method) сеток, так и STL сеток (сеток адаптированных к границам твердого тела, твердотельных пересекающихся с декартовыми), высокоточных схем решения операторов конвективного переноса на таких сетках (2-го и 3-го порядка точности, наследующих свойства дифференциального оператора, энергетически нейтральных, консервативных, монотонных), быстрых эффективных солверов решения уравнения давления.

Методика КАБАРЕ. В программе ИБРАЭ для решения уравнения переноса используется новый балансно-характеристический алгоритм. Особенностью этого алгоритма является аномально малая численная диффузия и численная дисперсия решения.

Методики CONV-3D и КАБАРЕ верифицированы на различных тестах в широком диапазоне параметров течений (чисел Рейнольдса, Рэлея),

включая слепые тесты по моделированию разнотемпературных потоков в тройнике (T-junction OECD/NEA).

Накоплен большой опыт их использования для решения различных задач (моделирование поведения расплава на днище корпуса, процессы в устройстве локализации, моделирование атмосферного переноса активности в индустриальной застройке, течений ЖМТ в топливных сборках и др.).

В ближайшее время предполагается использование CFD кодов ИБРАЭ для моделирования реальных задач обоснования проектов РУ, разрабатываемых в рамках ФЦП ЯЭНП: теплогидравлический расчет модуля испарителя РУ СВБР-100, расчет течения в верхней сборной камере и на входе в ПТО РУ БН-1200.

Проблемы применения CFD. Верификация CFD кодов в объеме, необходимом для применения в атомной промышленности, далеко еще не завершена. Особенно актуальны задачи верификации в связи с применением CFD кодов к жидкометаллическим теплоносителям. Здесь остро стоит вопрос об экспериментальной базе.

Другой проблемой применения CFD кодов в атомной энергетике является существенно большая потребность в вычислительных ресурсах по сравнению с инженерными кодами. Даже единичные расчеты требуют использования суперкомпьютеров. Массовые расчеты потребуют перехода на новую вычислительную базу.

Преимущества CFD методов, т. е. возможность расчетов без моделей с высоким разрешением на уровне DNS или квази-DNS, применительно к реальным задачам атомной энергетики далеки от реализации. В то же время возможен иерархический подход, когда результаты прецизионных расчетов малых фрагментов реальных систем используются для настройки моделей в более грубых и менее затратных расчетах. Это особенно актуально для моделирования ЖМТ в области, где верификационная база для всех имеющихся кодов недостаточна.

## CFD-codes current development and verification tasks

**V. Semyonov, V. Strizhov, V. Chudanov,  
V. Goloviznin  
(Nuclear Safety Institute of the RF Academy of  
Sciences – IBRAE)**

Modeling in the nuclear industry helps to accelerate the R&D cycles, to improve prospective projects and those being implemented, to diminish uncertainties and conservatism in design process through better understanding of calculation possibilities, to boost licensing procedures and to decrease the cost of the facilities construction.

Hydrodynamic modeling uses three-dimensional CFD calculations with application of high-resolution lattices which allows exhaustive geometry description and improvement of physical analogs accuracy (LES instead of  $k-\epsilon$ -turbulence model, etc.). While computers' capacities are growing, CFD methods application will grow too, and experimental verification of variants of structural units will be less important. Hence, the importance of CFD methods development.

There is a number of commercial codes of extensive application which use three-dimensional modeling of turbulent flows. Yet, their application for substantiation of Russia's NPP projects is not advantageous. Tougher limitations of their commercial use are expected. As a rule, commercial CFD codes use crude models (though they are robust models) compatible with turbulence models, which makes it impossible to perform precision calculations with the use of DNS or quasi-DNS approaches. Another peculiarity of commercial program packs is their applicability on mostly PCs and work stations, which makes effective multisequencing at hundreds and thousands of processors very difficult in the

Russian market. Thus, a conclusion has been drawn that it is necessary to develop detailed 3D modeling at the world level.

For some years IBRAE has been developing a code and methods of CFD modeling of turbulent flows. It has developed and now uses two methods of fluid equation solutions: CONV-3D and the CABARET methods. The both of them are presented as precision methods of low numerical diffusion allowing direct turbulence modeling using the minimum number of empirical models (LES, quasi-DNS and DNS methods). From the very start the methods have been developing with the aim to ensure effective multisequencing at infinite number of units and super-computers. The both methods allow to use any physical models.

CONV-3D method is based on the use of simple cartesian grids, including both IBM (immersed boundary method) computational grids and STL grids (grids adapted to solid body boundaries, solid states crossing with cartesian ones), high-accuracy solution schemes to convective diffusion operations on such grids (the schemes of the 2nd and 3rd order of accuracy with differential operator properties, energy-neutral, conservative and monotonous), fast pressure equation solvers.

The CABARET method. IBRAE program uses a new balancing characteristics algorithm to solve the transfer equation. The algorithm is peculiar for its abnormally low numerical diffusion and numerical solution dispersion.

The CONV-3D and CABARET methods have been tested for the wide range of flows parameters (Reynolds and Rayleigh numbers), with the use of single-blind tests for modeling multi-temperature flows in T-junction (T-junction OECD/NEA).

The Institute has gained vast experience in solution of various tasks (modeling of fusion behavior on the vessel floor, isolator processes, modeling of air transport in industrial structures, of coolant flow in the fuel assemblies, etc.).

Plans have been made to use IBRAE's CFD codes for modeling real tasks of substantiating reactor projects developed within the «New Generation Nuclear Technologies» Federal Program such as thermo-hydraulic computation of evaporation module of the Lead-Bismuth Fast Reactor (SVBR-100), computation of the flow in the upper collection chamber and at the entrance to the plate-type heat exchanger of BN-1200 reactor.

CFD application challenges. CFD verification required for use in the nuclear industry has not been completed yet. Verification of CFD codes application in liquid-metal coolants is most topical. The experimental capability is most essential in this regard.

Another problem of CFD codes application in the nuclear industry is the need for more computation resources as compared with the use of engineering codes. Massive calculations require new computation capabilities.

Advantages of CFD methods, i.e. possibilities of making calculations without hi-res models at DBS and quasi-DNS models levels, are not used to the fullest extent in solving actual tasks in the nuclear industry. Yet, hierarchal approach is possible according to which results of precision calculations of small sections of real systems are used for adding in the models of more crude and less expensive computations. This is essential for modeling liquid-metal coolant in the area with an insufficient verification base for all available codes.

## Верификация и валидация CFD-кодов на задачах свободноконвективного теплообмена и поверхностной конденсации

**В.В. Безлепкин, С.Е. Семашко,  
М.А. Затевахин, А.А. Игнатьев,  
О.И. Симакова, О.В. Масленникова,  
Р.А. Шаратов  
ОАО «СПбАЭП»**

Процессы свободноконвективного теплообмена и поверхностной конденсации имеют важное значение при моделировании поведения среды внутри контейнента для условий нормальной эксплуатации, а также для возможных проектных и запроектных аварий на АЭС с ВВЭР. В частности, именно эти процессы в значительной мере определяют эффективность работы теплообменников пассивной системы отвода тепла от защитной оболочки (СПОТ 30), предусмотренной в проекте АЭС-2006 для площадки Ленинградской АЭС-2. Эта система относится к техническим средствам преодоления запроектных аварий. Ее работа основана на использовании теплообменника-конденсатора, на котором конденсируется поступающий в защитную оболочку пар.

В настоящее время существуют достаточно развитые инженерные методы расчета характеристик теплообменников, однако большая ответственность рассматриваемой системы вызвала необходимость дополнительного расчетно-экспериментального обоснования.

Для проверки выбранного решения и детального анализа процессов на модельных экспериментальных установках использовалось численное моделирование. Используемые для этой цели CFD-коды необходимо было тщательно верифицировать.

Основной целью валидации и верификации является доказательство адекватности выбранных гидродинамических моделей и правильности их численной реализации. Поэтому эти процедуры

должны выполняться на расчете процессов, максимально приближенных к исследуемому явлению. Для теплообменника-конденсатора такими процессами являются конвективный теплообмен и поверхностная конденсация.

Теплообмен при вынужденной конвекции достаточно прост, хорошо изучен, и практически все гидродинамические коды воспроизводят его характеристики вполне удовлетворительно. Гораздо сложнее расчет процессов теплообмена в условиях свободной конвекции, характерных для рассматриваемой проблемы. Хорошо известно, что описание этого процесса в рамках стандартных полумпирических моделей, основанных на гипотезе Буссинеска о линейной связи турбулентных потоков и градиентов соответствующих полей, может приводить к большим ошибкам. В то же время более сложные полумпирические модели требуют существенно больших затрат вычислительных ресурсов, не всегда гарантируя при этом получение более точного результата. Единственный метод, обеспечивающий точное решение рассматриваемой проблемы, – метод прямого численного моделирования турбулентности – не может быть использован для решения прикладных задач в силу чрезвычайно больших требований к вычислительным мощностям.

Для верификации расчетных моделей были выбраны экспериментальные данные, полученные в экспериментах по изучению свободной конвекции у вертикальной пластины. Было испытано большое число различных полумпирических моделей турбулентности. Результаты этого испытания показали, что только одна модель – низкорейнольдса  $k-\epsilon$ -модель Лина–Лешцинера – оказалась в состоянии воспроизводить экспериментальные данные, в том числе и ламинарно-турбулентный переход в пограничном слое.

Конденсация пара на поверхности теплообменника в значительной мере меняет условия на границе газовой среды: стефановское течение, возникающее при поверхностной конденсации, приводит к тому, что нормальная компонента вектора скорости на границе становится отличной от нуля, а вследствие течения пленки конденсата по поверхности касательная компонента также приобретает заметно отличное от нуля значение. Все это существенно искажает течение в пограничном слое, и модели, хорошо зарекомендовавшие себя при расчете течений в обычных пограничных слоях, требуют дополнительной валидации. Для этой цели были выбраны результаты, полученные в экспериментах по конденсации пара на охлаждаемой металлической трубе. Размеры трубы и параметры парогазовой смеси в экспериментальной камере были достаточно близки к значениям, ожидаемым в условиях запроектной аварии, что позволило рассматривать этот эксперимент как валидационный. Была выполнена большая серия расчетов в различных постановках, результаты которых в частности показали, что учет движения пленки конденсата позволяет добиться заметного улучшения соответствия экспериментальных и расчетных данных.

Все указанные выше задачи были решены с использованием двух независимых кодов: трехмерного гидродинамического кода ПГС-ТК собственной разработки и коммерческого CFD-кода. Полученные по обоим кодам результаты оказались достаточно близкими. Кроме того, была проведена специальная кросс-верификация, когда задача о поверхностной конденсации решалась с использованием двух кодов на одной и той же сетке и с одними и теми же граничными условиями и значениями коэффициентов молекулярного переноса.

## Verification and validation of CFD-codes on the basis of free convective heat transfertasks and surface condensation tasks

**V. Bezlepkin, S. Semashko, M.Zatevakhin,  
A.Ignatyev, O. Simakova, O.Maslennikova,  
R.Sharapov  
JSC SPbAEP**

The processes of free convective heat transfer and surface condensation play a key role in modeling the ambiencebehavior inside the containmentfor normal operation conditions, as well as for design basis and beyond design basis accidents eventual at WWER NPPs. It is precisely these processes that largely determine operational efficiency of heat exchange units in the passive system of removing heat away from the reactor containment (HRPS RC), the system being designed in NPP-2006 project for the Leningrad NPP-2 site. The given system pertains to technical facilities used to cope with beyond design basis accidents. The underlying principle of the system is the use of a condenser on which the steam coming into the reactor containment condenses.

At present there are rather advanced engineering methods used to calculate performance data for heatexchange units, however great responsibility imposed on the given system necessitated additional calculation and experimental validation.

In order to ensure solution check and detailed analysis of the processes carried out at experimental test units computational simulation was opted for. CFD codes that were employed for that purpose had to undergo thorough verification.

The key goal of validation and verification is to prove adequacy of choice regarding hydrodynamic models and accuracy of their numerical implementa-

tion. That is why these procedures shall be carried out based on calculation of processes closest to the phenomenon under analysis. For a condenser such processes imply convective heat transfer and surface condensation.

Heat exchange under forced convection is fairly simple, thoroughly studied, and almost all hydrodynamic codes quite adequately reproduce its characteristics. Calculation of heat exchange processes under natural convection that are characteristic of the problem at hand is much more complex. It is well-known that process description within the framework of standard semiempirical models based on Boussinesq hypothesis on the linear relation between turbulent flows and gradients of corresponding fields may lead to gross mistakes. At the same time more sophisticated semiempirical models incur much higher expenses in terms of computational resources and do not always guarantee more accurate results. The only method ensuring accurate solution to the matter in question – the method of direct numerical turbulence simulation – cannot be used to tackle application tasks due to extremely high requirements as to computational performance.

For the purposes of computational models verification experimental data were selected previously obtained as a result of experiments for the evaluation of natural convection in a vertical plate. Quite a few semiempirical turbulence models were tested. Testing data however proved that only one model – low-Reynolds  $k-\epsilon$ -model of Lin-Leshitsiner – appeared to be capable of reproducing experimental data, including a boundary layer laminar-turbulent transition.

Steam condensate on the surface of a heat exchange unit to a considerable extent alters the conditions on the gaseous atmosphere border: Stefan flow occurring under surface condensation leads to a normal velocity vector component on the border becoming nonzero, whereas a tangent component due to condensate film flow on the surface also becoming notably different from zero. All of this crucially distorts boundary-layer flow, therefore models that were extensively used when calculating the flows in ordinary boundary layers now require additional validation. For this purpose the results were selected that had been obtained as a result of experiments on steam condensation on a cooled metal pipe. The pipe size and parameters of a steam gas mixture in an experimental chamber were found to approximate data expected in case of a beyond design basis accident, thus it allowed to view this experiment as a validation one. An extensive series of calculations was carried out in various setups, and the results proved in particular that records of the condensate film flow allow highly improved correlation between experimental and computational data.

All the above mentioned tasks were tackled using two independent codes: a self-design 3D hydrodynamic PGS-TK code and a commercial CFD code. The results obtained from both codes appeared to be rather close. Besides, a special cross-verification was conducted in the course of which a surface condensation task was tackled using two codes in one and the same net and under the same boundary conditions and at the same molecular transport coefficient values.



## Разработка полномасштабной гидродинамической CFD-модели реактора проекта ВВЭР-ТОИ

**А. В. Шишов**  
ОАО «ВНИИАЭС»

Мы начали заниматься этой тематикой в начале века, используя компьютер с общим объемом памяти примерно в один Мегабайт для расчета прямолинейного участка трубопровода. Затем были расчеты по гипотрубопроводам, по их взаимному влиянию друг на друга; потом пошли тройники, гребенки к трубопроводу; далее мы начали определять характеристики запорно-регулирующих клапанов, обратных клапанов, закончили клапанами системы локализации аварий диаметром до одного метра. Потом мы начали пробовать силы в определении характеристик радиальных и осевых конструкций. Следующим этапом стало моделирование в масштабе 1:5 стэнда реакторной установки ВВР-1000, и тогда нам удалось в динамике просчитать смещение потоков при проходе концентраций через активную зону примерно семь раз. В дальнейшем решались еще более сложные

задачи и в конечном итоге это все вылилось в разработку полномасштабной гидродинамической CFD-модели реактора проекта ВВЭР-ТОИ в программном комплексе STAR-CD 4.16, которая полностью воспроизводит тракт течения теплоносителя от входных до выходных патрубков реактора.

В состав модели входит опускной участок, состоящий из входных патрубков и кольцевого пространства между внутренней поверхностью корпуса и наружной поверхностью шахты, нижняя камера смешения, отверстия в эллиптическом днище шахты реактора, опорные трубы. Активная зона, нижняя плита блока защитных труб, тракт движения потока между защитных труб, отверстия в перфорированной обечайке и на цилиндрической поверхности шахты, а также выходные патрубки реактора. Твэльный пучок тепловыделяющих сборок активной зоны выполнен в приближении пористого тела эквивалентного гидравлического сопротивления в продольном и поперечном направлениях

отдельно для твэлов, дистанционирующих решеток, межкассетного зазора и нижних опорных решеток ТВС.

С помощью CFD-модели определено распределение и перемешивание расхода теплоносителя на входе и по высоте активной зоны в режиме минимально контролируемого уровня мощности реактора.

В этом и следующем году предполагается доработать модель активной зоны с введением индивидуальной мощности и профиля энерговыделения по высоте каждой ТВС. Ориентировочно размер полномасштабной CFD-модели реактора приблизится к 300 миллионам контрольных объемов.

## Development of full-scale hydrodynamic CFD-model for WWER-TOI project

**A. V. Shishov**  
VNIIAES

We began our research in this area in the beginning of the century; that time we used a computer with the storage space of 1 MB to make calculations for the straight portion of a pipeline. Then we made calculations for a transit pipelines and their interdependence, T-joints, pipe headers; then we determined characteristics of multipurpose valves, check valves and emergency shutdown valves with diameter of 1 meter. Later we started to experiment with characteristics of radial and axial constructions. At the next stage we modeled WWER-1000 reactor bench at a scale

of 1:5. We managed to calculate flow removal in the reactor core approximately seven times. Then we tackled even more complicated problems, which eventually resulted in the development of a full-scale hydrodynamic CFD model of WWER-TOI reactor with the use of STAR-CD 4.16 bundled software. The model is a complete reproduction of the coolant flow channel from the inlet elbow to the outlet elbow.

The model comprises the downcomer region consisting of inlet elbows and annular space between the inner surface of the reactor vessel and the outer surface of the reactor vault, a lower mixing chamber, holes in the elliptic bottom of

the reactor vault and support tubes. The core, a bottom slab of the support tubes block, flow channel between the support tubes, holes in the perforate shell and in the cylindrical surface of the vault and the reactor outlet elbows.

CFD model helped to determine the distribution and mixing of the coolant flow at the inlet and at the top of the reactor core in the regime of the controlled reactor capacity.

It is planned to upgrade the model of the reactor core introducing individual capacity and deposition function for each fuel rod. The full-scale CFD model of the reactor will be approximately 300 m sample volumes.

## Применение кода FlowVision для моделирования транспорта предшественников запаздывающих нейтронов в реакторах на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем

**С.Л. Осипов, С.А. Рогожкин, А.В. Салаяев, С.Г. Усынина, ОАО «ОКБМ Африкантов»  
В.А. Кутин, В.И. Похилко, М.Л. Сазонова, ОАО «ТЕСИС»**

В реакторах на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем повреждение твэлов контролируется специальной системой контроля герметичности оболочек твэл (СКГО), одной из подсистем которой является секторная система контроля герметичности оболочек твэл (ССКГО). ССКГО контролирует появление в оболочке твэла дефекта типа «контакт топлива с теплоносителем». На систему ССКГО возлагается также задача своевременного распознавания ситуаций, связанных с тяжелым повреждением активной зоны (массовое повреждение твэлов, включая плавление топлива), и задача по локализации ТВС с поврежденными твэл в активной зоне.

Принцип работы ССКГО основан на регистрации нейтронного излучения короткоживущих продуктов деления топлива (предшественников запаздывающих нейтронов (ПЗН)). При разгерметизации твэл ПЗН с потоком горячего натрия транспортируются к месту их регистрации нейтронными детекторами.

Наиболее сложной и важной задачей при моделировании показаний нейтронных детекторов ССКГО при повреждении твэл является правильное описание процесса транспорта ПЗН от ТВС до района мониторинга нейтронного излучения. Корректное решение данной задачи возможно с использованием CFD-кодов, в частности, кода FlowVision, который учитывает все особенности течения жидкого натрия

в реакторах с интегральной компоновкой с натриевым теплоносителем.

Для учета специфики транспорта ПЗН для FlowVision был разработан специальный расчетный модуль FV-BN. FlowVision моделирует течение теплоносителя и транспорт ПЗН, рассчитывает пространственное распределение концентрации ПЗН в теплоносителе, осуществляет экспорт распределения концентрации с пространственной сетки FlowVision на пространственную сетку детерминистского транспортного кода TORT. Код TORT, используя в качестве источника нейтронов распределение концентрации ПЗН и их спектральные характеристики, рассчитывает уровни нейтронного излучения на нейтронные детекторы ССКГО. Связка кодов FlowVision и TORT позволяет провести численный эксперимент, описывающий отклик показаний нейтронных детекторов различных секторов реактора на повреждения оболочки твэл для конкретного местоположения ТВС в активной зоне реактора.

Расчет транспорта ПЗН при установившемся течении теплоносителя в реакторе выполняется в рамках модели изменения массовой концентрации ПЗН. Моделирование выполняется с учетом периода полураспада (времени жизни) различных групп ПЗН. FlowVision рассчитывает массовые доли ПЗН в многокомпонентной смеси, состоящей из жидкого натрия и рассматриваемых групп ПЗН. Так как ПЗН представляют собой очень небольшую примесь, не влияющую на течение и термодинамику теплоносителя, принимается, что эта примесь идентична теплоносителю. По сути, роль различных групп ПЗН выполняют

«подкрашенные» в разные цвета атомы жидкого натрия. Экспорт результатов расчета пространственного распределения концентраций из FlowVision в ТОКТ осуществляется с сохранением баланса концентрации ПЗН в объеме теплоносителя по определенному алгоритму, учитывающему специфику пространственных сеток FlowVision в TORT.

Тестирование FlowVision, включая модуль экспорта концентраций, выполнено как на упрощенных расчетных моделях, так и на полномасштабных реакторных задачах.

Получены предварительные данные, важные с точки зрения обоснования безопасности натриевых реакторов на быстрых нейтронах, по времени инертности (задержки) срабатывания ССКГО на факт разгерметизации твэл для различных местоположений аварийной ТВС. Также получены данные по отклику нейтронных детекторов на разгерметизацию твэл для различных местоположений ТВС. Последние данные представляют практический интерес для решения задачи локализации аварийной ТВС.

Полномасштабную верификацию связи кодов FlowVision и TORT предполагается провести после завершения экспериментальных исследований по калибровке ССКГО реактора БН-800 с помощью метрологической сборки, которые запланированы на стадии энергетического пуска (предположительно 2015 год). Эти исследования позволят получить данные не только по параметрам ССКГО и верификации собственно FlowVision и TORT, но и качественную картину течения теплоносителя в верхней смесительной камере, которая может быть использована для верификации других CFD-кодов.

## Application of FlowVision codes for modeling transport of delayed neutron precursors in sodium-cooled fast reactors

**S. Osipov, S. Rogozhkin, A. Salyaev, S. Usynina, OKBM Afrikantov  
V. Kutin, V. Pokhilko, M. Sazonova, TESIS JSC**

In sodium-cooled fast reactors any defect in the fuel elements is detected by the fuel failure detection system (FFDS). A fuel failure detection sector system (FFDSS) is one of the segments of the FFDS. FFDSS detects failure of the «fuel-coolant contact» type. It also detects situations of serious damage of the reactor core (serious damage of fuel elements including fuel melting).

FFDSS operation is based on registration of neutron radiation of short-lived fission products (delayed neutron precursors – DNP). In case of the fuel elements depressurization DNP are transported by hot sodium flow to the place of their registration by neutron detectors.

One of the most challenging tasks in modeling results of radiation detection is to describe correctly the process of transporting DNP from the fuel rod array to the place of neutron detection monitoring. This task can be solved effectively using CFD codes, in particular, FlowVision code that accounts for the specifics of the liquid sodium flow in reactors with the primary sodium integral assembly.

A special arial module FV-BN has been developed

for FlowVision code to take into account the specifics of DNP transport. FlowVision simulates the coolant flow and DNP transportation, calculates special distribution of DNP concentration in the coolant, exports concentration distribution from the FlowVision spatial grid to TORT deterministic transport code spatial grid. Using DNP concentration distribution and their spectral characteristics as the neutron source, TORT code calculates levels of neutron radiation to the FFDSS neutron detectors. Linking FlowVision and TORT codes, it is possible to make a numerical experiment that describes the responses of readings of neutron detectors in various reactor sectors to the fuel cladding defects for the specific location of DNP in the reactor core.

Estimation of DNP transport at the steady coolant flow in the reactor is made with the use of the model of DNP mass concentration change. The modeling is performed with due account of the half-life for different DNP groups. As DNP is just a small addition that does not affect the DNP flow and thermodynamics, it is assumed that the addition is identical to the coolant. Effectively, the role of various DNP groups is performed by liquid sodium atoms of different «colors». Calculation results for concentration spatial distribution are exported from FlowVision to TORT in accordance with a certain algorithm in which the

specifics of FlowVision spatial grids are accounted for, and the balance of DNP concentration in the coolant volume is preserved.

FlowVision code including the concentration export module has been tested both at simple calculation models and by full-scale tasks related to the reactor operation.

Preliminary data has been received on the time delay of FFDSS response to the fuel elements depressurization for various fuel rod array locations. The data is essential for ensuring sodium-cooled fast reactors safety. Data has also been received on the response of neutron detectors to the fuel elements depressurization for various fuel rod array locations. The data is essential for the task of locating the fuel rod array failure.

Full-scale verification of FlowVision and TORT codes linkage will be effected upon termination of experiments with BN-800 FFDSS calibration that will be made with the use of metrological assembly. The experiments are planned for the power start-up stage (approximately 2015). The research will supply data on FFDSS parameters and FlowVision and TORT codes verification as well as will give a clear picture of the coolant flow in the reactor upper mixing chamber. This picture can be used for verification of other CFD codes.



## CFD-код CONV-3D: валидация и верификация

**В.В. Чуланов, А.Е. Аксенова,  
В.А. Первичко  
ИБРАЭ РАН**

В течение ряда лет в ИБРАЭ разрабатывается трехмерный CFD-код CONV-3D для анализа безопасности атомных электростанций [1]. Этот код основан на развитых алгоритмах с малой схемной диффузией, для которых дискретные приближения построены с использованием методов конечного объема и полностью разнесенных сеток. Для решения задачи адвекции развита регуляризованная нелинейная монотонная операторная схема расщепления. Для решения уравнения давления применяется итерационный метод Ричардсона с итерационным БПФ солвером для оператора Лапласа в качестве предобуславливателя. Такой подход к решению эллиптических уравнений с переменными коэффициентами дает многократное ускорение в сравнении с обычным методом сопряженных градиентов. Для моделирования трехмерных турбулентных потоков в однофазных течениях используется квази-DNS подход. Код CONV-3D полностью параллелизуется и очень эффективен в использовании на многопроцессорных кластерных компьютерах, таких как «Чебышев», «Ломоносов» (Московский государственный университет).

Применимость кода CONV-3D доказана многочисленными верификационными и валидационными тестами [1–3] в широком диапазоне чисел Рейля от  $10^6$ – $10^{16}$  и чисел Рейнольдса из диапазона  $10^3$ – $10^5$ . Программное обеспечение было применено для анализа результатов теста L1 к исследованиям тепло-

гидравлики переходного расплавленного пула на установке LIVE в рамках МНТЦ проекта [2]. В 2010–2011 годах код CONV-3D принял участие в слепом исследовании по моделированию потоков в тройнике (T-junction OECD/NEA) [3]. По материалам валидации был подготовлен и представлен доклад на CFD4NRS3 Workshop – CFD for Nuclear Reactor Safety Applications, September 14–16, Bethesda North Marriott Hotel & Conference Centre, 2010. Также материалы валидации вошли в совместный отчет ИБРАЭ и Аргоннской национальной лаборатории (США), в котором приводилось сравнение результатов численных предсказаний и экспериментальных данных, наряду с кросс-верификацией кодов CONV-3D (ИБРАЭ) и Nek5000 (ANL). Хорошее совпадение с экспериментальными данными было достигнуто по: спектральным характеристикам, средним скоростям и RMS. ИБРАЭ совместно ОАО «ОКБМ Африкантов» в 2011–2012 годах было проведено моделирование эксперимент ERCOFTAC (мировая база данных по турбулентным течениям) по исследованию естественной конвекции в замкнутых объемах при экстремально высоких числах Рейля в обоснование использования методов инженерного расчета процессов термоконвекции. Специалистами ОАО «ОКБМ Африкантов» расчеты проводились с использованием коммерческого CFD кода. Со стороны ИБРАЭ был использован CONV-3D, который продемонстрировал очень хорошее совпадение численных предсказаний с экспериментальными данными. Кроме того, была выполнена верификация и валидация программного обеспечения с использованием таких тестов как: трехмерная конвекция в

каверне с подвижной верхней крышкой, турбулентное течение воды в круглой трубе, течения с обратным уступом. Во всех случаях было достигнуто хорошее совпадение численных предсказаний с экспериментальными данными, что указывает на возможность применения развитого подхода CFD для предсказания потоков для проектируемых и действующих АЭС.

Успешные результаты валидации дают основание утверждать, что CONV-3D код может быть использован для моделирования теплогидродинамики в погранслое при малых числах Прандтля, что характерно для жидкометаллических реакторов.

### Литература

1. Chudanov V.V., Aksenova A.E., Pervichko V.A. Methods of direct numerical simulation of turbulence with use DNS and LES approaches in thermalhydraulics of fuel assembly // *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Energetica.* – 2007. – № 6.
2. Aksenova A.E., Chudanov V.V., Pervichko V.A., Semenov V.N., Strizhov V.F. Development and application of the CONV Codes // *Proc. RASPLAV Seminar 2000.* – Munich, November 2000. CD-dick. Session 3: Theoretical analysis. – 18 p.
3. Chudanov V.V., Aksenova A.E., Pervichko V.A., Strizhov V.F. The analysis of the large scale RCW test. // *Proceedings of the MASCA Seminar 2004, Aix-En-Provence.* – P. 217–240.
4. Buck M., Chudanov V. et al. The LIVE program – Results of test L1 and joint analysis on transient molten pool thermal hydraulics // *Progress in Nuclear Energy.* – 2010. – Vol. 52. – P. 46–60.

## 3D CFD CONV CODE: validation and verification

**V. Chudanov, A. Aksenova, V. Pervichko,  
Nuclear Safety Institute (IBRAE),  
Russian Academy of Sciences**

Over the last couple of years IBRAE has been developing a 3D CFD CONV code required to analyze safety of operated nuclear power plants (NPPs) [1]. The code is based on advanced algorithms with small scheme diffusion for which discrete approximations are constructed using finite-volume methods and fully staggered grids. In order to tackle an advection goal a regularized nonlinear monotonic operator-splitting scheme was developed. A pressure equation shall be solved using Richardson iteration method with an iteration FFT solver for Laplasian operator as a preconditioner. The given approach to solving elliptical equations with a floating factor ensures multiple acceleration as compared to a standard conjugate gradients method. A quasi-DNS approach is employed for modeling 3D turbulent single-phase flows. The 3D CONV code is fully parallelized and highly effective on multiprocessor cluster computers, such as «Chebyshev», «Lomonosov» (the Moscow State University).

3D CONV code applicability has been verified and validated through a series of tests [1–3] in a wide range of Rayleigh numbers ( $10^6$ – $10^{16}$ ) and Reynolds numbers ( $10^3$ – $10^5$ ). The generated software was used under the ISTC project to analyze L1 test results for researching transient molten pool thermal hydraulics on a LIVE

plant [2]. In 2010–2011 3D CONV code participated in a blind study on modeling streams in a T-junction (T-junction OECD/NEA) [3]. Based on validation materials a report was prepared and presented at CFD4NRS3 Workshop – CFD for Nuclear Reactor Safety Applications, September 14–16, Bethesda North Marriott Hotel & Conference Centre, 2010. Validation materials were also incorporated into IBRAE and Argonne National Laboratory (USA) joint report in which the comparison of the results of numeric forecasts and experimental data is provided along with cross-verification of 3D CONV codes (IBRAE) and Nek5000(ANL). A good fit to experimental data was achieved in terms of spectral response, average performance and RMS. In 2011–2012 IBRAE together with JSC «Африкантов ОКБМ» (Afrikantov Experimental Design Bureau for Mechanical Engineering) conducted ERCOFTAC simulation experiment (an international database on turbulent streams) for researching natural convection in enclosed volumes at extremely high Rayleigh numbers in order to justify the methods of engineering calculation of thermal convection. Afrikantov OKBM experts performed calculations using a commercial CFD code. IBRAE specialists in their turn opted for a 3D CONV code that proved a good fit of numerical predictions to experimental data. Besides software was verified and validated using such tests as 3D convection in a lid-driven cavity flow, turbulent flow of water in

a round pipe, backward-facing step flow. On all occasions a good fit of numerical predictions to experimental data was achieved thus indicating an opportunity of applying an advanced CFD approach to predict flows for designed and operated NPPs.

Satisfactory validation results provide reasons enough to claim that 3D CONV code may be used to ensure thermal hydrodynamics modeling in a boundary layer at low Prandtl numbers which is characteristic of liquid metal reactors.

### References

1. Chudanov V. V., Aksenova A. E., Pervichko V. A. Methods of direct numerical simulation of turbulence using DNS and LES approaches in thermalhydraulics of fuel assembly. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Energetica Series*, No. 6, 2007.
2. Aksenova A. E., Chudanov V. V., Pervichko V. A., Semenov V. N., Strizhov V. F. Development and application of CONV Codes. In *Proc. RASPLAV Seminar 2000, Munich, November 2000. CD-dick. Session 3: Theoretical analysis*. 18 p.
3. Chudanov V. V., Aksenova A. E., Pervichko V. A., Strizhov V. F. Analysis of the large scale RCW test. *Proceedings of the MASCA Seminar 2004, Aix-En-Provence*, pp. 217–240.
4. Buck M., Chudanov V. et al. The LIVE program – Results of L1 test and joint analysis on transient molten pool thermal hydraulics, *Progress in Nuclear Energy*, 52 (2010), pp. 46–60.

# Применение CFD-кодов в теплогидравлических расчетах для обоснования безопасности работы активной зоны и элементов в реакторных установках

**С.Ю. Афонин, Д.А. Афремов,  
К.В. Кузубов, В.П. Смирнов, А.Г. Чухлов  
ОАО «НИКИЭТ»**

**Современные компьютерные коды позволяют моделировать процессы, происходящие в реакторных установках (РУ), обосновывать работоспособность разрабатываемых элементов конструкции и РУ в целом, обосновывать безопасность установок. В частности, с применением современных CFD-кодов возможно проводить детальный анализ тепловых и гидродинамических процессов. В ОАО «НИКИЭТ» такие работы ведутся с 2001 года, когда был подписан контракт с ООО «ТЕСИС» на поставку отечественного коммерческого CFD-кода FlowVision. Данный код успешно применяется в расчетах в настоящее время. Ниже даны несколько примеров его использования.**

Наиболее энергонапряженным элементом конструкции РУ является активная зона (АЗ), поэтому теплогидравлический расчет АЗ имеет первоочередное значение при проектировании реактора. Однако прямой тепловой и гидродинамический расчет всей АЗ с оребренными твэлами или твэлами с проволочной навивкой с использованием CFD-кодов на сегодняшний день практически невозможен. Исходя из этих соображений используют поканальные и поячейстые программы, такие как коды серии ПУЧОК, внедряемый в настоящее время код СОКРАТ и другие, либо применяется модель пористого тела. Однако при использовании поканальных и поячейстых программ возникает вопрос о замыкающих зависимостях (коэффициенты гидравлического сопротивления, теплоотдачи, перемешивания), которые, в свою очередь, можно получить из экспериментов или CFD-расчетов. Этот путь в настоящее время представляется наиболее перспективным.

Для обоснования безопасности первого варианта конструкции АЗ реактора БРЕСТ-ОД-300 в 2003–2004 гг. был проведен тепловой и гидродинамический расчет ТВС с использованием кода FlowVision, из которого были получены замыкающие зависимости (коэффициент теплоотдачи, гидравлического сопротивления и перемешивания). Результаты расчета были отверфицированы на экспериментах, проведенных в ГНЦ-РФ ФЭИ на 25-стержневой сборке с использованием теплоносителя Ка-К. Помимо полученных замыкающих зависимостей, данные по температурным полям помогли дать рекомендации по оптимизации геометрии вытеснителя.

Для РУ БРЕСТ-ОД-300 выполнен ряд расчетов, важных с точки зрения обоснования эксплуатационных характеристик установки с использованием кода FlowVision. Проведен

расчет гидравлического сопротивления дистанционирующей решетки ТВС. Сопоставление с опытными данными, полученными на последующих этапах выполнения проекта, показало хорошее согласие расчетных и экспериментальных результатов. Для анализа коррозионно-радиационных изменений структуры и свойств конструкционных материалов твэлов, облучавшихся в автономном канале реактора БОР-60 со свинцовым теплоносителем, потребовались данные по температурам твэлов, которые возможно было получить только расчетным путем. Выполненный расчет позволил определить азимутальную неравномерность температуры оболочки твэла.

Одной из актуальных задач является расчет температуры свинцового теплоносителя в верхней камере реактора при номинальном режиме работы и аварийных режимах. В связи с установкой над активной зоной измерительной колонны потребовалось ответить на вопрос, как это повлияет на неравномерность температуры патрубка теплоносителя, по которому свинец первого контура поступает в парогенератор. Была построена трехмерная модель измерительной колонны и проведен расчет поля течения теплоносителя над активной зоной.

Для обеспечения безопасности РУ БРЕСТ-ОД-300 в режимах с нарушениями условий нормальной эксплуатации необходимо поддерживать температуру свинца на входе в ПГ на таком уровне, чтобы обеспечить достаточный запас прочности трубок ПГ, находящихся под высоким давлением, при длительной эксплуатации. Для случая одновременного отключения 4-х ГЦН и несрабатывания аварийной защиты было рассчитано распределение температуры над активной зоной в переходном процессе в зависимости от времени. Был сделан вывод о том, что при данном нарушении условий нормальной эксплуатации не происходит разрушение трубок парогенератора.

При проектировании технологических систем установки БРЕСТ-ОД-300 исследовалась вентиляция газового объема РУ. Задача состояла в определении кратности циркуляции газа. В расчетной модели были учтены процессы теплообмена между поверхностью свинцового теплоносителя и верхним перекрытием реактора, а также перекрытием парогенератора. Установлено, что расчетные значения кратности вентиляции газового пространства находятся в допустимых пределах. Для получения замыкающих зависимостей, пригодных при описании теплогидравлики АЗ, необходимо выполнить CFD-моделирование регулярной ячейки бесконечного пучка ТВС с оребренными твэлами или твэлами с проволочной навивкой. Эта задача была решена в 2009 году, когда был предложен метод расчета регулярной ячейки и проведен расчетный анализ

для регулярных ячеек двух различных РУ, а именно: для реактора ПИК (крестообразный твэл, водный теплоноситель) и для реактора БРЕСТ-ОД-300 (твэл с проволочной навивкой типа «проволока по проволоке», свинцовый теплоноситель). Предложенная методика расчета применяется и для других РУ, разрабатываемых в ОАО «НИКИЭТ» и имеющих пучки витых стержней.

Применение CFD-кодов в ОАО «НИКИЭТ» не ограничивается использованием только российского кода FlowVision. Так, в рамках выполнения одного из международных проектов, финансируемых МНТЦ, был успешно применен код Fluent. Задача состояла в моделировании ТВС реактора CANDU-X при сверхкритических параметрах теплоносителя. Был выполнен расчет ячейки пучка ТВС, а для верификации расчетных данных при течении теплоносителя со сверхкритическими параметрами были взяты эксперименты на круглой трубе, проведенные в ГНЦ-РФ ФЭИ. Результаты трехмерных теплогидравлических расчетов как изолированных, так и взаимодействующих ячеек пучка стержней показали, что при сверхкритических параметрах в области псевдокритической температуры теплоносителя процессы теплообмена в тесных ячейках сборок и трубах существенно отличаются.

Расчетные коды комплекса ANSYS (Fluent и CFX) в настоящее время используются для обоснования безопасности конструкции ядерной энергодвигательной установки, в том числе для исследования теплообмена в бинарных смесях с низкими молекулярными числами Прандтля. Для этих целей проводится кросс-верификация комплекса ABL8Y5 и отечественного кода FlowVision. С использованием CFD-технологий проводятся также работы в обоснование безопасности реакторов-наработчиков изотопов для медицинских целей. Примером служит совместная работа с НИЦ «Курчатовский институт» по разработке реактора-наработчика изотопов Mo-99 и Sr-89, прототипом которого является функционирующий реактор «Аргус». Реактор является растворным, т. е. его активная зона заполнена раствором уранил сульфата. Предложена методика расчета активной зоны с использованием кода FlowVision, отверфицированная на реакторе «Аргус», и проведен тепловой и гидродинамический расчет АЗ разрабатываемого реактора, включая тепловую защиту.

Таким образом, при обосновании проектов РУ, разрабатываемых в ОАО «НИКИЭТ», широко используются отечественные и зарубежные CFD-коды. Очевидно, что на сегодняшний день особенно остро стоит задача верификации и аттестации таких кодов. В этой связи особую актуальность приобретает выработка требований к их аттестации применительно к обоснованию безопасности работы РУ.



# Application of CFD-codes in thermohydraulic calculations for safety of the reactor core and plant components

**S. Afonin, D. Afremov, K. Kuzubov,  
V. Smirnov, A. Chukhlov  
n.a. Dollezhal Research and Development  
Institute of Power Engineering  
OJSC NIKIET**

**Modern computer technologies enable simulation of processes that occur at reactor plants (RPs), substantiation of operability of structural components under development and RPs in general, substantiation of plant safety. Notably application of advanced CFD codes potentiates a detailed analysis of thermal and hydrodynamic processes. OJSC NIKIET has been involved in that sort of work since 2001 when a contract with CJSC TE-SIS for the supply of a Russian commercial CFD code called FLOWVISION was signed. Nowadays this code is successfully utilized in calculations. A couple of applications are exemplified below.**

The most energy intensive component of the RP structure is the core (CS), therefore a thermal hydraulic calculation for the core shall be of top priority when designing a reactor. However a direct thermal and hydrodynamic calculation for the whole CS with finned fuel elements or winding wire fuel elements using CFD codes is almost impossible nowadays. Proceeding from these considerations per-channel and per-cell software is used, such as codes of the PUCHOK series, SOCRAT code that is currently being integrated and others, otherwise a porous body model is employed. However application of per-channel and per-cell software brings about the question of closing dependencies (coefficients of hydraulic resistance, heat transfer, diffusion) which in turn may be obtained on the basis of experiments or CFD calculations. This path at present appears to be most progressive.

In order to substantiate safety of the first core design version BREST-OD-300 a thermal and hydrodynamic calculation for a fuel assembly was performed in 2003-2004 using FLOWVISION code proceeding from which closing dependencies (coefficients of hydraulic resistance, heat transfer, diffusion) were obtained. Calculation data were verified during the experiments conducted at SSC IPPE (State Scientific Center of the Russian Federation – Institute for Physics and Power Engineering named after A.I. Leypunsky) on a 25-rod assembly using Ka-K coolant. Apart from obtained closing dependencies the temperature pattern data helped to grant recommendations regarding optimization of the displacer geometrical arrangement.

A series of calculations was performed for BREST-OD-300 reactor plant that are highly important in terms of substantiating plant performance characteristics using FLOWVISION code. Hydraulic resistance of the assembly spacer grid was calculated. Comparison to experimental

data obtained at subsequent stages of project implementation proved a good fit of calculation data to experimental results. In order to analyze corrosion– and radiation-induced alterations in the structure and properties of constructional materials of fuel elements exposed to radiation in an autonomous channel of BOR-60 lead-cooled reactor data on the temperature of fuel elements were required which could be obtained only by calculation. The accomplished calculation allowed to identify azimuthal nonuniformity of the cladding temperature.

One of the crucial tasks is to calculate the temperature of the lead coolant in the upper chamber of the reactor under nominal operation conditions and emergency conditions. Installation of an instrumental column over the core brought about the question of how it may affect nonuniformity of the temperature of the coolant pipe through which lead of the first circuit enters the steam generator. A 3D model of the instrumental column was developed and the coolant flowfield over the core was calculated.

In order to ensure operational safety of BREST-OD-300 reactor plant in modes characterized by abnormal conditions it is essential to maintain the lead temperature at the inlet of the steam generator on the level required to ensure sufficient safety factor for the pipes of the steam generator subjected to high pressure in the course of continuous service. Against the possibility that four reactor coolant pumps are shut down simultaneously and the emergency protection system malfunctions, temperature pattern over the core was calculated based on time in a transition process. It was concluded that under such abnormal conditions steam generator tubes are not destroyed.

When designing technological systems for BREST-OD-300 plant ventilation of the RP gas plenum was studied. The goal was to determine the gas circulation rate. In the calculation model due account was taken of heat exchange processes between the surface of the lead coolant and the upper floor of the reactor, as well as of the steam generator floor. It has been established that calculated values of the gas plenum ventilation rate are within the permissible range. In order to obtain closing dependencies applicable in describing the core thermal hydraulics it is necessary to perform CFD modeling of a regular cell in an infinite fuel bundle with finned fuel elements or winding wire fuel elements. This task was tackled in 2009 when a regular cell calculation method was proposed and design analysis was performed for regular cells of two separate RPs, namely for PIK reactor (a cross recessed fuel element, water coolant) and for BREST-OD-300 reactor (winding wire fuel element of «wire-over-wire» type, lead coolant). The proposed calculation procedure is applied to other RPs

designed by OJSC NIKIET and having bundles of twisted rods.

Application of CFD codes at OJSC NIKIET is not limited to the Russian code FLOWVISION. Thus, within the framework of an international project financed by the ISTC (International Science and Technology Center) another code FLUENT was successfully integrated. The task was to model a fuel assembly for CANDU-X reactor at coolant supercritical parameters. Calculation of a cell in a fuel bundle was effected, whereas verification of calculation data in case of the coolant flowing at supercritical parameters was ensured through experiments on the circular pipe conducted by SSC IPPE. The results of 3D thermal-hydraulic calculations for both isolated and interactive cells in a bundle of rods proved that at supercritical parameters in terms of coolant pseudocritical temperatures heat exchange processes in narrow assembly cells and pipes differ significantly.

Calculation codes of ANSYS complex (FLUENT and CFX) are presently utilized to substantiate structural safety of the nuclear power propulsion system, and inter alia to research heat exchange in binary mixtures with low molecular Prandtl numbers. For these purposes cross-verification of AY8U5 complex and Russian code FLOWVISION is accomplished. CFD technologies are also used in substantiating safety of medical isotope production reactors. This can be exemplified by close cooperation with the National Research Center «Kurchatov Institute» in terms of developing an isotope production reactor Mo-99 and Sr-89 modeled after a running reactor «Argus». This reactor is a solution one, thus its core is filled with uranyl sulphate solution. A core calculation procedure using FLOWVISION code was proposed and verified at Argus reactor; besides, thermal and hydrodynamic calculation was effected as to the core of the developed reactor, including thermal protection.

Thus, both Russian and foreign CFD codes are widely used in substantiation of RP projects developed at OJSC NIKIET. Obviously the goal of verification and validation of such codes is particularly acute nowadays. In this respect elaboration of validation requirements in terms of RP operating safety substantiation is of special relevance.

# Расчетно-экспериментальное исследование гидродинамики и массообмена во фрагментах ТВС ВВЭР-1000 с сотовыми дистанционирующими перемешивающими решетками

**С.И. Гетья, В.Г. Крапивцев, П.В. Марков, В.И. Солонин**  
**МГТУ им. Н.Э. Баумана**

Для надежной работы тепловыделяющих сборок (ТВС) водоводяных энергетических реакторов (ВВЭР) повышенной мощности необходимо снижать неравномерности тепло-технических характеристик потока теплоносителя во избежание возникновения кризиса теплоотдачи первого рода. Одним из способов решения данной задачи является включение в состав ТВС турбулизирующих и перемешивающих решеток, что требует тщательного расчетно-экспериментального анализа.

Рассмотрены 19- и 127-стержневые фрагменты ТВС ВВЭР-1000 с сотовыми дистанционирующими решетками, предложенные к использованию ОАО «Машиностроительный завод» (рис. 1), геометрия ячеек (сот) которых обеспечивает создание разнонаправленных поперечных течений между соседними слоями тепловыделяющих элементов (ТВЭЛОВ) [1]. Конструкция решетки, установленной в 127-стержневом пучке, отличалась от конструкции 19-ячеистого фрагмента наличием шестигранного обода, исключавшего байпасное течение между решеткой и чехлом макета ТВС.

С использованием ПК STAR-CCM+ [2] исследован механизм генерации направленного конвективного переноса в потоке теплоносителя за решетками, получены гидравлические и перемешивающие характеристики решеток.

Экспериментальные исследования проводились на аэродинамическом стенде кафедры «Ядерные реакторы и установки» МГТУ им. Н.Э. Баумана при числах Рейнольдса потока воздуха в пучках  $Re = (2-5) \times 10^4$ . В целях валидации результатов расчета выполнено

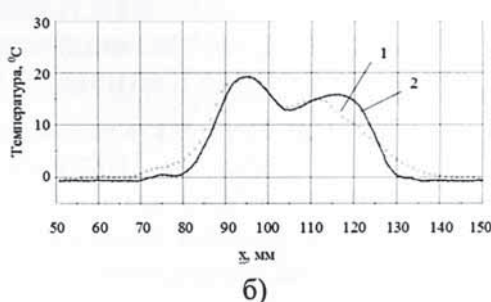
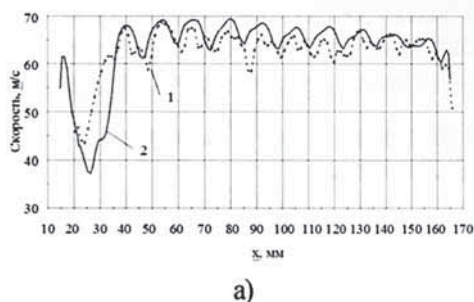


**Рис. 1. Внешний вид 19-ячеистого фрагмента сотовой дистанционирующей перемешивающей решетки**  
**Fig. 1. General view of the 19-rod cellulose section of the spacer mixing grid**

численное моделирование течения и тепло-массообмена в аэродинамическом стенде, показано влияние геометрии трактов подвода и сжимаемости потока воздуха на полученные результаты. Сравнение расчетных и экспериментальных значений КГС (с учетом сжимаемости воздуха), приведенных в таблице, показывает, что отличие не превышает 10%. Локальные распределения скоростей (рис. 2 а) и температур (рис. 2 б) в 127-стержневом пучке также находятся в удовлетворительном согласии.

**Литература**

1. Марков П.В., Солонин В.И. Моделирование течения в пучке цилиндрических ТВЭЛОВ реактора ВВЭР, дистанционированных сотовой решеткой // Вестник МГТУ. Машиностроение. – 2011. – № 3. – С. 17–29.
2. STAR-CCM+, version 7.02. UserGuide (руководство пользователя), CD-adapco Group, 2012.



**Рис. 2. Экспериментальные (а) и расчетные (б) распределения локальных характеристик потока на расстоянии 110 мм за решеткой между вторым и третьим горизонтальными рядами стержней: а) распределения осевой скорости; б) распределения температуры**

**Fig. 2. Experimental (1) and calculated (2) distribution of the flow local characteristics at the distance of 110 mm behind the grid: а) axial velocity distribution; б) temperature distribution.**

**Табл. 1. Расчетные и экспериментальные значения КГС сотовой дистанционирующей перемешивающей решетки**

**Table 1. Calculated and experimental values of the flow friction coefficient in the cellulose spacer mixing grid**

Метод исследования Research technique	19 стержней (19-rod assembly), $Re \sim 3,0 \times 10^4$	19 стержней (19-rod assembly), $Re \sim 4,5 \times 10^4$	127 стержней (127-rod assembly), $Re \sim 3,7 \times 10^4$
Расчет / Calculation	0,84	0,82	1,52
Эксперимент / Experiment	0,87	0,83	1,41

## Pilot study of flow dynamics and mass transport in fuel assemblies of WWER-1000 reactor with spacer mixing grids

**S. Getya, V. Krapivtsev, P. Markov, V. Solonin,**  
**Moscow State Technical University**  
**n. a. N. Bauman**

To ensure reliable operation of fuel assemblies of a high capacity water-cooled water-modulated nuclear reactor (WWER) it is essential to flatten the thermal performance of the coolant flow in order to avoid departure from nucleate boiling of the first type. It can be done by introducing turbulence-creating mixing grids in the fuel assembly. To solve the task a pilot study has been conducted.

19-rod and 127-rod fuel assemblies of WWER-1000 with spacer grids have been considered. The grids have been developed by Machine Building Plant (fig.1). The geometry of the grids provides for differently directed flows between adjacent layers of the fuel elements [1]. The design of the grid installed in 127-rod assembly differs from the 19-rod assembly design since it has a hexagonal rim that prevents a bypass flow between the grid and the fuel assembly jacket [1].

With the use of PC STAR-CCM+ [2] the mechanism of the oriented convective transport generation in the coolant flow has been investigated, and hydraulic and mixing properties of the grids have been determined.

The pilot study was conducted on the aerodynamics stand of the department «Nuclear Reactors and Facilities» of the Moscow State Bauman Technical University with the use of Reynolds numbers for the air flow in  $Re = (2 - 5) \times 10^4$ . For the calculation results validation a numerical simulation of the flow, heat and mass transport was conducted in the aerodynamics stand and the influence of the geometry of supply tracks and the air flow compressibility on the results was demonstrated. Comparison of the calculated and experimental data on the flow friction coefficient (with account of the air compressibility) shows that the difference does not exceed 10 percent (see Table 1). Local velocity distribution (Fig.2-a) and temperature distribution (Fig.2-b) in the 127-rod assembly are also harmonized.

**References**

1. Modeling a flow in WWER reactor cylindrical fuel assemblies with cellulose spacer grid / P. Markov, V. Solonin// Vestnik MGTU. Machine Building. – 2011. – No 3. – pp. 17-29.
2. STAR-CCM+, version 7.02. UserGuide, CD-adapco Group, 2012.



# О замыкании модели турбулентности по критерию самоорганизации установившегося движения

С.Н. Ложкин, И.Р. Уголева,  
ФБУ «НТЦЯРБ»  
А.С. Ложкин, ООО «Лисерта»

Самоорганизация – это общезначимое свойство материальных тел формировать состояния равновесия с внешней средой, подстраивая свою внутреннюю структуру под заданный (новый) уровень внешнего воздействия. Происходящие при этом изменения во внутренней структуре тел проявляют себя локальными эффектами противоположной направленности, не равными друг другу; их суммирование определяет интегральную направленность процесса самоорганизации (интегральный эффект).

Синергетический критерий установившегося движения в системе «поток – внешняя среда» констатирует [1], что при заданных внешних условиях переход от ламинарного движения к турбулентному завершается строго в момент, когда приращение расхода в П-зонах поперечного сечения потока, т. е. локальный эффект противодействия интегральному эффекту, достигает своего максимума.

Поясним сказанное на примере релаксационного процесса, переводящего поток жидкости в трубе круглого сечения из режима с ламинарным движением в установившийся турбулентный [2]; его обобщенные результаты показаны на рис. 1.

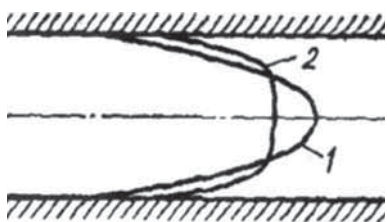


Рис. 1. Распределение скоростей в трубе при ламинарном (1) и турбулентном (2) движениях

Из рис. 1 видно, что в момент окончания релаксационного процесса, т. е. в режиме с установившимся турбулентным движением, профиль скорости (кривая 2) приобрел такую пространственную форму, которая по сравнению с профилем скорости при ламинарном движении (кривая 1) обеспечила при заданных стационарных внешних условиях максимальное приращение местным скоростям в периферийных зонах сечения трубы (в П-зонах вблизи стенки, названных так по первой букве от слова «периферия») и некоторое снижение скоростей в ядре потока. Трансформация профиля скорости в трубе связана с тем, что при турбулентном режиме движения жидкости на стенке трубы генерируются вихри, которые уходят в ядро потока и тормозят его, а на их место приходит жидкость из ядра и ускоряет движение в П-зонах. Увеличение скоростей в П-зонах относительно их значений в ламинарном движении проявляет себя локальным приращением расхода в этих зонах, а снижение скоростей в ядре потока – снижением расхода в ядре потока. Эти локальные эффекты противоположной направленности не равны друг другу, поэтому в опытах наблюдался интегральный эффект – снижение полного расхода через поперечное сечение трубы.

В описанных результатах особое внимание акцентируем на том, что свойство – максимум расхода в П-зонах – это индикатор режима с установившимся турбулентным движением. В [2] сказано, что «Помещая измеритель скорости на определенном небольшом расстоянии от стенки, можно по увеличению скоростного напора судить о переходе от ламинарного движения к турбулентному. Такой прием с успехом применяется при экспериментальном исследовании перехода в пограничном слое».

В реальном потоке максимум расхода в П-зонах достигается строго в момент окончания релаксационного процесса перехода от

ламинарного к установившемуся турбулентному движению и сохраняется во времени, пока сохраняются в неизменности внешние условия. Причем каждому набору внешних условий соответствует в режиме с установившимся движением свое поле осредненных скоростей и, следовательно, свое значение расхода в П-зонах. Это позволяет говорить о детерминистической связи кинематической структуры установившегося турбулентного потока (в частности, максимума расхода в П-зонах) с внешними условиями.

Подчеркнем, что детерминистическое свойство установившегося турбулентного движения – максимум расхода в П-зонах – обязано выполняться в моделях турбулентности, если только они адекватны реальности. Это свойство позволяет провести ревизию моделей турбулентности, например, «защитных» в коммерческих кодах класса CFD (Computational Fluid Dynamics), ибо только в физически корректных моделях возможно симитировать переход от ламинарного движения к установившемуся турбулентному, в частности, путем последовательного увеличения коэффициентов турбулентной вязкости найти такие их значения, при которых пространственная форма поля скоростей обеспечит максимум расхода в П-зонах; при отсутствии максимума расхода в П-зонах проверяемая модель турбулентности подлежит отбраковке как нефизическая.

Условие максимума расхода в П-зонах позволяет находить детерминистические решения в моделях турбулентности не традиционным способом тарировки коэффициентов (т.е. подбором их значений по условию наилучшего согласия расчетов с опытными данными), а в вариационной постановке. Вариационное решение в отличие от способа тарировки коэффициентов можно применять для прогнозной оценки поведения ОИАЭ в режимах,

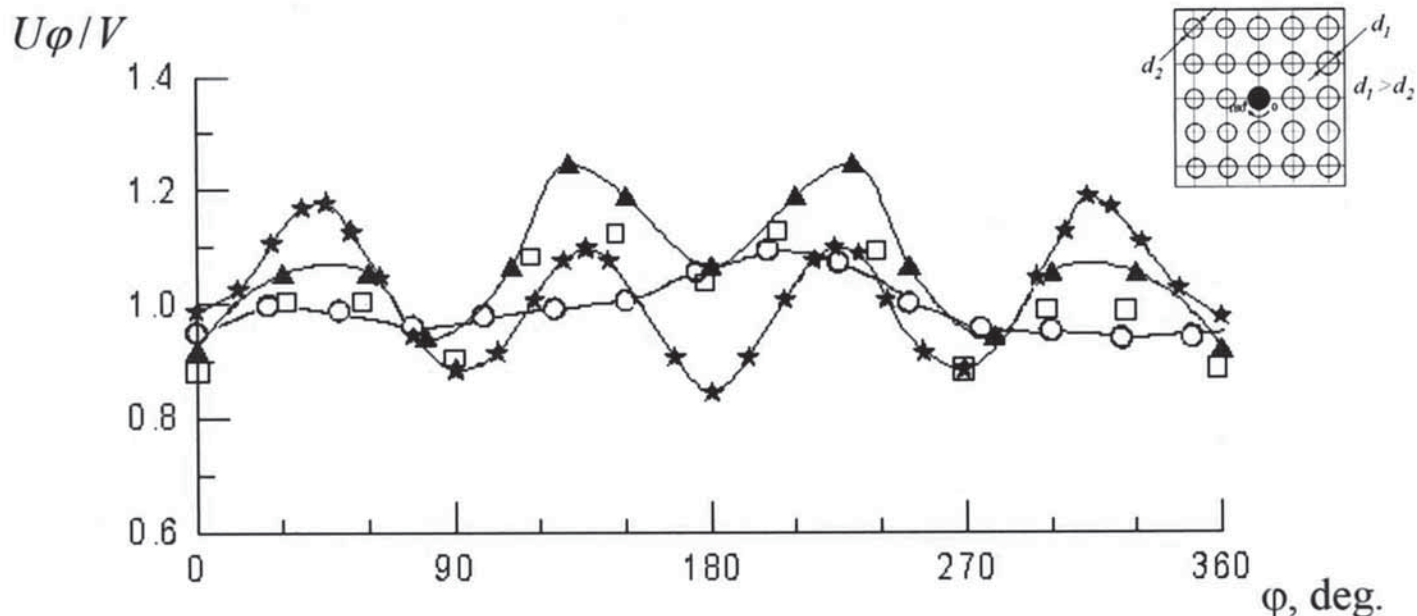


Рис. 2. Распределение скоростей по периметру центрального стержня на выходе модели с жидкометаллическим охлаждением. Данные электромагнитных измерений ФЭИ (○) и результаты расчетов по CFD кодам FLUENT (▲) и STAR-CD (★) взяты из [5]; □ – расчет по условию максимума расхода в П-зонах [4]

для которых нет опытных данных. Напомним, что ситуация с отсутствием представительных экспериментальных данных для ОИАЭ не редкость, ибо прямые эксперименты на натуральных объектах не всегда возможно проводить по соображениям безопасности, а экстраполяция модельных исследований на натурные объекты часто бывает не вполне правомерной.

Впервые способ отбора детерминистического решения по условию максимума расхода в П-зонах был применен в [3]; в дальнейшем он был адаптирован к расчету теплогидравлики в реакторных зонах со стержневыми твэлами (в коде СРСТФА – Calculative Program to Check Thermohydraulics in Fuel Assemblies [4]).

На рис. 2 показан пример сопоставления скоростей, измеренных вокруг центрального стержня в ТВС с жидкометаллическим охлаждением, и рассчитанных по разным кодам: в [4] – по максимуму расхода в П-зонах, в [5] – способом тарировки.

Из рис. 2 видно, что детерминистическое решение, найденное по условию максимума расхода в П-зонах, согласуется с данными электромагнитных измерений скоростей с погрешностью ±10%, тогда как скорости, найденные по CFD-кодам с использованием приема тарировки, отличаются от измеренных скоростей на ± 20%.

Теплогидравлика в коде СРСТФА рассчитывается в поканальном приближении с выделением в поперечном сечении теплоносителя зон, в каждой из которых присутствует самостоятельное вторичное течение. Напомним обобщение ФЭИ данных экспериментов многих авторов: «В каждой из зон турбулентного потока, ограниченных стенкой, линией

максимальной скорости и нормалью к стенке, проходящей через точку максимума скорости, существует самостоятельное вторичное течение». Добавим: вторичное течение закручивает поступательное движение потока в каждой из зон в отдельную струю (по-другому, ячейку Никурадзе).

В коде СРСТФА средние на местной глубине скорости в ячейке Никурадзе (под местной глубиной понимается расстояние по нормали от стенки до границы раздела ячеек) рассчитываются в координатах (r, φ, z) по уравнению установившегося турбулентного движения сплошной среды следующего вида [4]:

$$d^2(u^2)/d\phi^2 + P(\phi) d(u^2)/d\phi + Q(\alpha, \phi)u^2 = F(\alpha, \phi). \quad (1)$$

Здесь:  $P(\phi) = (2/h) \cdot dh/d\phi + (1/2\lambda) \cdot d\lambda/d\phi - (1/r) \cdot dr/d\phi$ ;  $Q(\alpha, \phi) = -(r_0 r \sqrt{\lambda}) / (\alpha \cdot 0,048 h^2)$ ;  $F(\alpha, \phi) = -(r^2 g \cdot 1) / (\alpha \cdot 0,024 h \sqrt{\lambda})$ ;  $r = r_0 + h/2$ ;  $r_0$  – радиус кривизны смоченной поверхности;  $h$  – местная глубина;  $g$  – ускорение силы тяжести;  $i$  – пьезометрический уклон;  $\lambda$  – коэффициент гидравлического трения в плоском потоке;  $u$  – скорость, средняя на местной глубине;  $\alpha$  – параметр формы (кратность отличия переноса импульса по оси φ в ячейке Никурадзе по отношению к переносу импульса по глубине в плоском потоке).

Алгоритм отбора детерминистического решения для уравнения (1) следующий:

При  $\alpha_j = 0$  находим поле скоростей  $u(\alpha_j = 0, \phi)$ :

$$u^2(\alpha_j = 0, \phi) = F(\alpha, \phi) / Q(\alpha, \phi) = 2gh i (1 + h/2r_0) / \lambda. \quad (2)$$

Найденное решение интегрируется, и вычисляются значения расхода  $0(\alpha_j = 0)$  и средней скорости потока  $V(\alpha_j = 0)$ .

Фиксируются границы П-зон в поперечном сечении расчетной области (ячейке Никурадзе) по условию:

$$u(\alpha_j = 0, \phi) \leq V(\alpha_j = 0), \quad (3)$$

и вычисляется средняя в П-зонах скорость, т. е.  $Vп(\alpha_j = 0)$ .

Увеличиваем  $\alpha_j$  на  $\Delta\alpha$  ( $\alpha_{j+1} = \alpha_j + \Delta\alpha$ ). При  $\alpha_{j+1}$  находим  $u(\alpha_{j+1}, \phi)$  и вычисляем  $Vп(\alpha_{j+1})$ . Как только  $Vп(\alpha_{j+1}) \leq Vп(\alpha_j)$  – достигнут максимум расхода в П-зонах.

**Литература**

1. Скребков Г.П., Ложкин А.С., Ложкин С.Н. О замыкании модели турбулентного потока в каналах и руслах альтернативным приемом тарировки способом // Метеорология и гидрология. – 2008. – № 3. – С. 86–94.
2. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. Изд. 5-е. – М.: Наука, 1978.
3. Ложкин С.Н. Применение принципа Ле-Шателье при расчете взаимодействия потоков основного русла и поймы // Метеорология и гидрология. – 1984. – № 11. – С. 86–91.
4. Ложкин А.С., Ложкин С.Н., Уголева И.Р. Об использовании законов самоорганизации турбулентного движения в теплогидравлическом коде СРСТФА // Тяжелые жидкометаллические теплоносители в быстрых реакторах. Межведомственный семинар «Теплофизика-2010», 20–22 октября 2010 г., Обнинск, ГНЦ РФ-ФЭИ. – Сборник докладов, с. 303–317.
5. Жуков А.В., Кузина Ю.А., Сорокин А.П. Анализ бенчмарк-эксперимента по гидравлике и теплообмену в сборке имитаторов твэлов с жидкометаллическим охлаждением // Атомная энергия. – 2005. – Т. 99, вып. 5. – С. 336–348.

# On closure of the turbulence model by steady flow self-organization criterion

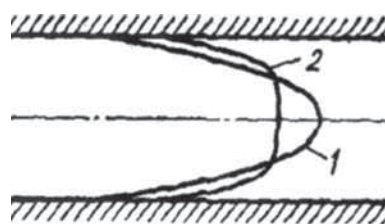
**S. Lozhkin, I. Ugoleva, Research and Technical Center for Nuclear and Radiation Safety**  
**A. Lozhkin, Liserta LLC**

Self-organization is a physical property of a body to establish equilibrium with the environment adapting its internal structure to a set (new) level of the exposure. The internal structure changes are manifested in local effects of opposite direction, not equal to each other. Their accumulation determines the integral direction of the self-organization process (integral effect).

Synergetic criterion of the steady flow in the system «flow – environment» certifies [1] that under given conditions transition from the laminar flow to turbulent flow is completed exactly when the excess yield in «P» zone of the flow cross-section, i.e. counteraction of the local effect to the integral effect, achieves its maximum point.

The aforesaid can be illustrated by a relaxation process that transfers a liquid flow in a pipe of circular section from the regime of laminar flow to the steady turbulent regime [2]; see Fig.1 for the summary.

Fig. 1 shows that at the stop time of the relaxation process, i.e. in the regime of the steady turbulent flow, the velocity profile (curve 2) acquires the space form that leads to the maximum excess of local velocities in the peripheral zones of the pipe section (in P zones near the wall; the term «P zone» is derived from «peripheral») at the given steady external conditions, as compared to the velocity profile at the laminar flow (curve 1). Besides it leads to some decrease of velocity in the flow core. Transformation of the velocity profile in the pipe is explained by the fact that in the turbulent regime of the liquid flow vortices are generated on the pipe wall. They enter the



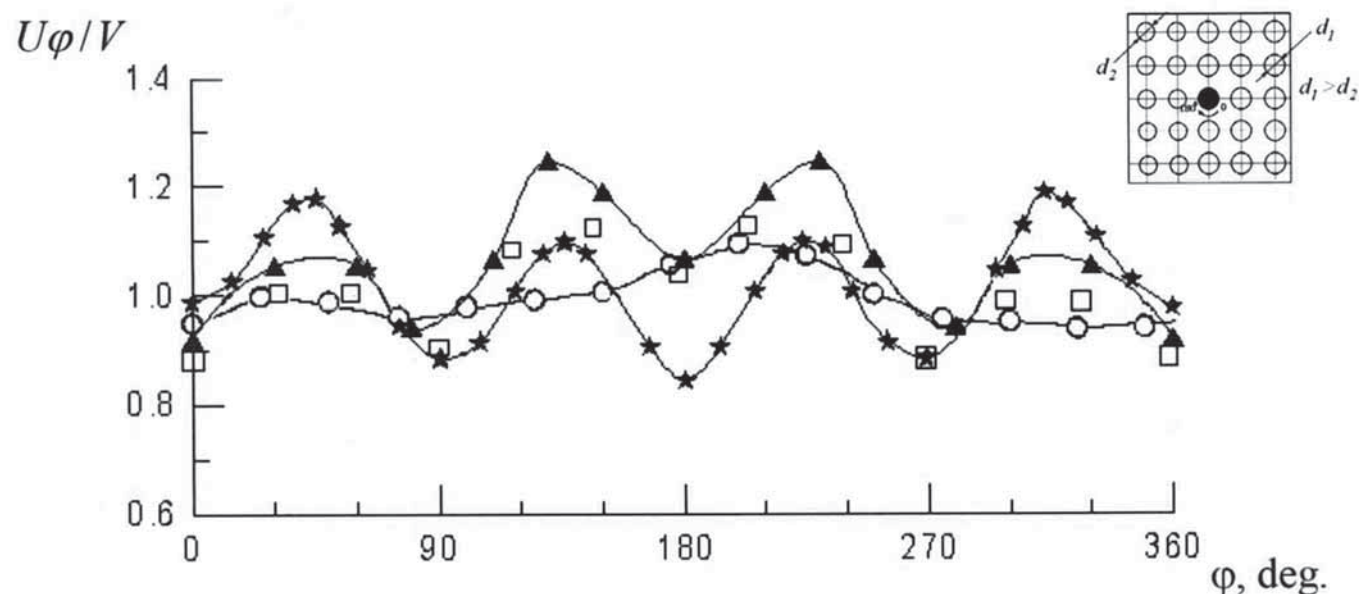
**Fig. 1: Speed distribution in a pipe at the laminar (1) and turbulent (2) flows.**

flow core and impede the flow while liquid from the core replaces them and boosts flow in the P zones. Velocity increase in P zones as compared to the velocity value at laminar flow is manifested by local excess yield in P zones while the velocity decrease in the flow core is manifested by the lower discharge in the flow core. These local effects of opposite direction are not equal to each other that experiments demonstrated the integral effect, i.e. decrease of the total flow through the pipe cross-section.

The results stress the fact that this property, i.e. the maximum discharge in P zones, indicate to the regime with steady turbulent flow. As [2] states, «placing a velocity meter at a small distance from the wall, it is possible to detect a transition from laminar flow to turbulent flow by an increase of the velocity head. This method is effective in experimental study of the transition in the boundary layer».

In a real flow the discharge maximum in P zones is achieved in the moment of termination of the relaxation process of transition from laminar flow to steady turbulent flow, and is steady while the external conditions remain unchanged.





**Fig 2. Distribution of velocities at the perimeter of the central rod at the exit of the model with liquid-metal cooling. Data on electromagnetic measurements (O) and results of calculation by means of FLUENT (▲) and STAR-CD (★) CFD codes are from [5]; □ calculation for the maximum discharge in P zones [4].**

A certain field of average velocity and, consequently, a certain discharge value in P zones, corresponds to each set of external conditions. It means that there are deterministic relations between the kinematic structure of the steady turbulent flow (in particular, maximum discharge in P zones) and the external conditions.

It should be stressed that the deterministic property of the steady turbulent flow, i.e. the maximum discharge in P zones, is indispensable for turbulence models provided they are adequate to reality. The property allows to revise turbulence models, e.g. the models «wired» in commercial codes of CFD (Computational Fluid Dynamics) class because only physically correct models allow to simulate the transition from laminar flow to steady turbulent flow, in particular, using consecutive increment of the turbulent viscosity coefficient, to find the values at which the space form of the velocity field ensures maximum discharge in P zones; when the discharge maximum in P zones is not achieved the tested turbulence models must be discarded as nonphysical ones.

The condition of maximum discharge in P zones allows to find deterministic solutions in turbulence models without using the traditional method of factor calibration (which implies selecting the values using the criterion of the conformity of calculations to the experimental data) but using the variational formulation. Unlike factor calibration, variational solution can be used for the prediction estimate of nuclear facilities behavior in the regimes where experimental data are non-existent. It should be borne in mind that absence of experimental data about nuclear facilities behavior is not a rare fact because tests at real facilities cannot be always made due to safety considerations while projection of modeling results to a real facility may not be correct.

For the first time the method of deterministic solution on the condition of the maximum discharge in P zones was used in [3]; later it was adopted to the thermofluid calculations for the reactors with fuel rods (in code CPCTFA - Calculative Program to Check Thermohydraulics in Fuel Assemblies [4]).

Fig. 2 illustrates the comparison of velocities measures around the central rod in the fuel rod

array with liquid-metal cooling and calculated with the use of various codes: in [4] – at the maximum discharge in P zones, in [5] – by means of factor calibration.

Fig. 2 shows that the deterministic solution for the maximum discharge in P zones corresponds to the results of electromagnetic measurement of velocities with the error of  $\pm 10\%$ , while the velocities determined with the use of factor calibration method and CFD codes differ  $\pm 20\%$  from the measured velocities.

Thermal hydraulics in CPCTFA code is calculated in the channel section of the coolant of zones with an independent secondary flow in each of them. The Physics and Power Engineering Institute summarizes the data of many authors in the following way: «There is an independent secondary flow in each turbulent flow zone restricted by the wall, the maximum velocity line and the normal line running across the maximum velocity point». It should be added that the secondary flow swirls the translational movement of the flow in each of the zones in an independent jet (in other terminology – Nikuradze cell).

In CPCTFA code average velocities in Nikuradze cell at the local depth (the local depth is a distance along the normal line from the wall to the cell boundary) are calculated in coordinates  $(r, \varphi)$  by the following equation of the continuous body turbulent motion [4]:

$$d^2(u^2)/d\varphi^2 + P(\varphi) \, d(u^2)/d\varphi + Q(\alpha, \varphi)u^2 = F(\alpha, \varphi). \quad (1)$$

Where  $P(\varphi) = (2/h) \cdot dh/d\varphi + (1/2\lambda) \cdot d\lambda/d\varphi - (1/r) \cdot dr/d\varphi$ ;  $Q(\alpha, \varphi) = -(r_0 r \sqrt{\lambda}) / (\alpha \cdot 0.048 h^2)$ ;  $F(\alpha, \varphi) = -(r^2 g \cdot 1) / (\alpha \cdot 0.024 h \sqrt{\lambda})$ ;  $r = r_0 + h/2$ ;  $r_0$  – curvature radius of wetted area;  $h$  – local depth;  $g$  – acceleration of gravity;  $i$  – piezometric gradient;  $\lambda$  – flow friction coefficient in flat flow;  $u$  – average velocity at local depth;  $\alpha$  – shape variable (multiplicity of difference of momentum transfer along  $\varphi$  axis in Nikuradze cell in relation to momentum transfer at the depth in flat flow).

The algorithm of selecting a deterministic solution for equation (1) is as follows:

$$\begin{aligned} \text{At } \alpha_j = 0 \text{ velocity field is } u(\alpha_j = 0, \varphi): \\ u^2(\alpha_j = 0, \varphi) = F(\alpha, \varphi) / Q(\alpha, \varphi) = \\ 2ghi(1 + h/2r_0) / \lambda. \end{aligned} \quad (2)$$

The found solution is integrated to calculate the discharge value  $Q(\alpha_j = 0)$  and average velocity of the flow  $V(\alpha_j = 0)$ .

Borders of P zones in the cross-section of the rated operated conditions are fixed by:

$$u(\alpha_j = 0, \varphi) \leq V(\alpha_j = 0), \quad (3)$$

and average velocity in P zones, i.e.  $Vn(\alpha_j = 0)$ , is calculated.

$\alpha_j$  is increased by  $\Delta\alpha$  ( $\alpha_{j+1} = \alpha_j + \Delta\alpha$ ). At  $\alpha_{j+1}$  we find  $u(\alpha_{j+1}, \varphi)$  and calculate  $Vn(\alpha_{j+1})$ . At  $Vn(\alpha_{j+1}) \leq Vn(\alpha_j)$  discharge in P zones achieves its peak value.

#### References

1. Skrebkov G.P., Lozhkin A.S., Lozhkin S.N. On Closure of the Flow Turbulence Model in Channels and Stream Courses by the Method Alternative to Factor Calibration // *Meteorology and Hydrology*. – 2008. – No 3. – P.86-94.
2. Loitsyansky L.G. *Liquid and Gas Mechanics*. 5th ed. – Moscow: Nauka, 1978.
3. Lozhkin S.N. Using Le Chatelier Principle for Calculating Flows Interaction in the Trunk and the Flood Channel // *Meteorology and Hydrology*. – 1984. – No 11. – P.86-91.
4. Lozhkin A.S., Lozhkin S.N., Ugoleva I.R. On the Use of Turbulence Self-Organization Laws in Thermal Hydraulic CPCTFA Code // *Heavy Liquid-Metal Coolants in Fast Reactors*. Workshop «Thermal Physics-2010», October 20-22, 2010, Obninsk, Institute of Physics and Power Engineering: *Proceedings*. – P.303-317.
5. Zhukov A.V., Kuzina Yu.A., Sorokin A.P. Analysis of Benchmark Experiment of Hydraulics and Heat-Exchange in Simulator Power Rods with Liquid-Metal Coolants // *Atomic Energy*. – 2005. – Vol. 99. – Issue 5. – P.336-348.

# Практическое внедрение суперкомпьютерных технологий

**В 2010 году Комиссия при Президенте Российской Федерации по модернизации и технологическому развитию экономики России утвердила проект «Развитие суперкомпьютеров и грид-технологий». Главным исполнителем этих работ был назначен РФЯЦ-ВНИИЭФ, г. Саров. Целью проекта являлась разработка технологий проектирования и имитационного моделирования для суперЭВМ на основе базового программного обеспечения (ВНИИЭФ, кроме выполнения прочих задач, активно занимается разработкой импортозамещающих трехмерных гидродинамических и прочностных кодов). В рамках обозначенного проекта был заключен договор между РФЯЦ-ВНИИЭФ и ОКБМ Африкантов на выполнение работ по теме «Внедрение суперкомпьютерных технологий в новых проектах корабельных реакторных установок и разработка виртуальной корабельной ЯЭУ» со сроками исполнения в 2010-2012 гг. 15 ноября 2012 года результаты работы, выполненной ОКБМ, были представлены государственной комиссии.**

В гостях у журнала «Атомный проект» – начальник отделения научно-технического обеспечения проектов ОАО «ОКБМ Африкантов» **М. А. Большухин:**

– Задачи, которые мы перед собой поставили в 2010 году, в большинстве своем до конца не решены не только в отечественной, но и в мировой атомной энергетике. Например, такая задача: очень сложные процессы теплообмена в оборудовании реакторной установки влияют на ресурс, на безопасность, надежность и в целом на экономику, если речь идет о коммерческой реакторной установке. Такие процессы часто сопровождаются температурными пульсациями. Анализ температурных пульсаций в потоке теплоносителя – задача сугубо трехмерная, то есть, никакими инженерными кодами она не берется; те упрощения, которые используются, чтобы применить инженерный код, либо дают очень грубый результат, либо заведомо очень консервативны, и мы даже сталкивались в своей проектной практике с такими явлениями, что некоторое оборудование согласно произведенным расчетам должно было бы просто развалиться в процессе работы. Но оно, конечно, не разваливается и успешно работает. Значит, некорректный подход был применен при расчетах. И вот, чтобы успешно решать эти задачи, мы начали осваивать трехмерные гидродинамические коды и производить на базе суперЭВМ расчет тех процессов, которые реально происходят в реакторной установке.



**– Вы говорите об использовании коммерческих кодов?**

– На базе коммерческих кодов мы разрабатываем технологию применения CFD анализа. Использование трехмерных гидродинамических кодов в ОКБМ Африкантов началось только в 2005 году – а до этого у нас попросту не было суперЭВМ необходимой производительности, без которых использование таких кодов просто невозможно – и на сегодняшний день вопрос их замещения отечественными кодами очень актуален. Во-первых, у нас, естественно, есть определенные ограничения по применению коммерческих кодов; во-вторых, и сами-то они передаются нам с определенными ограничениями. Поэтому одной из главных задач в рамках упомянутого проекта было создание отечественного кода ЛОГОС – трехмерного, гидродинамического. Задача эта тоже успешно решается, и сегодня мы уже начали наряду с коммерческими зарубежными кодами применять свой отечественный код, разработанный во ВНИИЭФ.

В его подготовке помимо специалистов ВНИИЭФ принимали участие многие другие специалисты, в частности, по гидродинамике, из Москвы, из Питера. А наша задача заключалась в том, чтобы обеспечить внедрение этих технологий в проектных работах. При этом предполагалось, конечно, что будут широко внедряться отечественные коды ЛОГОС и ДАНКО. Все, что намечалось, мы успешно выполнили, а сверх этого был сделан большой

объем работ по разработке технологии применения CFD кодов – в частности, для того самого расчета температурных пульсаций, о котором я упоминал. Перед нами прежде всего стояла задача научиться моделировать эти пульсации на компьютере, чтобы в результате получить расчет ресурса оборудования. Очень сложная задача, но мы освоили эту технологию. Для того чтобы получить реальный результат, ОКБМ на собственные средства переоборудовал гидродинамическую лабораторию. Сегодня эта лаборатория находится на очень современном уровне, не имеет аналогов в отечественной атомной энергетике, и мы можем смело говорить о том, что мы готовы выполнять верификацию CFD кодов для моделирования сложных процессов, происходящих в реакторных установках.

Вообще, в ходе проекта по внедрению суперкомпьютерных технологий мы ставили перед собой несколько задач. К нашей радости и, может быть, некоторому удивлению, все эти задачи успешно выполнены, что и было отмечено госкомиссией.

Во-первых, ставилась задача смоделировать с помощью CFD кодов температурные пульсации при различных характерных процессах теплообмена, определяющие ресурс реакторных установок. Они не подлежат моделированию другими традиционными программными средствами, что приводит к необходимости создания дорогостоящих натурных образцов оборудования, соответственно, существенно увеличивает время выполнения и стоимость работ. Разработанная нами технология верифицирована в гидродинамической лаборатории и с 2013 года будет применяться для обоснования ресурса теплообменного оборудования строящихся атомных подводных лодок и ледоколов нового поколения. Кроме того, эта технология вполне пригодна для использования при разработке других объектов атомной энергетики.

Во-вторых, мы хотели научиться моделировать те процессы в реакторах – в первую очередь в транспортных – которые необходимы для того, чтобы обосновать возможность внедрения новых перспективных режимов эксплуатации реакторных установок, в том числе позволяющих повышать тактико-технические характеристики наших военных кораблей. Эта задача также успешно решена.

В-третьих, совместно с НИЦ «Курчатовский институт» предполагалось создать виртуальную ядерную энергетическую установку, то есть, насытить ее системами управления и производить сложные связанные расчеты: нейтронно-физические, теплогидравлические и расчеты систем управления. Созданная



нами технология позволяет обеспечить комплексную отработку ядерной энергетической установки во всех режимах эксплуатации. С ее помощью уже удалось обосновать концепцию реакторной установки для ледокола нового поколения с проектным ресурсом, в три раза превышающим ресурс реакторных установок действующих ледоколов! Сейчас мы эту задачу еще расширяем, поскольку она очень востребована не только для ледоколов и для военно-морского флота, но и для других установок.

Наконец, четвертой была задача научиться моделировать аварийные ситуации, подобные тем, что произошли на подводной лодке «Курск». Это важно не только для того, чтобы знать, как действовать, если такое, не дай бог, повторится, но и для того, чтобы выявлять слабые места еще на этапе проектирования ядерных установок. Итогом работы стала технология, позволяющая проводить реалистический анализ последствий катастроф в процессе проектирования, а именно: выявлять конструктивные узлы и элементы, определяющие несущую способность оборудования и реакторной установки в целом от внешних динамических воздействий, и разрабатывать конструктивные решения и мероприятия по оптимизации элементов, обеспечивающих несущую способность, работоспособность и безопасность оборудования и снижающих материалоемкость изделий.

Комиссия, принимавшая результаты нашей работы, рекомендовала их применение в опытной эксплуатации, а частью уже и в промышленной эксплуатации. С 2013 года, как известно, начнутся работы по созданию нового атомного ледохода, и вот там мы уже будем применять свою новую технологию.

#### **– А реактор для нового ледохода будет проектировать ОКБМ?**

– Да, технический проект мы уже выполнили и защитили, решены вопросы финансирования по продолжению работ. Причем, несмотря на то, что проектировался совершенно новый реактор, использование созданных суперкомпьютерных технологий позволило выполнить проектирование реактора без создания опытного наземного прототипа. А это колоссальная экономия и времени, и средств.

#### **– Но если технический проект был выполнен три года назад, когда суперкомпьютерных технологий еще не было, как же вы могли использовать эти расчеты?**

– Некоторые расчеты уже выполнялись на этапе технического проекта, но они постоянно уточнялись с получением новых методик. Ведь технический проект – это лишь первый этап работы. Затем следует рабочий проект и НИ-ОКР. Разработка суперкомпьютерных технологий с самого начала предполагалась на этапе НИОКР, что и было выполнено. В результате масштабные и дорогостоящие натурные эксперименты мы смогли заменить виртуальными, компьютерными.

#### **– Означает ли развитие супертехнологий полный отказ конструкторов от натуральных экспериментов?**

– Нет, конечно, натурные эксперименты для некоторых видов оборудования будут всегда. Например, это касается сложных механизмов устройств с движущимися частями, со сложными системами управления, в которых необходимо проверять не только

происходящие в них процессы, но и технологию сборки. От так называемых сдаточных испытаний опытных образцов новой техники никто не отказывается, но прежде чем прийти к этой конструкции, ранее приходилось очень долго отрабатывать на стендах различные решения. Однако иногда получалось, что чем сложнее процесс, который происходит в этом оборудовании, тем менее информативны и достоверны результаты, полученные опытным путем. Виртуальная модель подчас дает больше достоверной информации – при условии, что она правильно сделана, конечно. Сейчас мы только в начале пути, но успехи очевидны, и мы вполне можем полученные результаты применять в своей практике.

#### **– Эти результаты, несомненно, повышают конкурентоспособность всей атомной отрасли...**

– Конечно! Если посмотреть на Европу, там внедрение CFD кодов ведется уже более десяти лет в рамках многих программ, в Соединенных Штатах – тоже, а мы начали их внедрение менее трех лет назад и по некоторым направлениям уже фактически находимся на одном уровне со своими западными коллегами. Сегодня в России есть хорошие разработки, которые успешно замещают коммерческие коды. Проблема в том, что деятельность по разработке отечественных кодов в нашей стране, к сожалению, слабо консолидирована. Каждый замкнут в своем пространстве и зачастую даже не знает о том, какие успехи достигнуты коллегами. Вот сейчас нам удалось хорошо продвинуться в своей работе, и мы надеемся на ее пролонгацию, ведь такие сложные коды, которые разрабатывает ВНИИЭФ, невозможно довести до ума за три года. На Западе огромные коллективы занимаются этим десятилетиями. Надеемся, что и у нас работа не будет остановлена на полпути.

#### **– Означает ли это, что разработки ВНИИЭФ станут общедоступными на отечественном рынке? Или у нас создадутся свои, внутренние коммерческие коды?**

– Конечно, и разработчики отечественных кодов, и мы как организация, разработавшая технологию их внедрения, будем защищать свои интеллектуальные продукты. Кстати, одно из первых заседаний Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики было как раз посвящено интеллектуальной собственности и механизмам ее защиты.

#### **– Но при этом на семинаре по верификации кодов, который проходил в ОКБМ, многие специалисты так же, как и Вы сейчас, сетовали на отсутствие консолидации усилий между отечественными разработчиками, что очень мешает эффективной работе. Так возможна ли в принципе такая консолидация в условиях рыночной экономики?**

– Предпосылки для этого есть, и хотелось бы, чтобы Росатом был нацелен не только на конкуренцию, но и на консолидацию усилий. Об этом и шла речь на семинаре по верификации, и одним из предложений было создание общей базы отечественных кодов. Мы готовы участвовать в этом проекте, но ведь нам важно и то, чтобы эти работы окупались.

На прошедшем в ОАО «ОКБМ Африкантов» семинаре, посвященном проблемам верификации и использования CFD программ, хотелось бы остановиться особо.

Нас как организаторов приятно удивили и состав участников – на семинаре присутствовали представители практически всех НИИ и проектных организаций отрасли, и уровень представленных докладов, свидетельствующий об огромном объеме работ, выполняемых в отрасли с целью внедрения CFD программ. Можно с уверенностью сказать, что прошедший семинар предоставил возможность уверенно заявить о себе ряду молодых перспективных специалистов отрасли из предприятий Росатома.

Интересных, неформальных технических докладов, выполненных специалистами отрасли, представителями академической науки и разработчиками CFD кодов, было очень много. Мне было очень интересно услышать доклады заместителя директора ИБРАЭ РАН Валерия Федоровича Стрижова и заместителя начальника Центра поддержки проектирования ОАО «ВНИИАЭС» Сергея Леонидовича Соловьева. В этих докладах был представлен подробный обзор работ по созданию и адаптации CFD программ, наиболее перспективные, по мнению авторов, направления их использования в атомной энергетике, а также обзор государственных программ по внедрению CFD программ, действующих в США и Европе.

Озвученные разными докладчиками направления и задачи использования CFD программ еще раз подтвердили – мы на правильном пути.

#### **– В таком случае целесообразно было бы финансировать все разработки, ведущиеся в стране в этом направлении, из единого центра, чтобы все результаты могли сразу становиться общим достоянием?**

– Предложения такие тоже поступали, возможно, этот разговор будет продолжен на межотраслевом уровне, когда госкомиссией будут заслушаны результаты работы ВНИИЭФ по всем направлениям: и по космосу, и по военным вооружениям, и по транспорту. В каждом из этих направлений свои особенности применения трехмерных гидродинамических кодов, и их разработкой также занимается ВНИИЭФ. Мы же со своей стороны налаживаем сотрудничество с Нижегородским техническим университетом, чтобы готовить специалистов, умеющих работать с новыми кодами, знающих технологию их применения – это очень важно для подготовки кадрового резерва отрасли в целом. Чтобы создать трехмерный гидродинамический код, требуется провести огромный объем подготовительных работ по тестированию, и мы привлекаем к этой работе студентов, приобщая их тем самым к разработке новых технологий.

Мы также выступаем с предложением о создании центра верификации программ, разрабатываемых во ВНИИЭФ, поскольку есть очень большая заинтересованность в этом и со стороны разработчиков, и со стороны конструкторов, и со стороны отраслевых вузов.

#### **– Пользуясь случаем, хочу задать Вам вопрос о том, какие перспективы видит ОКБМ в связи со вступлением страны в ВТО.**

– Мы планируем тесное сотрудничество с аналогичными лабораториями в Соединенных Штатах, и они проявляют в этом заинтересованность. Так что надеемся, что перспективы будут самые положительные.

– Спасибо за беседу.

**Галина МИТЬКИНА**

**2 января 2013 года исполняется 60 лет В.В. Петрунину, первому заместителю директора–генерального конструктора ОАО «ОКБМ Африкантов»**

Виталий Владимирович Петрунин пришел в ОКБМ в 1976 г., сразу по окончании Московского энергетического института по специальности «Инженерная теплофизика».

Здесь он прошел трудовой путь от инженера-конструктора до первого заместителя директора–генерального конструктора. С 2000 г. В. В. Петрунин – главный конструктор промышленных реакторных установок, с 2004 г. – первый заместитель директора ОКБМ.

Виталий Владимирович – высококвалифицированный специалист-атомщик в области проектирования, создания и эксплуатации промышленных уран-графитовых и тяжеловодных реакторов – наработчиков ядерных оружейных материалов. В 1987 году защитил кандидатскую диссертацию, а в 2003 г. – докторскую на тему «Опыт создания и перспективы использования промышленных тяжеловодных реакторов».

За большой вклад в развитие промышленных реакторных технологий Указом Президента РФ № 63 от 22 января 2005 г. В.В. Петрунину присвоено звание «Заслуженный конструктор Российской Федерации».

Виталий Владимирович много лет лично занимался решением важной научно-практической задачи государственного значения – продлением более чем в два раза сроков службы (до 45 лет) атомных теплоэлектроцентралей с промышленными уран-графитовыми реакторами АДЭ-2, АДЭ-4, АДЭ-5, что обеспечило выполнение государственного заказа по производству оружейного плутония и снабжению тепловой и электрической энергией гражданских и промышленных объектов городов Железногорск, Северск, Томск. В 2009 г. коллективу специалистов под его руководством за работу «Разработка научных основ и внедрение комплекса технологий повышения безопасности и продления сроков службы АТЭЦ с промышленными уран-графитовыми реакторами» присуждена премия правительства Российской Федерации в области науки и техники.

Профессор Петрунин ведет большую научно-методическую и учебную работу по подготовке инженерных и научных кадров для атомной отрасли: с 2006 г. является председателем государственной комиссии выпускников вузов по специальностям «Ядерные реакторы и энергетические установки» и «Судовые энергетические установки»; с 2008 г. – заведующим созданной в ОКБМ базовой кафедры «Конструирование ядерных реакторов» Нижегородского государственного технического университета; с 2011 г. – заместителем председателя созданного в ОКБМ диссертационного совета по защите кандидатских и докторских диссертаций. В 2012 г. удостоен премии Нижнего Новгорода в области образования за подготовку научных и инженерных кадров для атомной энергетики. Его эрудиция и научно-технические знания хорошо известны научной общественности предприятий Госкорпорации «Росатом», университетов и научно-исследовательских организаций страны, а также за рубежом. С 2004 г. он является членом научно-технического совета №1 «Ядерные энергетические установки и атомные станции» Госкорпорации «Росатом»; с 2008 г. – председателем НТС ОАО «ОКБМ Африкантов» и членом секции №2 «Ядерная технология и техника» совета по премиям в области науки и техники правительства Российской Федерации.

Свои знания и организаторские способности В.В. Петрунин эффективно применяет на должности первого заместителя директора–генерального конструктора ОАО «ОКБМ Африкантов» при разработке и создании новых образцов атомной техники различного назначения: промышленных реакторов, реакторов на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем; водо-водяных реакторов для атомных станций малой и средней мощности; высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов.

**Коллеги, ученики и друзья сердечно поздравляют Виталия Владимировича Петрунина с юбилеем, желают ему здоровья, энергии и новых творческих и научных достижений, благополучия и счастья в личной жизни!**







## Электрооборудование Electric Equipment

# Создание резервной дизель-генераторной установки для АЭС в России



КОЛОМЕНСКИЙ ЗАВОД

## ОАО «КОЛОМЕНСКИЙ ЗАВОД»

140408, Россия, Московская область,  
г. Коломна, ул. Партизан, д. 42

Тел. справочной службы:

+7 (496) 613-89-80

Коммерческая дирекция:

управление по маркетингу и сбыту:

+7 (496) 613-89-44

управление по снабжению:

+7 (496) 613-89-38

Факс: +7 (496) 613-80-66

kz@kolomzavod.ru

www.kolomnadiesel.com



ТРАНСМАШХОЛДИНГ

## ЗАО «ТРАНСМАШХОЛДИНГ»

127055, г. Москва, ул. Бутырский Вал,  
д. 26, стр. 1

Телефон/факс: +7 (495) 660-89-50

E-mail: info@tmholding.ru

www.tmholding.ru

В последние годы в России реализуется обширная программа по строительству новых атомных электростанций (АЭС). Наша страна занимает второе место в мире по количеству строящихся энергоблоков; предполагается вывод из эксплуатации сразу нескольких выработавших ресурс станций и их замена на новые – более современные, надежные и производительные. Необходимым элементом каждого энергоблока является резервная энергетическая установка, роль которой выполняет специализированная дизель-генераторная установка, используемая для обеспечения энергоснабжения каналов безопасности атомных станций. Установки должны соответствовать правилам и нормам, применяемым к оборудованию АЭС. В настоящее время на российские АЭС устанавливаются зарубежные дизель-генераторы, и появление отечественного производителя в секторе ДГУ для АЭС значимо с точки зрения импортозамещения в такой стратегически важной отрасли, как атомная энергетика.

В 2002–2003 гг. ОАО «Коломенский завод» впервые в своей практике создало новый вид продукции – резервную дизель-генераторную установку мощностью 6200 кВт для АЭС «Бушер-1». До этого завод производил дизель-генераторы только для железнодорожного транспорта, военно-морского флота и малой энергетики.

На тот период в программе производства завода не было дизель-генераторов соответствующей мощности. Поэтому было принято решение предложить потребителю ДГУ на базе двух шестнадцатцилиндровых дизелей мощностью по 3100 кВт каждый. Результат оказался успешным. Спарка надежно эксплуатируется на АЭС «Бушер».

В настоящее время завод завершает поставку резервных ДГУ мощностью 3200 и

4000 кВт для 4-го энергоблока Белоярской АЭС. За последние годы это первые дизели отечественного производства, поставленные на атомные электростанции.

Понимая необходимость наличия в производственной программе завода дизелей для систем безопасности АЭС типовых энергоблоков, специалисты ОАО «Коломенский завод» и ЗАО «Трансмашхолдинг» приступили к созданию базовой резервной ДГУ единичной мощностью 6300 кВт для обеспечения электроэнергией каналов безопасности на базе одного дизеля. Этот дизель предназначен для эксплуатации на АЭС с типовыми энергоблоками АЭС 2006 и ВВЭР ТОИ.

Сегодня в рамках Федеральной целевой программы по развитию дизелестроения в России активно разрабатывается новый дизель-генератор на базе V-образного 20-цилиндрового дизеля ЧН26,5/31 с номинальной мощностью 6300 кВт. Разработка ведется с учетом всех нормативных требований, предъявляемых к резервным ДГУ АЭС.

Уже разработаны технические проекты дизеля и дизель-генератора, изготовлен исследовательский одноцилиндровый двигатель, на котором отрабатываются регулировки полно-размерного двигателя. Все разработки ведутся с соблюдением норм и правил, применяемых в атомной энергетике.

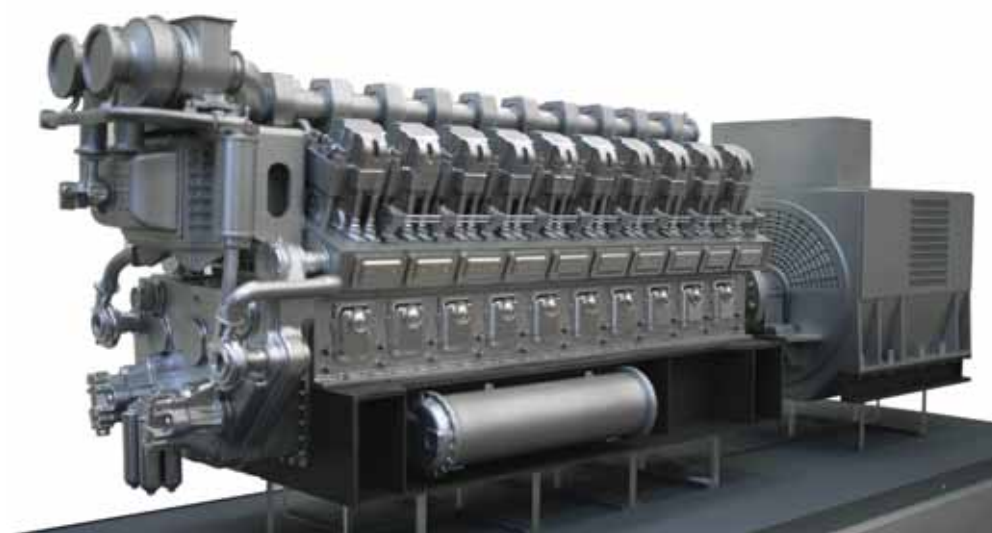
В конструкции заложена возможность охлаждения двигателей без использования воды от природных источников, что существенно улучшает экологические показатели установки в целом.

Применение современных конструктивных решений позволило существенно снизить расход масла и отказаться от пополнения картера маслом от замены до замены. Такое решение упрощает масляную систему станции и снижает пожарную нагрузку здания.

Сегодня есть полная уверенность, что такой дизель будет создан в 2013 году. Возможности ОАО «Коломенский завод» позволяют изготавливать, испытывать и поставлять такие ДГУ на различные АЭС, осуществлять, пусконаладочные работы и дальнейшее сервисное обслуживание продукции на протяжении всего периода ее эксплуатации. Предприятие имеет действующие лицензии и необходимый опыт.

На Коломенском заводе рассчитывают, что новый дизель будет востребован не только в России, но и за рубежом – на основе единой базовой конструкции будут создаваться современные и надежные двигатели не только для атомной энергетики, но и для железнодорожного транспорта, гражданского и военного флота, малой энергетики.

**Зам. главного конструктора –  
к. т. н. В. В. Калининко**



### Технические характеристики ДГУ

Тип дизеля	20-цилиндровый, 4-тактный, V-образный
Диаметр цилиндра, мм	265
Ход поршня, мм	310
Номинальная частота вращения коленчатого вала, мин <sup>-1</sup>	1000
Номинальная мощность, кВт	6300
Удельный расход топлива по ISO 3046-1, г/кВт·ч	183
Удельный расход масла на угар, г/кВт·ч	0,35
Выбросы вредных веществ, г/кВт	В соответствии с ГОСТ Р51249
Масса (сухая), кг	32000
Срок службы до капитального ремонта, ч	60000
Срок службы до списания, лет	40
Габаритные размеры, мм	
– длина	10200
– ширина	2400
– высота	3400





**ООО «КБ ТЕХНАБ»**

**Россия, 249034, Калужская обл.  
г. Обнинск-4, а/я 4039  
Тел.: (48439) 3-44-33, 9-70-22  
E-mail: teh@xdx.ru**

**ООО «КБ Технаб» специализируется на поставках оборудования, запасных частей, расходных материалов на объекты атомной энергетики России, ближнего и дальнего зарубежья. Лицензии Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору № МО-02-101-0309 от 27.04.07 г., № МО-02-101-0310 от 27.04.07 г., № ЦО-03-101-5401 от 16.04.2010 г., № ЦО-02-101-5402 от 16.04.2010 г. на право выполнения работ и предоставление услуг при эксплуатации действующих и строящихся атомных станций.**

Мы имеем многолетний опыт работы с атомными электростанциями России, ближнего и дальнего зарубежья.

С 1993 года ООО «КБ Технаб» осуществляет поставку на Балаковскую, Кольскую, Смоленскую, Ленинградскую, Курскую АЭС (Россия).

С 2002 года – на АЭС «ПАКШ» (Венгрия).

С 2003 года – на Волгодонскую и Калининскую АЭС (Россия).

С 2004 года – на Запорожскую и Ровенскую АЭС (Украина).

С 2005 года – в НАЭК Украины, Хмельницкую и Южноукраинскую АЭС (Украина).

С 2008 года – на Армянскую АЭС.

С 2008 года – ОАО «ИСК «Атомстрой» (г. Москва).

С 2009 года – на ФГУП «ГХК».

С 2010 года – на Билибинскую АЭС.

С 2011 года – в ЗАО «Атомстройэкспорт».

У ООО «КБ Технаб» заключены дистрибьюторские и дилерские соглашения со следующими заводами-изготовителями:

– ООО «СНИИП-АСКУР» (системы внутриреакторного контроля СВРК-М);

– Харьковский государственный приборостроительный завод им. Т. Г. Шевченко (автоматизированные системы управления и регулирования технологическими процессами турбинных отделений АСР

ТО, включая ЭГСР и СКМВТ, и реакторных отделений АСР РО; программно-технические комплексы автоматизированных систем контроля и управления технологическими процессами энергоблоков);

– ОАО «Теплоприбор», г. Рязань (преобразователи давления «Сапфир-22Р», МР, блоки питания, диафрагмы, сигнализаторы и датчики-реле уровня и потока РОС, уровнемеры РИС);

– ООО «ОКБ СП», г. Обнинск (комплексы измерения расхода воздуха);

– ООО НПП «Комплексы и системы», г. Пенза (средства промышленной автоматизации на основе комплекса ПАССАТ);

– ОАО «ВНИИАЭН», г. Сумы, Украина (запчасти к насосам, пластинчатые муфты и т. д.);

– АООТ «Завод Автоматика», Армения (системы индустриальной антисейсмической защиты, вторичные приборы);

– ОАО «Кристалл», г. Усолье-Сибирское (сцинтилляционные детекторы СДН);

– ОАО «АБС ЗЭИМ Автоматизация», г. Чебоксары (МЭО исполнительные механизмы);

– РУП «ВЗЭП», г. Витебск (измерители мощности, вольтметры, стрелочные приборы);

– ФГУП «НИИ физических измерений», г. Пенза (дистанционные указатели ДУ, сигнализаторы уровня СУ, сигнализаторы температуры СТ);



**Фотоэлектронный умножитель ФЭУ производства ОАО «Экран», г. Новосибирск**



**Микропроцессорный преобразователь «Сапфир 22МР» производства ОАО «Теплоприбор», г. Рязань**

– ОАО «Электротермометрия», г. Луцк, Украина (термопары, газо- и теплосчетчики);

– НПО «Термоприлад», г. Львов, Украина (термопары);

– ОАО «Сумское НПО им. М. В. Фрунзе», г. Сумы, Украина (насосы, центрифуги, газодувки и запчасти к ним);

– ЗАО «Гидромашсервис», г. Москва (насосы и запчасти к ним);

– АООТ ФЭХК «Высокая Энергия», г. Москва (двигатели 0,4 кВт в исп. «для АЭС» класс безопасности ЗН);

– ООО «Атомспецсервис», г. Волгодонск (нестандартное оборудование, блоки ТЭНБ, комплексы для модернизации перегрузочных машин);

– ОАО «Экран-Оптические системы», г. Новосибирск (ФЭУ – фотоэлектронные умножители);

– ООО НПП «ЭКРА», г. Чебоксары (защита станционного оборудования, шкафы серий ШЭ 1110... 1113, микропроцессорные устройства РЗА);

– ООО «Кандалакшский опытно-механический завод», г. Кандалакша (нестандартные металлоконструкции, оборудование для АЭС);

– ООО НПП «Пульс», г. Белгород (устройство электронно-электромагнитное противонакипное УЭП).

Это позволяет нам вести поставки изделий гарантированного качества в сжатые сроки. Мы отвечаем за качество поставляемой продукции перед заказчиком, ведем вместе с ним рекламационную работу по продукции, не отвечающей нормам ТУ и ГОСТам. На поставляемую нами продукцию распространяются гарантии заводов-изготовителей в полном объеме.

Все вышеуказанное позволяет нам в течение 15 лет успешно осуществлять поставки изделий и



**Многооборотный электромеханизм МЭМ-100 производства ОАО «АБС ЗЭИМ Автоматизация», г. Чебоксары**



**Измерительный преобразователь Е855 производства ОАО «ВЗЭП», г. Витебск**

приборной продукции предприятий-изготовителей на объекты ядерной энергетики России, ближнего и дальнего зарубежья.

**ООО «КБ Технаб» является официальным дилером компании ЗАО «АБЕК-АСУ», г. Обнинск, которое совместно с партнером ЗАО «Baltijos informacines sistemas» предлагает новое комплексное решение для АСУ ТП АЭС – базовый комплекс Системы автоматизированного контроля и управления BISMARC.**

САКУ BISMARC является современной системой, которая может быть сконфигурирована и использована практически для любых видов задач мониторинга и управления технологическим процессом. Система имеет архитектуру «клиент-сервер» с организацией передачи данных по TCP/IP и резервированием серверов. Программное обеспечение сервера выполняет сбор данных от контроллеров, их обработку, архивацию, в то время как клиентские приложения отображают данные в режиме реального времени и осуществляют взаимодействие с пользователем. В распределенной конфигурации каждый узел может выполнять роль сервера и клиента. BISMARC доступна на платформе Linux или Windows.

Подсистема ввода/вывода строится на базе оборудования компании RTP Corp. Могут применяться контроллеры и карты ввода/вывода серий RTP2300/2500 или RTP3000.

Результаты говорят сами за себя:

– время реакции 12 мс;  
– инициативные передачи данных с регистрацией 1 мс SOE (аналоговые и дискретные);  
– наработка на отказ (MTBF) больше чем 2500 лет;

– время ложных срабатываний (MTTFS) больше чем 3000 лет;

– средняя вероятность ошибки по запросу (PFDavg) в пределах 4.56x10<sup>-5</sup>;

– наивысшая работоспособность (целостность): SIL 1-3;

– специальные модули для управления с циклом 1 мс (к примеру, ротационные машины или экзотермические химические реакции).

Всеобъемлющая диагностика RTP позволяет выявить следующие возможные сбои и ошибки в работе системы:

– обрыв линий ввода/вывода;  
– превышение допустимых значений для плат аналогового ввода;

– внутренние ошибки плат ввода/вывода;

– внутренние ошибки контроллера шасси;

– внутренние ошибки центрального контроллера.

Системы сбора данных, реализованные на базе контроллеров RTP, успешно эксплуатируются на Игналинской АЭС, Калининской АЭС, Нововоронежской АЭС, Армянской АЭС, Темелинской АЭС и на многих других атомных станциях во всем мире.

В 2010 году выполнена поставка на Смоленскую АЭС САКУ BISMARC на базе контроллеров RTP2500, которая будет управлять установкой цементирования жидких радиоактивных отходов.



**Продукция научно-производственного предприятия «ЭКРА». Шкаф станционного оборудования серии ШЭ1111**



# АБС ЗЭиМ Автоматизация: стандарт качества для атомной отрасли



## ОАО «АБС ЗЭиМ АВТОМАТИЗАЦИЯ»

Россия, 428020, г. Чебоксары,  
пр. И. Яковлева, д. 1  
Тел.: +7 (8352) 30-51-95, 30-52-21, 30-51-48  
Факс: +7 (8352) 30-51-11, 55-15-49  
sales@zeim.ru, adm@zeim.ru  
www.abs-zeim.ru

Первое в стране предприятие по выпуску исполнительных механизмов, АБС ЗЭиМ Автоматизация, заняло на рынке собственную прочную нишу. Сегодня компания, основанная в 1958 году (именуемая до 2008 года ОАО «ЗЭиМ»), – признанный российский разработчик и производитель широкой номенклатуры средств автоматизации для систем промышленной автоматики, исполнитель инженеринговых проектов, ведущий отечественный поставщик приводной техники для атомной отрасли России, Ирана, Индии, Китая и стран СНГ.

Завод входит в международный электротехнический холдинг «АБС Электро», объединяющий 17 предприятий на территории России и Восточной Европы.

Качество продукции завода многократно отмечалось на федеральном уровне. Все изделия завода сертифицированы и соответствуют регламентирующим документам Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. Испытательная лаборатория и метрологическая служба аккредитованы Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии. Соответствие системы качества требованиям международного стандарта EN ISO 9001:2008 подтверждено сертификатами TUV Hessen CERT (Германия). В 2011 году компания в очередной раз успешно прошла надзорный аудит международного органа по сертификации.

Атомная продукция завода соответствует классу безопасности 2–3 по ПНАЭГ-01-011-97, сейсмостойкости категории I–II по НП-031 и IV группе исполнения по электромагнитной совместимости с критерием функционирования А по ГОСТ Р 50746–2000. Продукция изготавливается в соответствии с требованиями НП-068-05.

Номенклатура оборудования для АЭС включает широкий перечень хорошо себя зарекомендовавших продуктов и новых разработок:

- механизмы однооборотные рычажные **МЭО-А** – с номинальным крутящим моментом от 16 до 10 000 Нм;
- механизмы однооборотные фланцевые **МЭОФ-А** – с номинальным крутящим моментом от 16 до 4000 Нм;



- механизмы сигнализации положения **МСП-А** – с полным ходом вала 0–0,5, 0–18,8, 0–35 об.;

- механизмы многооборотные **МЭМ-100А** – от 4 до 63 оборотов; исполнение «под оболочку» и в обслуживаемые помещения;
- пускатели бесконтактные **ПБР-2МА, ПБР-3АА** и усилители тиристорные **ФЦ-0650 АЭС** – для управления механизмами.

Среди новинок завода – механизмы **МЭО, МЭОФ** с ограничителем максимального момента, предохраняющих приводную арматуру от нештатных перегрузок (заклинивание, попадание в полость арматуры инородных тел) в промежуточном положении запорно-регулирующего органа арматуры. В 2011 году была поставлена крупная партия механизмов **МЭОФ-КАМ** на Белоярскую АЭС.

Все более востребованы продукты завода с интеллектуальной составляющей. Так, преимуществом новых пускателей **ПБР-2ИА** и **ПБР-3ИА**, пришедших на замену **ПБР-2МА, ПБР-3АА** и **ФЦ-0650**, являются широкие функциональные возможности:

- микропроцессорное управление силовыми ключами;
- коммутация обмоток электродвигателя при нулевом значении напряжения питания, вследствие чего эмиссия коммутационных электромагнитных помех в питающую сеть максимально минимизирована;
- коммутация всех фаз питания электропривода;
- широкий диапазон мощностей коммутируемых электродвигателей от 20 Вт до 7,5 кВт;

- обработка сигналов с концевых и моментных выключателей электропривода;

- два встроенных независимых источника питания напряжением 24 В для питания цепей управления и сигнализации, а также питания датчика положения исполнительного механизма;

- выходы сигнализации состояния пускателя «неисправность» и «готовность» соответственно о диагностировании аварийной ситуации в самом пускателе или в электродвигателе исполнительного механизма и о готовности пускателя к управлению исполнительным механизмом;

- настройка параметров управления осуществляется со специализированного универсального пульта настройки с удобным и понятным человеко-машинным интерфейсом;

- имеется возможность настройки параметров управления с помощью переключателей на передней панели пускателя;

- наличие на передней панели индикаторов состояния пускателя.

Пускатели **ПБР-3ИА** и **ПБР-2ИА** имеют ряд дополнительных функциональных возможностей:

- возможность контроля сигнала от датчика температурной защиты электродвигателя – терморезистора РТС;

- возможность объединения пускателей в одну промышленную цифровую сеть RS-485 для удаленного диагностирования и контроля состояния аппаратуры пускателя и электродвигателя исполнительного механизма;

- дублирование физического канала промышленной цифровой сети RS-485 для увеличения надежности передачи информации от пускателей;

- возможность управления пускателями по промышленной сети RS-485 в качестве резервного.

В интеллектуальные пускатели встроены такие дополнительные алгоритмы управления исполнительным механизмом, как:

- «уплотнение» арматуры;
- динамическое торможение исполнительного механизма;
- контроль длительности пуска электродвигателя исполнительного механизма.

По ПНАЭГ-01-011–97 пускатели **ПБР-3ИА** и **ПБР-2ИА** относятся к элементам 2НУ, 3Н классов безопасности.

В 2010 году компания расширила имеющую лицензию на право проектирования и производства оборудования для АЭС, включив в нее проектирование и производство **токопроводов для атомных объектов**. При производстве токопроводов АБС ЗЭиМ Автоматизация использует современные качественные материалы, обеспечивающие высокую надежность герметизации узлов крепления изоляторов, и существенно повышает срок эксплуатации изделий.



**МЭО(Ф)-100 (250) КАМ** с ограничителем максимального момента



**ПБР-3ИА**



**Токопровод ТЭНЕ**



**ПБР-3АА**



**МЭМ-100**



# Применение частотно-регулируемого электропривода в атомной промышленности



## ЗАО «ЧЕБОКСАРСКИЙ ЭЛЕКТРОАППАРАТНЫЙ ЗАВОД»

**428000, г. Чебоксары, пр. И. Яковлева, 5**  
**Тел.: (8352) 395-690**  
**Факс: (8352) 627-267, 627-324**  
**E-mail: cheaz@cheaz.ru**

**Токмаков Дмитрий Анатольевич, технический директор ЗАО «ЧЭАЗ», генеральный директор ООО «ЧЭАЗ-ЭЛПРИ»**  
**Шепелин Александр Витальевич, к.т.н., руководитель департамента электропривода ЗАО «ЧЭАЗ»**  
**Зыков Александр Сергеевич, главный специалист ОАО «Атомэнергопроект»**

### Аннотация

В статье обосновывается необходимость применения частотно-регулируемого электропривода (ЧРП) в атомной промышленности. Предложен вариант высоковольтного преобразователя частоты мощностью до 17,5 МВА, выходным напряжением до 10 кВ.

Тенденция ближайшего десятилетия для российской генерации – невозможность поддержания АЭС в базовом режиме и, как следствие, эксплуатация их в режимах неполной мощности с большим разнообразием переходных и маневренных режимов, что предполагает другой подход к качеству систем регулирования [1].

В связи с активным выходом Государственной корпорации «Росатом» на мировой рынок инжиниринга АЭС проблема маневренного режима при суточном изменении нагрузки становится одной из важнейших задач, которую необходимо решать в ближайшее время [1].

В ТЗ проекта ВВЭР-ТОИ предусматривается реализация маневренного режима (100–50–100)% от  $N_{ном}$  при суточном изменении нагрузки. Такой подход подразумевает необходимость комплексного регулирования всех систем энергоблока. Так, изменение мощности АЭС при постоянстве расхода теплоносителя первого контура приводит к существенному перераспределению температур в активной зоне реактора, вызывая температурные перенапряжения на корпусе и конструкциях реактора, имеет место повышение вибраций оборудования при работе в нестационарных режимах.

Применение регулируемого электроприводов ГЦНА (реакторное отделение), ПЭН, КЭН (турбинное отделение), ЦН (БНС) создает оптимальные условия для работы энергоблока АЭС в маневренных режимах, в том числе при суточном изменении нагрузки. Применение ЧРП создает возможности не только реализации эффективного регулирования и повышения надежности оборудования, но и значительной экономии электроэнергии.

В связи с выходом Федерального закона от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности в РФ» вопрос экономии электроэнергии на собственные нужды стал еще более актуальным.

Расход потребления электроэнергии на собственные нужды энергоблока на различных АЭС ГК «Росатом» находится в пределах от 4,5 до 8,5% от общей генерации, а на аналогичных АЭС в странах Западной Европы и Америки на-

ходится в пределах от 4,5 до 5,5% от общей генерации. Снижение потребления электроэнергии на собственные нужды на 2–3% в масштабах всей атомной энергетики РФ приведет к эквивалентному увеличению генерации на 0,7 ГВт электроэнергии, что эквивалентно строительству нового энергоблока [1].

Свыше 90% потребляемой электроэнергии на собственные нужды энергоблока приходится на электропривод (асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором), который является огромным резервом энергосбережения и может обеспечить за счет внедрения инновационных технологий самый большой экономический эффект [1].

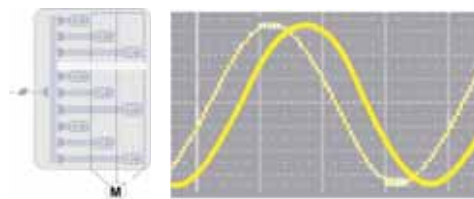
Как известно, идеальная нагрузочная кривая насоса представляет собой вентиляторную характеристику, где линейное снижение производительности насоса приводит к кубическому уменьшению потребляемой мощности. Несмотря на наличие противодействия, которое уменьшает снижение мощности при регулировании скорости, а также использование механических регуляторов давления, применение регулируемого электропривода таких насосов, как ПЭН, КЭН, может дать в среднем по году 15–20% экономии электроэнергии. А применение регулируемого электропривода на ГЦНА, где противодействие отсутствует и регулирование не применяется, может дать в среднем до 40% экономии. При этом сроки окупаемости ЧРП на насосах АЭС могут составить от 1,5 до 5 лет в зависимости от конкретного применения.

ЗАО «ЧЭАЗ» предлагает на рынке высоковольтный преобразователь частоты ВЧРП-ТМ. Это универсальный частотно-регулируемый электропривод переменного тока для промышленных нагрузок мощностью до 17,5 МВА с номинальным выходным напряжением 3/3,3 кВ, 6/6,6 кВ и 10/11 кВ. Силовая схема ВЧРП состоит из входного трансформатора и однофазных ячеек ШИМ-инверторов, включенных последовательно в каждой фазе (многоуровневый инвертор напряжения) (см. рис.).

ВЧРП-ТМ в отличие от ряда других преобразователей частоты имеет следующие основные преимущества:

Применение многоуровневой схемы включения низковольтных силовых ячеек с использованием IGBT транзисторов на напряжение 1700 В обеспечивает высоконадежное функционирование с расчетной средней наработкой на отказ привода 100 000 часов (12 лет) (такой вывод сделан на основе практического опыта эксплуатации обширного мирового парка установленного оборудования с технологией ВЧРП-ТМ).

Более высокий КПД, чем у традиционных приводов. Заводские испытания на реальной нагрузку показывают, что КПД привода составляет приблизительно 97% (расчетное значение). Высокий КПД является результатом меньшего



**Многоуровневый инвертор напряжения на низковольтных транзисторах с многообмоточным входным трансформатором. Формы кривых тока и напряжения на выходе многоуровневого инвертора напряжения**

количества полупроводниковых приборов за счет использования IGBT на напряжение 1700 В, снижения частоты переключений при многоуровневом ШИМ управлении, что уменьшает потери на переключение каждого IGBT транзистора, а также прямого подключения высоковольтного двигателя без выходного трансформатора и специальных фильтров.

Высокий входной коэффициент мощности. Каждая ячейка инвертора имеет диодный мостовой выпрямитель. В результате входной коэффициент мощности превышает 95% во всем диапазоне рабочих частот вращения, даже при управлении многополюсным асинхронным двигателем с низким коэффициентом мощности.

Чистая синусоида на выходе является результатом применения многоуровневого ШИМ-регулирования (см. рис.). Форма кривой выходного напряжения и тока близка к чистой синусоиде, а тепловые потери, вызванные гармониками, весьма незначительны. Более того, гармонические токи в двигателе сведены к минимуму, поэтому пульсации момента на выходном валу малы и очень мала вероятность резонансных крутильных колебаний нагрузки. Таким образом, в результате благоприятной формы выходного напряжения привода ограничения эксплуатационных характеристик двигателя по изоляции обмоток или по перегреву не требуется.

Входной разделительный трансформатор, встроенный в конструкцию корпуса привода, обеспечивает повышенную защиту двигателя, удешевляет стоимость установки, подавление гармоник на первичной стороне. За счет применения многообмоточного входного трансформатора ВЧРП имеет многопульсный выпрямитель и превосходит требования стандарта ГОСТ 13109. Это позволяет снизить гармонические искажения тока в питающей сети и защищает другое оборудование на промышленном объекте.

Конструкция ВЧРП обеспечивает продолжение работы при перебоях в электроснабжении до 300 мс, что гарантирует бесперебойную эксплуатацию электродвигателя в случае критически важных нагрузок.

Опция синхронизированного переключения на сеть без прерывания тока двигателя позволяет управлять многодвигательной системой от одного привода. Таким образом, вероятность бросков тока и момента двигателя при переходе двигателя на сеть исключена.

### Выводы:

1. Построение современных энергоблоков АЭС должно осуществляться с применением частотно-регулируемого электропривода основных энергоемких насосных агрегатов, обеспечивающего необходимые технологические режимы работы оборудования и требуемую энергоэффективность функционирования энергоблоков.

2. Высоковольтный преобразователь частоты ВЧРП-ТМ производства ЗАО «ЧЭАЗ» применяется в различных областях промышленности, имеет ряд преимуществ и может быть рекомендован для применения в регулируемых электроприводах насосных агрегатов АЭС.

### Литература

1. Зыков А. С. Основные концептуальные решения эффективного применения частотно-регулируемого электропривода в проекте ВВЭР-ТОИ / 8-я Международная научно-техническая конференция «Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики» МНТК-2012. Москва, 2012.



## ООО НПП «ЭКРА»

**428000, Чувашская Республика,  
г. Чебоксары, пр. И. Яковлева, 3  
Тел./факс: (8352) 220-110  
E-mail: ekra@ekra.ru  
www.ekra.ru**

**Надежность и качество поставляемой продукции является непременным условием конкурентоспособности компаний-производителей. ООО НПП «ЭКРА», одно из ведущих российских предприятий по разработке и изготовлению современных микропроцессорных устройств РЗА всей «линейки» напряжением 6–750 кВ, постоянно работает над совершенствованием своего производства, чтобы соответствовать современным требованиям к качеству выпускаемой продукции.**

НПП «ЭКРА» располагает большими технологическими возможностями для обеспечения надежного качества продукции, а руководство предприятия держит ключевые участки производства под постоянным контролем.

В отличие от многих известных производителей микропроцессорных устройств НПП «ЭКРА» имеет собственное металлообрабатывающее производство. Предприятие располагает производственными мощностями и применяет самые передовые технологии при изготовлении металлоконструкций шкафов любой сложности. Механообрабатывающее производство оснащено новейшим оборудованием ведущих мировых фирм: от установки лазерного раскроя Bysprint, координатно-револьверных и листогибочных гидравлических прессов до современного сварочного оборудования. Для защиты и покрытия элементов металлоконструкций установлены современные автоматизированные производственные линии порошковой окраски и гальванопокрытий.

На предприятии функционируют несколько производственных участков сборки: терминалов, шкафов РЗА, низковольтных комплектных устройств, устройств плавного пуска. Имеющийся автоматизированный склад хранения комплектации Kardex позволяет оптимизировать процесс сборки изделий.



Монтаж печатных плат и сборка терминалов осуществляются в специально оборудованных помещениях с антистатической защитой и климат-контролем. При монтаже печатных плат задействованы две автоматические линии поверхностного монтажа, автоматы формовки выводов электронных компонентов и установка пайки двойной волной элементов, монтируемых в отверстия плат. Для удаления органических загрязнений и остатков флюса после монтажа используются две автоматические системы струйной отмывки печатных плат. Благодаря современному оборудованию качество монтажа поддерживается на высоком уровне, максимально автоматизируется технологический процесс изготовления продукции и сводится к минимуму человеческого фактора.

Технологическим процессом предусмотрена многоступенчатая система проверки качества изготавливаемой продукции. Для выявления скрытых дефектов сборки терминалов и шкафов на ранней стадии проводится термодублирование всех собираемых электронных блоков и термопрогон полностью настроенных терминалов и шкафов. Термопрогон всех терминалов и отдельных шкафов проходит в герметичных камерах при максимальной допустимой рабочей температуре для выпускаемых изделий непрерывно 72 часа в полном рабочем состоянии и выявляет слабые места электронных блоков. Контроль качества, проверка параметров изделий осуществляется в автоматическом режиме с помощью программного обеспечения, разработанного специалистами НПП «ЭКРА». Термодублирование отдельных блоков в камерах фирмы VOTCH при многократном быстром изменении температуры от –20 до +55°C в течение 24 часов позволяет выявить проблемные контакты и соединения.

В технологическом цикле сборки шкафов и терминалов осуществляется автоматическая на-

ладка шкафа и терминала с выдачей протокола испытаний.

Разработки, продукция и сервис НПП «ЭКРА» сфокусированы на улучшение показателей надежности и продуктивности работы наших заказчиков. Выпускаемые устройства предприятия аттестованы для применения ОАО «ФСК ЕЭС», ОАО «РусГидро», ОАО «Концерн «Росэнергоатом», ОАО «Газпром», АК «Транснефть». В мае 2012 года НПП «ЭКРА» успешно прошло ресертификационный аудит на соответствие Системе менеджмента качества предприятия требованиям международного стандарта ISO 9001:2008. Концепция непрерывного улучшения – основа стандартов ISO. Для НПП «ЭКРА» сертификация системы менеджмента качества является важнейшим фактором конкурентоспособности и динамичного развития. НПП «ЭКРА» аккредитовано Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору на право проектирования, конструирования и изготовления оборудования для объектов атомной энергетики по 4-му и 3-му классу безопасности. Сегодня уже около 400 шкафов микропроцессорных устройств РЗА и низковольтных комплектных устройств установлены на 9 атомных станциях нашей страны. Спектр выпускаемой продукции и предоставляемых предприятием услуг для объектов атомной энергетики постоянно расширяется.

В 2011 году начато строительство еще одного производственного сборочного корпуса, который будет полностью оснащен к 2014 году. Имеющийся производственный потенциал позволяет выпускать около 4 тысяч шкафов в год, а с вводом новых производственных площадей выпуск продукции может возрасти в два раза.

НПП «ЭКРА» стремится обеспечить своих заказчиков не только высококачественной продукцией, но и предоставить квалифицированные сервисные услуги качественно и в оптимальные сроки. Для удобства взаимодействия с региональными энергокомпаниями и профессиональной поддержки заказчиков расширяется сеть представительства НПП «ЭКРА»: в 2012 году открыты представительства в дальневосточном и южном регионах – «ЭКРА-Восток» и «ЭКРА-Юг».

НПП «ЭКРА» готово к поставкам современного, качественного и надежного оборудования РЗА в требуемых объемах для выполнения планов строительства, реконструкции, обновления и модернизации объектов электроэнергетики, в том числе и атомной, по всей России и за рубежом.

## EKRA LLC

**3, prospekt I.Yakovleva, Cheboksary,  
Chuvash Republic, 428000, Russia  
Phone/Fax: (8352) 220-110  
E-mail: ekra@ekra.ru  
www.ekra.ru**

**Manufacturers are supposed to ensure reliability and high quality of their products in order to be competitive. EKRA Research and Production Enterprise LLC., one of the top Russian companies manufacturing a whole range of relay protection and automation microprocessing units with voltage of 6 to 750 kV, constantly seeks to improve its production facilities to be able to meet modern requirements to the products quality.**

EKRA Research and Production Enterprise has extensive production base. The key areas of production are under constant control of the company's management.

In contrast to many famous producers of microprocessing units, EKRA LLC. has metal-working facilities of its own. Metal work of cabinets of any complexity is manufactured with the use of state-of-the-art technologies. Mechanical engineering production is equipped with machinery of the top companies such as Bysprint laser cutting unit, jig-revolver presses, sheet bending hydraulic presses, modern welding equipment. The protection coating of metal work is made with the use of advanced automated powder coating and electrochemical facing equipment.

Several shop areas are engaged in production of terminals, cabinets for relay protection and automation

units, low-voltage complete devices and softstarters. With Kardex stow of components the company makes improvements in the assembly process.

Printboards and terminals are assembled in specially equipped rooms with antistatic protection and climate control. Printboards are assembled at two automated surface-mounted assembly lines with the use of component preforming machines and double-wave soldering units. Organic impurities and residual flux are removed at two jet-scrubbing automated units. Using modern equipment, the company ensures high quality of products, automates the engineering process and reduces the effect of the human factor.

To detect hidden defects of terminals and cabinets at an early stage, thermocycling of all electronic units and thermal testing of adjusted terminals and cabinets are performed. Thermal testing is made in hermetically sealed chambers during the period of 72 hours at the maximum permissible service temperature in order to detect trouble spots of electronic units. Condition monitoring is effected through the communication link with the product, the data on the product condition and thermal testing regimes are recorded at the company's server. Thermocycling of separate units in VOTCH chambers with multiple change of temperature from – 20 to +55°C during the period of 24 hours makes it possible to detect trouble contacts and connections.

The assembly of terminals and cabinets includes their automated adjustment with producing of the result logs and recording the data at the company's server.

Products and services of EKRA LLC. are intended to increase reliability and productivity of our customers' performance. The units produced have been attested and admitted for use by the United Power System JSC,

Rusgidro JSC, Rosenergoatom Concern JSC, Gazprom JSC, Transneft. In May 2012 re-certification auditing confirmed the conformance of the company's quality management system to ISO 9001:2008. ISO standards are based on constant improvement concept. EKRA LLC. sees certification of the quality control system as an important means to enhance the company's competitiveness and to boost development. EKRA has been licensed by the Federal Service for Ecological, Technical and Nuclear Monitoring to design, develop and produce nuclear facilities equipment of the 3rd and 4th safety class. Over 400 relay protection and automation units and low-voltage complete devices have been installed at 9 nuclear power plants of the country. The company expands the range of products and services for nuclear facilities.

A new assembly building was initiated in 2011 and will be completely equipped by 2014. With the present production facilities the company manufactures about 4,000 cabinets annually, with new facilities completed the productivity will be doubled.

EKRA Research and Production Enterprise provides its customers with both high-quality products and prompt qualified services. It expands its net of regional representation offices in order to improve interaction with regional power producing companies and to provide better support of clients. In 2012 two representation offices – EKRA-Vostok and EKRA-Yug – were opened in the Far East and the southern region, respectively.

EKRA Research and Production Enterprise can deliver required quantities of modern high-quality relay protection and automation units for building, reconstruction, revamping and modernization of power production facilities, including nuclear facilities, in Russia and abroad.



- ✓ Электроприводы для управления арматурой любого типа



- ✓ Интеллектуальные блоки управления и редукторы
- ✓ Расширенный срок службы
- ✓ Надежность, подтвержденная референциями

# auma®

*Solutions for a world in motion*



## ООО «ПРИВОДЫ АУМА»

Центральный офис в Москве: (495) 221 6428

Офис в Санкт-Петербурге: (812) 380 9886

Офис в Сургуте: (3462) 236 234

Офис в Красноярске: (391) 291 1260

E-mail: [aumarussia@auma.ru](mailto:aumarussia@auma.ru)

**30-летний опыт поставок в атомную энергетику**





ТРАДИЦИИ ТУЛЬСКИХ МАСТЕРОВ

## ЗАО «ТУЛАЭЛЕКТРОПРИВОД»

301114, Россия, Тульская область, Ленинский р-н,  
пос. Плеханово, ул. Заводская, д. 1, корп. А  
Телефоны: +7 (4876) 79-67-09, 79-66-18.  
Факс: +7 (4876) 79-67-17, 79-64-18  
E-mail: [privod@tula.net](mailto:privod@tula.net)  
[www.tulaprivod.ru](http://www.tulaprivod.ru)

**50 лет** на рынке  
трубопроводной  
арматуры.  
Ведущее предприятие  
России по производству  
электроприводов  
для атомной энергетики.



- **Конструирование**
- **Производство**
- **Поставка**
- **Сервисное обслуживание**





**Системы управления и контроля.  
Безопасность АЭС**

**Control systems.  
NPP safety**



## НПП «КОМПЛЕКСЫ и СИСТЕМЫ»

**440028, Россия, г. Пенза,  
проспект Победы, 75а.  
Тел./факс: (8412) 44-76-37,  
95-75-65, 95-59-98.  
E-mail: office@comp-sys.ru  
www.comp-sys.ru**

Научно-производственное предприятие «КОМПЛЕКСЫ и СИСТЕМЫ» создано в 2002 году.

Миссия предприятия – разработка, производство и поставка программно-аппаратных средств и систем автоматизации, обладающих высокой надежностью и отказоустойчивостью, электромагнитной совместимостью, устойчивостью к внешним возмущающим факторам и предназначенных для оснащения технологических объектов энергетики, промышленности и транспорта.

«КОМПЛЕКСЫ и СИСТЕМЫ» – малое предприятие. В своей работе мы следуем принципу великого полководца Суворова – «не числом, а умением». Наше малое предприятие способно создавать большие системы. То, что мы можем изготовить «на стороне», мы отдаем на другие предприятия, оставляя за собой самую ответственную работу – интеграцию системы и наделение ее «интеллектом». А то, что строим



Блок автоматического регулирования (БАР)



**Мякишев Дмитрий Владимирович,  
генеральный директор – главный конструктор  
НПП «КОМПЛЕКСЫ и СИСТЕМЫ»**

систему не из импортных «кирпичей», а из блоков собственной разработки, позволяет нам подогнать ее точно под требования заказчика.

Изготовление средств автоматизации и систем на их основе осуществляется по отработанной конструкторской документации. Изготовленные изделия проходят приемку ОТК и государственных органов надзора по согласованным и утвержденным в установленном порядке техническим условиям (ТУ). При этом используются производственные мощности как своего предприятия, так и других, с которыми установлены прочные партнерские отношения.

### Базовым продуктом предприятия является комплекс средств автоматизации ПАССАТ.

Комплекс ПАССАТ предназначен для построения и модернизации автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) на энергоблоках атомных станций и других промышленных объектах. Представляет собой набор унифицированных программно-аппаратных средств (своеобразный конструктор Lego), из которых могут компоноваться различные по архитектуре и уровню сложности заказные системы.

ПАССАТ – полностью российская разработка, изначально ориентированная на применение на объектах атомной энергетики и выполненная в соответствии со стандартами, нормами и правилами, действующими в данной области. Это современная цифровая система, реализованная с использованием прогрессивных технологий на современной элементной базе.

Изначально комплекс ПАССАТ создавался как российская альтернатива зарубежным программно-техническим комплексам аналогичного назначения, в первую очередь комплексам Teleperm XP/XS фирмы Siemens. При этом ставилась задача не «тупо» скопировать прототип, а создать совершенно новый продукт, имеющий существенные, дающие пользователю реальные преимущества, отличия от аналогов. Таких отличий у ПАССАТа три.

**Первое отличие.** Модули комплекса ПАССАТ являются проектно-компонентными с точностью до одного-двух каналов ввода/вывода. Это обеспечивает высокую степень адаптации к системному проекту, построение практически безизбыточных систем, т. к. в этом случае «кирпичиком» проектанта является не функциональный модуль, а измерительный или выходной канал. Вместе с тем это не исключает

возможность введения «полезной» избыточности, например с целью резервирования.

Данное свойство комплекса достигается за счет применения мезонинной технологии. Каждый мезонин представляет собой миниатюрный модуль, реализующий от одного до трех каналов ввода/вывода. Мезонины ввода выполняют предварительную обработку сигналов и преобразование их в цифровую форму. Соответственно мезонины вывода на основе цифрового кода формируют выходной сигнал. Мезонины используются для формирования каналов модулей функциональных (МФ), блоков автоматического регулирования (БАР) и блоков автоматического регулирования малогабаритных (БАР-М).

В настоящее время в состав комплекса включено около 60 различных типов мезонинов, охватывающих практически всю номенклатуру аналоговых и дискретных сигналов, применяемых в системах контроля и управления (СКУ) энергоблоков АЭС. На их основе создано более 30 различных типов модулей. Состав модулей расширяется от проекта к проекту.

**Второе отличие.** Модули комплекса по уровню их «интеллекта» разделены на три категории. «Интеллект» модулей первой категории (МФ) реализован на программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС), сочетающих в себе детерминизм «жесткой» логики и гибкость программирования. Это позволяет создавать структуры управления работой модуля, в точности соответствующие решаемой задаче, без излишнего усложнения, прозрачные для процедур верификации и валидации.

«Интеллект» модулей второй категории (БАР-М) реализован на микроконтроллерах на базе процессорного ядра с архитектурой RISC. Данное решение позволяет создавать относительно дешевые и компактные модули, вместе с тем обладающие функциональностью, достаточной для реализации алгоритмов ПИД-регулирования, технологических защит и блокировок. На основе каждого такого модуля может быть реализовано индивидуальное автоматическое управление исполнительным механизмом, таким как задвижка, регулирующийся клапан и т. д. Наличие каналов цифрового интерфейса RS-485 в БАР-М позволяет реализовать функции дистанционного управления, передачи технологических параметров на верхний уровень системы, программное



Блок автоматического регулирования малогабаритный (БАР-М)





Модуль функциональный (МФ) с установленными мезонинами



Модуль центрального процессора (МЦП)

конфигурирование (изменение параметров и алгоритмов управления) в режиме online.

«Интеллект» модулей третьей категории реализован на встраиваемых компьютерных модулях (ВКМ) на базе микропроцессоров с

архитектурой типа Intel 80x86. Вычислительная мощность таких модулей сопоставима с аналогичным показателем современных ПК. К третьей категории относятся модули центрального процессора (МЦП) и блоки автоматического регулирования (БАР). Оснащенные соответствующим программным обеспечением модули данной категории способны выполнять широкий спектр управляющих и информационных функций.

Наличие в комплексе модулей с разнообразным «интеллектом» позволяет оптимизировать соотношение «цена/качество» при создании систем автоматизации, в каждом проекте применять модули, адекватные сложности решаемых задач.

**Третье отличие.** В комплексе реализованы контроллеры двух архитектур: централизованного управления и распределенного управления. Это позволяет обеспечить необходимое разнообразие создаваемых систем, применять в каждом конкретном случае архитектуру, соответствующую архитектуре всей системы, использовать в полной мере преимущества управления как на основе программной, так и на основе «жесткой» логики.

Контроллер централизованной архитектуры представляет собой блок монтажный

(крейт) с установленным в него модулем центрального процессора (МЦП) и набором модулей функциональных, состав которого определяется проектом. Взаимодействие модулей внутри контроллера осуществляется по шине VMEbus либо по последовательному интерфейсу RS-485.

Контроллер распределенной архитектуры представляет собой блок монтажный (крейт) с установленным в него модулем коммутации БАР-0 или БАР-0-М и набором управляющих модулей БАР или БАР-М, конфигурация и количество которых определяются проектом. Взаимодействие модулей внутри контроллера осуществляется по последовательному интерфейсу RS-485.

Контроллеры устанавливаются в шкафы, оснащенные дублированной защищенной от помех системой электропитания и средствами коммутации. При необходимости возможна установка контроллеров распределенной архитектуры в электротехнические шкафы.

Связь системы верхнеблочного уровня управления (СВБУ) с контроллерами обоих типов осуществляется по ЛВС Ethernet 10/100 Мбит/с как по медным, так и по волоконно-оптическим линиям связи, как правило, через специальные шлюзы.

Программное обеспечение (ПО) контроллеров разрабатывается на языках С/С++ с использованием соответствующих инструментальных средств. Предусмотрена возможность гибкого конфигурирования ПО с помощью графического редактора, в том числе и на объекте эксплуатации.

Комплекс ПАССАТ и блок автоматического регулирования малогабаритный (БАР-М) внесены в Государственный реестр средств измерений.

На основе средств комплекса ПАССАТ реализованы и эксплуатируются система автоматизации вспомогательных систем общеплощадной ХВО-2 Нововоронежской АЭС, система автоматизации регуляторов питания парогенераторов 3-го энергоблока Белоярской АЭС, система сбора и обработки сигналов автохимконтроля ПАССАТ-АХК-Р, из состава системы автоматического контроля водно-химического режима (ВХР) 1-го и 2-го энергоблоков Ленинградской АЭС, система автоматического химического контроля ВХР 3-го и 4-го энергоблоков Ленинградской АЭС, устройства сопряжения с объектом информационно-вычислительной системы (ИВС) 5-го энергоблока Нововоронежской АЭС, предназначенные для модернизации информационного комплекса М-60, аппаратура автоматического регулирования клапанов турбин № 4,5 и 6 энергоблока № 3 Белоярской АЭС и ряд других систем.

В настоящее время время интенсивно ведутся работы по созданию средств автоматизации системы контроля и управления электрообогревом натрия (СА СКУ ЭО) для оснащения 4-го энергоблока Белоярской АЭС.

**Таким образом, комплекс ПАССАТ представляет собой набор современных средств промышленной автоматизации, охватывающий широкий спектр систем, как управляющих, так и информационных.**

Главным конкурентным преимуществом комплекса является его гибкость, высокая степень адаптации к решаемым системой задачам за счет примененных при его разработке инновационных технических решений.

Результаты внедрения систем на основе комплекса ПАССАТ подтверждают его высокие эксплуатационные характеристики.



Контроллер с централизованной архитектурой



## ПРОГРЕСС-ЭКОЛОГИЯ

**249033, Калужская обл., Обнинск-3,  
а/я 3011. Тел./факс: (48439) 77548.  
101000, Москва,  
Колпачный пер., д. 6, стр. 4  
Тел./факс: (495) 6262502  
E-mail: p-ecologia@sftcomp.ru  
www.p-ecologia.obninsk.ru**

**– Людмила Атамовна, расскажите, пожалуйста, о том, каким образом деятельность вашей компании связана с наукой и наукоёмкими технологиями?**

– ЗАО «Прогресс-Экология» работает на рынке наукоемкой продукции с 1999 года.

Уже при выходе на рынок оборудования для АЭС двенадцать лет назад ЗАО «Прогресс-Экология» предложило три принципиально новых (запатентованных) изделия – аэрозольные и аэрозольно-сорбирующие фильтры нового поколения для эффективной очистки выбросов АЭС от радиоактивных частиц и радиоактивных газов. Внедрив эти инновационные изделия (проведя постановку оборудования на производство и организацию серийного производства), ЗАО «Прогресс-Экология» постепенно закрыло своими поставками всю нишу этих фильтров на российских АЭС, а также на АЭС в Иране и Индии, а потом пошло по пути совершенствования этих продуктов, приведения их в соответствие с новыми требованиями и нормами, техническими условиями, показателями качества, т. е. по пути модернизации.

Поскольку первый опыт был для предприятия удачным, то и по всем остальным направлениям, в которых разрабатывается и производится оборудование, мы действуем по тому же алгоритму: инновация – завоевание ниши рынка – модернизация – расширение поставок.

Сейчас предприятие производит для АЭС аэрозольные и аэрозольно-сорбирующие фильтры спецгазоочистки, фильтры приточной вентиляции, фильтры-адсорберы, фильтровальные и сорбирующие установки различной производительности и назначения, фильтры для химводоподготовки, фильтры очистки воды и фильтры-ловушки, оборудование для сбора и транспортировки ТРО, а в 2010 году мы серийно начали производить фильтровальное



Контейнер для сбора ТРО I группы активности



Л. А. Ломазова, директор холдинга «Прогресс-Экология»

оборудование для медицинских радиологических центров.

В каждом направлении внедрены инновации: о фильтрах спецгазоочистки и приточной вентиляции уже сказано, а в фильтрах-адсорберах внедрена принципиально новая конструкция, позволяющая производить в них замену отработавшего сорбента, что раньше в фильтрах-адсорберах на российских АЭС было невозможно. Это очень важно с точки зрения радиационной безопасности, а также и с точки зрения экономики, поскольку заменяется отработанный сорбент, а не целый фильтр-адсорбер. В фильтрах химводоподготовки инновация также в новом техническом решении, предусматривающем «ложное плоское дно с фильтрующими элементами», в то время как раньше в аналоге была конструкция «дно копирующая система с фильтроэлементами», это изменение переводит эксплуатацию данного оборудования АЭС на другой уровень надежности.

Свои инновационные решения предприятие патентует и активно внедряет достижения других разработчиков, в частности, покупает лицензионные права на право производства.

Для медицинских радиологических центров производится аэрозольно-сорбирующие фильтры для обеспечения безопасной для окружающей среды, а также пациентов и персонала центров работы с изотопной продукцией. Предлагаемые фильтры – это тот продукт, который сочетает в себе как инновацию – идея сочетания в конструкции фильтра аэрозольной и сорбирующей частей принципиально нова и защищена патентом, так и модернизацию, поскольку фильтры для радиологических центров получены как доработка и улучшение продукции уже внедренной на АЭС.

Оборудование, выпускаемое под торговой маркой ЗАО «Прогресс-Экология», имеет все



Фильтр-адсорбер АУИ со сменным сорбирующим картриджем

сертификаты соответствия и изготавливается как по типовым размерам, так и по индивидуальным проектам. Имеющийся опыт взаимодействия с промышленными предприятиями, высокая квалификация сотрудников компании позволяет нам успешно решать сложные задачи по обеспечению промышленных объектов высокоэффективным, надежным и качественным оборудованием.

**– Каким образом вам удаётся совмещать производственную деятельность с научной? Ведь наука требует достаточно больших капиталовложений, а результат, по крайней мере экономический, проявляется не сразу.**

– Мы должны понимать, что предприятия, работающие в сфере высоких технологий, в том числе и производящих оборудование для атомной энергетики, ДОЛЖНЫ развиваться по инновационному сценарию.

Инновации – это классическая схема: получение нового продукта, которое позволяет получить дополнительную ценность при его внедрении. Это естественный процесс развития, поскольку в той области, в которой работает предприятие, а это разработка и производство оборудования для атомной энергетики, и в той области, в которую мы планируем поставлять новое оборудование, рынок может воспринять только оборудование, превосходящее существующее аналоги. Причем это превосходство должно быть не столько по техническим характеристикам, но и давать принципиально другое качество эксплуатации этого оборудования.

Вот почему предприятие просто обязано тратить время и деньги на инновации, в конце концов это наше будущее, будущее наших детей.

ЗАО «Прогресс-Экология» оснащено современным производственным оборудованием и испытательными установками, имеет лицензии федеральных служб на изготовление и конструирование оборудования для АЭС, обладает рядом патентов. Все эти разработки применяются сейчас и могут быть применены в новых направлениях деятельности.

Предприятие активно работает с научными центрами, творческими коллективами и отдельными учеными России – приобретает лицензии на право производства запатентованных разработок, финансирует финишные научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки и внедрение перспективных изделий и технологий на своих производственных мощностях.

Мы располагаем научной базой, технической базой и усердием – вот три составляющие, которые позволяют нам опробовать и внедрять ноу-хау. Если сравнить наше предприятие с человеком, то у нас есть руки, ноги и, что на сегодняшний день у многих является дефицитом, голова.

Данный инновационный подход позволяет предприятию создавать и производить оборудование нового поколения, отвечающее современным техническим требованиям, и обеспечивать надежный контроль их качества. Всё изготовленное фильтровальное оборудование проходит приемочные испытания на аттестованных Госстандартом испытательном комплексе ИКАФ-5000 и стенде испытания йодных сорбентов по радиоактивному йоду.

**– Над какими научными или научно-производственными проектами сегодня работает ЗАО «Прогресс-Экология»?**

– В настоящий момент нашими учеными рассматривается вопрос производства нескольких инновационных программ и разра-





**Фильтры-ловушки для систем химводоочистки**



**Установки фильтровальные комбинированные аэрозольной и йодной очистки для систем очистки технологических выбросов АЭС**

боток, которые могут быть успешно использованы на общепромышленных предприятиях.

Это организация производства фильтровальных установок с периодически регенерируемыми фильтрами.

Данная продукция уменьшит затраты на очистку газов, что позволит значительно снизить вредные выбросы промышленных предприятий и, как следствие, улучшить экологическую обстановку. Факт снижения затрат при использовании такого оборудования в значительной мере повышает конкурентоспособность.

Это производство фильтрующих материалов. Конструкция, технические характеристики, стоимость аэрозольных фильтров существенно определяются фильтрующимися материалами.

В наше время в России отсутствует производство стекловолоконных высокоэффективных фильтрующих материалов. Производство полимерных волокнистых материалов устарело и разрушено.

В ЗАО «Прогресс-Экология» необходимо организовать производство сорбционно-фильтрующих материалов на основе полимерных фильтрующих материалов и высокодисперсных йодных и других сорбентов и поглотителей, а также на основе высокопористых волокнистых

сорбентов, так как эти материалы важны уже сейчас для производств различных фильтров-адсорберов и фильтров-поглотителей, в том числе для йодных фильтров-адсорберов, и для производства пробоотборников радиоактивных аэрозолей и йода, а в дальнейшем, если будут созданы йодные и другие сорбенты, стойкие к газообразным отравляющим примесям, их роль будет определяющей для производств средств очистки воздуха и воздушных выбросов от газообразного радиоактивного йода и других.

Это производство фильтров-поглотителей. Целесообразно организовать производство фильтров-поглотителей вредных газов и паров. Создать производство хемосорбентов (химических поглотителей, как гранулированных, так и высокодисперсных с регулируемым распределением размеров частиц, включая наночастицы, для фильтров-поглотителей вредных газов и паров).

Это разработка электрофильтров.

В настоящее время в России производство электрофильтров отсутствует, между тем они являются наиболее экономичным средством очистки воздуха. Использование электрофильтров существующих конструкций в качестве самостоятельного средства очистки воздуха

не было эффективным по целому ряду причин. Сейчас стало возможным создание высокоэффективных экономичных гибридных электрофильтров, устройств для сепарирования частиц по размерам и получения порошков в высокой степени монодисперсных частиц разного размера и разных материалов в значительных количествах. В настоящее время в продаже имеются дорогостоящие монодисперсные порошки полимерных латексов, которые используются исключительно для калибровки оптических (лазерных) аэрозольных счетчиков. Использование таких частиц для контроля эффективности аэрозольных фильтров практически разорительно.

На этом пути возможно также создание устройств селективного высокопроизводительного пробоотбора аэрозольных частиц, в том числе радиоактивных, из воздуха помещений, приземного слоя атмосферы, высоколежащих слоев атмосферы.

Создание производства электрофильтров в высшей степени перспективно и целесообразно. Работы в этом направлении ведутся в России и в других странах. Некоторые достижения имеются у «Прогресс-Экологии».

ЗАО «Прогресс-Экология» может также разработать и предложить программу по улучшению экологической обстановки и, как следствие, снижению заболеваемости населения, за счет модернизации систем контроля за различными видами выбросов и их локализации посредством модернизации систем очистки.

Под эгидой госпрограмм (возможно даже их ведение, а не только участие в этих программах) это можно реализовать как с применением импортных технологий, так и с применением российских ноу-хау; при необходимости можно разработать новые технологии, используя научно-технический потенциал ЗАО «Прогресс-Экология».

**– Какие задачи вы ставите перед собой на будущее?**

– В настоящий момент ЗАО «Прогресс-Экология» рассматривает вопрос о диверсификации направлений деятельности нашего предприятия, о новых видах использования и применения имеющихся технологий.

Тем не менее хотелось бы еще раз подчеркнуть, что для современного предприятия, работающего в сфере высоких технологий, инновационный путь развития – не мода, а естественный процесс и инновации – необходимый элемент успешного завоевания рынка, а значит и успешного развития предприятия.



**Фильтры-адсорберы ФАУ-65 с угольной насадкой для очистки технологических выбросов АЭС**





## ЗАО «НУКЛЕАРКОНТРОЛЬ»

**117545, Москва, ул. Подольских Курсантов, д. 3, стр. 2**  
**Тел.: (495) 311-10-90**  
**Тел./факс: (495) 311-01-49**  
**E-mail: never@icom.ru**  
**www.nuclearcontrol.ru**

ЗАО «Нуклеарконтроль» образовано в 1994 г. предприятиями Минатома РФ и Siemens AG. Среди российских акционеров: ОАО «Атомэнергопроект», ОАО «Концерн Росэнергоатом», ФГУП «ВНИИА» и другие предприятия атомной промышленности.

Основными видами деятельности общества являются разработка, проектирование и внедрение систем автоматизации технологических процессов АЭС на базе программно-технических средств, производимых отраслевыми предприятиями по лицензии Siemens AG. В настоящее время ими являются выпускаемые ФГУП «ВНИИА» программно-технические средства ТПТС, ставшие базовыми средствами АСУТП энергоблоков № 3 и 4 Калининской АЭС, № 2 и 3 Ростовской АЭС, а также новых АЭС. Специализацией ЗАО «Нуклеарконтроль» в этих проектах является разработка программно-технических комплексов системы контроля и управления реакторного отделения (СКУ РО), управляющих систем безопасности (УСБ), системы контроля и управления электрической части (СКУ ЭЧ), систем автоматизации химводоочистки (ХВО) и спецводоочистки (СВО).



**И. С. Мино, генеральный директор ЗАО «Нуклеарконтроль»**

ЗАО «Нуклеарконтроль» сертифицировано по стандарту ГОСТ Р ИСО 9001–2008, имеет лицензии Ростехнадзора на проектирование атомных станций в части управляющих систем и на выполнение работ и предоставление услуг эксплуатирующим организациям в части шеф-

монтажа, наладки, технического обслуживания, ремонта и сопровождения управляющих систем, допуск СРО НП «Союзатомпроект» к работам, оказывающим влияние на безопасность technically сложных, уникальных и других объектов капитального строительства при выполнении работ по подготовке проектной документации.



## NUKLEARKONTROL CJSC

**3, bld.2, Podolskikh kursantov st., Moscow, 117545, Russia**  
**Phone: (495) 311-10-90**  
**Phone/Fax: (495) 311-01-49**  
**E-mail: never@icom.ru**  
**www.nuclearcontrol.ru**

Nuklearkontrol CJSC was founded in 1994 by enterprises of the Ministry of Nuclear Power Industry of the RF and Siemens AG. Among the stockholders there are Atomenergoproekt JSC, Rosenergoatom Concern JSC, VNIIA Federal Enterprise and other companies of the nuclear sector.

The main activities include development, design and introduction of NPP process automation systems based on software and hardware tools produced by the industry's enterprises under license of Siemens AG. The list of such tools includes software and hardware produced by VNIIA Federal Enterprise used as principal process automation systems at nuclear power-generating units

No 3 and 4 of Kalininskaya NPP, units No 2 and 3 of Rostovskaya NPP and at newly constructs NPPs. In these projects Nuklearkontrol is responsible for development of the monitoring and control systems of the reactor compartment, safety system controls, electric monitoring and control systems, make-up demineralizer automation systems and special water treatment automation systems.

Nuklearkontrol CJSC has been certificated in accordance with GOST R ISO 9001-2008 and licensed by the Federal Service for Technical Supervision to design NPP controlling systems and to offer services of contract supervision, start-and-adjustment, maintenance, repair and tracking of control systems. It is allowed by Soyuzatomproekt to perform safety-affecting works for sophisticated, unique and other facilities of capital construction such as working out the design documents.



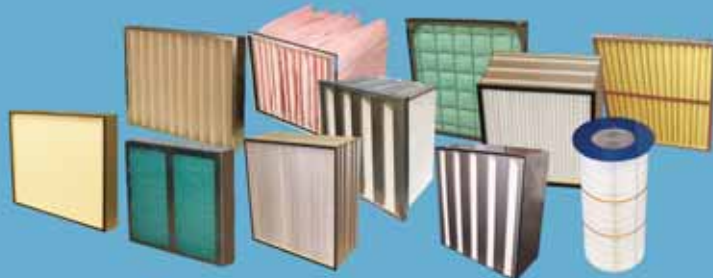
**Высокоэффективные автоматизированные пылеуловители**



## ОЧИСТКА ВОЗДУХА В АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**Абсолютная очистка от радиоактивных аэрозолей HEPA и ULPA фильтры класс H11-U16**

**Угольные и хемосорбционные фильтры от молекулярных загрязнений**



**Фильтрующие камеры СКФ, ССФ, СУФ**



ООО «НПП «Фолтер» 127238, Москва, Дмитровское ш., д.46, к.2, тел.: (495) 730-81-19, ф.: (495) 482-27-01, e-mail: folter@folter.ru, www.folter.ru Пред-ва: Санкт-Петербург: (812) 320-53-09; Нижний Новгород: (8312) 58-75-16; Екатеринбург:(343) 379-42-67; Украина, г. Харьков:+38 (057) 719-35-52; Чехия: +420 777023 917





Спецарматура.  
Строительство и обслуживание АЭС  
Special purpose hardware.  
NPP building & service

# История создания и основные направления деятельности ЗАО «Энергомаш (Чехов) – ЧЗЭМ»



## ЗАО «ЭНЕРГОМАШ (ЧЕХОВ) – ЧЗЭМ»

**142300, МО, г. Чехов, ул. Гагарина, д. 1**  
**Тел.: (496) 727-23-84, 543-72-92, доб. 46-20**  
**Факс: (496) 727-22-94**  
**E-mail: bogdanova\_ag@energomash.ru**  
**(отдел продаж арматуры АЭС)**  
**www.energomash.ru**

В 1853 году крестьянин деревни Венюково Илья Ильич Медведев основал на берегу реки Челвенки ситценабивную и платочную мануфактуру (фабрику).

После смерти основателя фабрики в 1868 году фабрика перешла к его сыновьям – Льву Ильичу (старшему) и Гавриилу Ильичу (младшему). После получения наследства братья приступили к строительству ткацкой фабрики на Борис-Лопасне (ныне поселок 8 Марта).

После революции фабрика стала называться «Красный Узбекистан» и продолжила выпуск текстиля, а в 1934 году на ее производственной базе был образован Венюковский механический завод, который изготавливал детали и запасные части для текстильной промышленности до 1939 года.

Напряженная международная обстановка вынуждает руководство страны принять решение о реорганизации Венюковского механического завода. В 1939 году он был передан в систему Наркомата общего машиностроения СССР для производства мотоциклов с коляской для нужд Красной армии.

В связи с тем, что Наркомат вооружения СССР разработал новый вид пулеметов ДШК-12,7, правительство в июле 1940 года приняло решение передать завод из Наркомата общего машиностроения в Наркомат вооружения.

22 июня 1941 года мирную жизнь советских людей нарушила война. В соответствии с военно-хозяйственным планом Государственного комитета обороны (ГКО) в начале октября 1941 года завод начал эвакуацию на восток. А в поселке Венюково специальным решением Государственного комитета обороны от 28.09.1942 на базе производственных цехов перебазируемого в город Куйбышев механического завода № 507 необходимо было организовать завод энергетической арматуры по выпуску энергетической арматуры низкого давления.

Главный механосборочный арматурный цех был подготовлен к выполнению программы выпуска продукции к концу апреля 1943 года. В конце 1943 года был введен в строй сталелитейный цех. Завод приступил к выпуску первых изделий арматуры – вентилях, клапанов, задвижек из собственных стальных заготовок. К концу 1944 года завод приступил к выпуску арматуры более высокого давления



Бывшая текстильная фабрика. 1917 год



– 100 атмосфер, предохранительных клапанов Ду 50–85 мм и вентилях Ду 50 мм.

В 1947 году рост параметров рабочих сред predeterminedил принципиально новую установку изделий арматуры в трубопровод на сварке, пришлось отказаться от классических фланцевых соединений. В этом же году началось освоение колонки дистанционного управления (КДУ), предназначенных для автоматического управления работой паровых котлов тепловых электростанций.

В 1948 году началось освоение приводных устройств к арматуре – приводных головок, электроприводов, а также ручных дистанционных колонковых приводов.

К 1957 году заводом было полностью освоено производство задвижек и арматуры для турбин мощностью 150–200 МВт на параметры перегретого пара давлением 140 кгс/см<sup>2</sup>, температурой 570°C. Эти изделия в значительной степени отличались от ранее выпускаемых.

В 1957 году предприятию было поручено заняться разработкой и изготовлением арматуры по нескольким темам, в том числе для опытно-промышленного блока СКР-100 на параметры 315 кгс/см<sup>2</sup>, 655°C и для стендовых котельных установок Центрального котлотурбинного института им. Ползунова, Венюковского арматурного завода на параметры перегретого пара 400 кгс/см<sup>2</sup> и 700°C.



Общий вид завода со стороны жилого микрорайона

В 1960 году осуществляется выпуск изделий редуциционно-охлаждительных установок, быстродействующих редуциционно-охлаждительных установок, пуско-сбросных устройств на тепловые станции. На период 1965–1969 гг. перед заводом стояла задача производить разработку новых и модернизацию существующих конструкций арматуры для 2-го, 3-го и 4-го блоков Нововоронежской АЭС. Начиная с 1965 года завод стал применять все виды неразрушающего контроля – радиографический, ультразвуковой, цветную, радиографическую и магнитопорошковую дефектоскопии.

С 1969 года начинается бурное развитие атомной энергетики – строительство энергоблоков АЭС с реакторами ВВЭР-440, строительство тепловых энергетических блоков мощностью 500 и 800 МВт на параметры пара 255/570.

Изготовление крупногабаритных корпусов арматуры в штампосварном и сварном (из литых заготовок) вариантах приводит к активному развитию на заводе автоматической сварки под флюсом швов большой толщины. Значительный шаг был сделан в 1972 году, когда был освоен выпуск корпусов задвижек и арматуры электрошлаковой выплавки из стали 08Х18Н10Т-Ш.

В 1976 году начинается строительство новых атомных энергоблоков мощностью 1000 МВт с реакторами ВВЭР-1000. Завод приступил к проектированию уникального изделия – главной запорной задвижки DN 850 мм.

С 21 декабря 1976 года Венюковский арматурный завод стал называться Чеховский завод энергетического машиностроения.

В период 1976–1980 гг. завод выполняет программу по созданию, освоению и выпуску принципиально нового оборудования для комплектования энергоблоков на Нововоронежской АЭС мощностью 1000 МВт, Костромской ГРЭС 1200 МВт и вводимых энергоблоков мощностью 800 МВт на Запорожской, Угледорской ГРЭС и др.

В течение первых нескольких лет с началом 80-х годов завод и осваивал производство специальной арматуры для системы безопасности АЭС. В эти годы был освоен выпуск спецарматуры для парогазовых установок (УПГ), предназначенных для работы в нефтедобывающей отрасли в условиях Крайнего Севера.

За прошедшие годы завод значительно вырос по площади и в техническом оснащении.

В настоящее время закрытое акционерное общество «Энергомаш (Чехов) – ЧЗЭМ» (ЗАО «Энергомаш (Чехов) – ЧЗЭМ») – крупнейший поставщик трубопроводной арматуры высокого давления. ЗАО «Энергомаш (Чехов) – ЧЗЭМ» имеет многолетний опыт производства арматуры специалистами высокой квалификации, используя достижения современной техники и технологии.

ЗАО «Энергомаш (Чехов) – ЧЗЭМ» разрабатывает и производит трубопроводную арматуру на рабочие среды «пар–вода» для энергетики для тепловой и атомной отраслей промышленности, с условными проходами от 6 до 800 мм на рабочее давление среды до 40 МПа и температуру до 650°C.



### Основные виды деятельности ЗАО «Энергомаш (Чехов) – ЧЗЭМ»:

1. Проектирование и изготовление трубопроводной арматуры и запасных частей:

- арматура запорная: задвижки и клапаны запорные;

- арматура регулирующая, редукционно-охладительные установки;

- арматура предохранительная: предохранительные, импульсные клапаны;

- арматура защитная: обратные клапаны;
- специальная арматура для особых условий работы.

2. Проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ и внедрение их результатов.

3. Оказание сервисных услуг по эксплуатации и ремонту продукции ЗАО «Энергомаш (Чехов) – ЧЗЭМ».

4. Проведение сертификационных и иных видов испытаний трубопроводной арматуры.

Наряду с мощной производственной базой на заводе созданы:

- конструкторский отдел;

- технологические службы, создающие технологические процессы, средства механизации и автоматизации производственных процессов;

- сварочная, электродно-флюсовая и арматурная лаборатории, в которых отрабатываются новые конструкции арматуры и технологические процессы.

В последние годы при строительстве новых блоков и модернизации существующих мощностей заказчик требует поставку не серийной, а, как правило, модернизированной или принципиально новой продукции, которая должна обладать новыми опциями или дополнительными техническими характеристиками при эксплуатации. В этих условиях, создание конкурентоспособной продукции является основной задачей предприятия.

Строгие испытания и контроль, точность и технологическая дисциплина являются гарантией надежности и длительного срока эксплуатации изделий производства ЗАО «Энергомаш (Чехов) – ЧЗЭМ».

Основной приоритет нашего предприятия – качество выпускаемой продукции, на выполнение этого требования направлена вся деятельность персонала завода. Завод имеет сертификат соответствия системы менеджмента качества международному стандарту ISO 9001:2000. Контроль качества осуществляется на всех этапах производства начиная с входного контроля поступающих материалов и заканчивая испытаниями готовой продукции на сертифицированном оборудовании.

Начиная с 2006 года на предприятии производятся работы, направленные на модернизацию производства в целом. Для сокращения времени проектирования новых изделий на заводе внедрена система электронного документооборота TeamCenter Engineering, а также система твердотельного трехмерного моделирования Unigraphics NX4. Управление всеми процессами производства арматуры производится с помощью интегрированной автоматизированной системы управления SAP R3. Внедрение этих систем позволило снизить сроки подготовки производства и изготовления изделий.

В 2008 году конструкторским отделом предприятия была проведена большая работа по переводу изделий с литых заготовок на поковки по кооперации. Отказ от литья позволил существенно повысить качество изготавливаемой продукции, снизить массо-



габаритные характеристики изделий. На предприятии существует собственное производство заготовок из углеродистых и легированных сталей методом электрошлакового переплава. Все это позволяет обеспечить производство в кратчайшие сроки качественными корпусными заготовками, что в итоге положительно отражается на качестве изделия в целом.

На предприятии существует лаборатория экспериментальных исследований, осуществляющая проведение сертификационных и иных видов испытаний трубопроводной арматуры. Лаборатория имеет аттестат аккредитации испытательной лаборатории (центра).

В мае 2011 года на предприятии было запущено в эксплуатацию новое оборудование – станки фирмы Mazak. Использование этих станков повышает скорость обработки деталей в 1,5–3 раза, качество деталей значительно превосходит НТД.

Референтность продукции ЗАО «Энергомаш (Чехов) – ЧЗЭМ» подтверждается поставками на российские и зарубежные АЭС, в том числе на АЭС «Куданкулам», АЭС «Бушер», АЭС «Пакш», Ростовскую АЭС, Калининскую АЭС, Нововоронежскую АЭС, Кольскую АЭС. Трубопроводная арматура для тепловых электростанций поставляется на ТЭС, расположенные в России, странах СНГ – Белоруссии, Казахстане, Узбекистане, а также в Болгарию, Румынию, Бангладеш, Вьетнам.

#### Наличие лицензий и сертификатов:

1. Лицензия № ЦО-12-101-5208 от 11.12.2009 г. на изготовление арматуры для атомных станций, выдана Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору.

2. Лицензия № ЦО-11-101-5209 от 11.12.2009 г. на конструирование арматуры для атомных станций, выдана Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору.



3. Разрешение № PPC-00-39161 от 12.07.2010 г. на применение трубопроводной арматуры, выдано Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору.

4. Разрешение № 15-823-2010 от 11.05.2010 г. на право изготовления трубопроводной арматуры, предназначенной для применения в Республике Беларусь, выдано Департаментом по надзору за безопасным ведением работ в промышленности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (Госпромнадзор).

5. Сертификат соответствия № С-РУ. АВ67.В.00152 от 24.12.2010 г. на соответствие требованиям «Технического регламента о безопасности машин и оборудования» (Постановление Правительства РФ № 753 от 15.09.2009 г.), выдан ООО «Сертиф-Тест».

6. Сертификат соответствия № С-РУ. АВ67.В.00207 от 28.01.2011 г. на соответствие требованиям «Технического регламента о безопасности машин и оборудования» (Постановление Правительства РФ № 753 от 15.09.2009 г.), выдан ООО «Сертиф-Тест».

7. Сертификат регистрации № FM83397 от 30.03.2004 г. о соответствии действующей Системы управления качеством требованиям стандарта ISO 2001:2008, выдан Британским институтом стандартов (BSI).

8. Сертификат соответствия № РОСС RU.0001.01А300.50.10.0945 от 26.02.2010 г. в системе сертификации ОИТ, выдан АНО «Атомсертифика».

9. Сертификат соответствия № РОСС RU.0001.01А300.50.10.1091 от 18.06.2010 г. в системе сертификации ОИТ, выдан АНО «Атомсертифика».

10. Сертификат соответствия № РОСС RU.0001.01А300.50.10.1666 от 19.09.2011 г. в системе сертификации ОИТ, выдан АНО «Атомсертифика».

11. Сертификат соответствия № РОСС RU.0001.01А300.50.10.0947 от 26.02.2010 г. в системе сертификации ОИТ, выдан АНО «Атомсертифика».

12. Сертификат соответствия № РОСС RU.0001.01А300.50.10.1571 от 27.06.2011 г. в системе сертификации ОИТ, выдан АНО «Атомсертифика».

13. Сертификат соответствия № РОСС RU.0001.01А300.50.10.1651 от 12.09.2011 г. в системе сертификации ОИТ, выдан АНО «Атомсертифика».

14. Сертификат соответствия № РОСС RU.0001.01А300.50.10.2052 от 09.06.2012 г. в системе сертификации ОИТ, выдан АНО «Атомсертифика».

15. Сертификат соответствия № РОСС RU.0001.01А300.50.10.0948 от 26.02.2010 г. в системе сертификации ОИТ, выдан АНО «Атомсертифика».

16. Сертификат соответствия № РОСС RU.0001.01А300.50.10.0949 от 26.02.2010 г. в системе сертификации ОИТ, выдан АНО «Атомсертифика».

17. Сертификат соответствия № РОСС RU.0001.01А300.50.10.1092 от 18.06.2010 г. в системе сертификации ОИТ, выдан АНО «Атомсертифика».

18. Сертификат соответствия № РОСС RU.0001.01А300.50.10.1480 от 23.05.2011 г. в системе сертификации ОИТ, выдан АНО «Атомсертифика».

19. Сертификат соответствия № РОСС RU.0001.01А300.50.10.1570 от 27.06.2011 г. в системе сертификации ОИТ, выдан АНО «Атомсертифика».

20. Сертификат соответствия № РОСС RU.0001.01А300.50.10.0946 от 26.02.2010 г. в системе сертификации ОИТ, выдан АНО «Атомсертифика».

21. Сертификат № CE 507256 на соответствие Европейской директиве 97/23/ЕС, выдан Британским институтом стандартов (BSI).

22. Сертификат № CE 507257 на соответствие Европейской директиве 97/23/ЕС, выдан Британским институтом стандартов (BSI).

23. Сертификат № CE 507258 на соответствие Европейской директиве 97/23/ЕС, выдан Британским институтом стандартов (BSI).

24. Сертификат № CE 507259 на соответствие Европейской директиве 97/23/ЕС, выдан Британским институтом стандартов (BSI).

**Более 50 лет  
в промышленной  
автоматизации**



MZO-1000-05A



MZO-250-05A



MZO-2500-05A



MZP-11A



MZM-05A1

**Разработка  
Производство  
Поставка**

**средств автоматизации  
для управления трубопроводной  
арматурой АЭС**

- Механизмы исполнительные электрические МЭО, МЭМ, МЭП для трубопроводной арматуры;
- Управляющие устройства ФЦ-0650А для бесконтактного управления электрическими исполнительными механизмами;
- Нормирующие преобразователи для индуктивных (НП-И10А) и реостатных (НП-Р20А) датчиков электрических исполнительных механизмов;
- Механизмы сигнализации положения: МСП-А для сигнализации положения регулирующих органов технологического оборудования АЭС, МСП-4 для систем регулирования турбоблоков.



НП-И10А

НП-Р20А

ФЦ-0650А



МСП4-330



МСП-А

428018, г. Чебоксары, ул. Афанасьева, 8  
Генеральный директор –  
Зеленев Александр Сергеевич  
Приемная: (8352) 45-77-14  
Технические специалисты: (8352) 45-11 -92  
Отдел продаж: (8352) 45-89-50, 45-84-93,  
45-69-98, 45-49-99

[www.skbspa.ru](http://www.skbspa.ru)

E-mail: [admin@skbspa.ru](mailto:admin@skbspa.ru), [om@skbspa.ru](mailto:om@skbspa.ru)



# Гидравлические и гидромеханические переходные режимы в системах охлаждения и технического водоснабжения АЭС



**ООО Предприятие по исследованиям, проектированию и строительству объектов гидроэнергетики**

**«БЕЛЫЙ УГОЛЬ»**

**Москва, Малая Калужская ул.,**

**15, стр. 17, оф. 527**

**Почтовый адрес: 115093, Москва, а/я 31**

**Тел./факс: +7 499 922-85-21**

**E-mail: info@whitecoal.ru**

**www.whitecoal.ru**

ООО «Белый уголь» более 20 лет разрабатывает математические модели переходных режимов гидравлических систем ГЭС, ГАЭС и насосных станций различного назначения, в том числе систем охлаждения и технического водоснабжения АЭС. В моделях подробно учитываются характеристики гидромашин, двигателей, конденсаторов, водоводов, различной арматуры, систем перепуска воды, впуска и выпуска воздуха, охлаждающих сооружений и емкостей.

Модели позволяют исследовать процессы пуска, нормальной остановки, потери привода, автоматического повторного включения, в том числе при включении резервного питания электродвигателя.

Безопасность системы в каждом процессе обеспечивает своя система ограничений. Ограничения при пусках это время выхода агрегата на номинальную частоту вращения, скручивающий момент на лопа-

стях насоса, заброс осевого или диагонального насоса в помпажную зону, гидроудар в конце заполнения камер конденсатора. Опасности при потере привода – недопустимые колебания давления в конденсаторе и по трассе водоводов, разгон агрегата с большой продолжительностью обратного вращения. Опасности при автоматическом повторном включении – сначала максимальный вакуум в камерах конденсатора, а при восстановлении электропитания – недопустимое повышение давления в конденсаторе и по трассе.

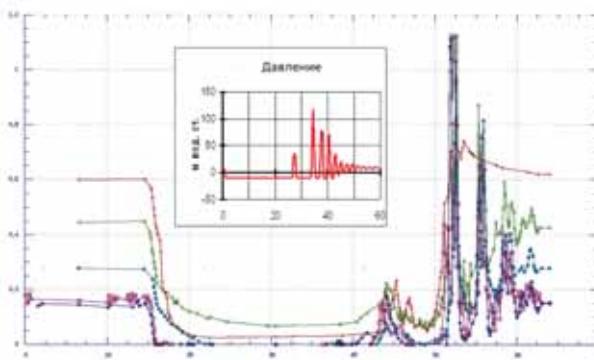
При моделировании пусков уточняется выбор насоса и двигателя, определяются пусковая характеристика электродвигателя, параметры и режимы манипулирования обратным затвором, воздушными клапанами, холостым выпуском. При расчетах потери привода определяется расположение воздушных клапанов по трассе и их размеры, а также режимы манипулирования обратным затвором, холостым выпуском и воздушными клапанами. При автоматическом повторном включении определяется предельно допусти-

мое время перерыва электропитания и минимальное необходимое значение момента инерции электродвигателя.

В системах охлаждения ответственных потребителей самый тяжелый процесс происходит при потере электропитания и последующем запуске насосного агрегата от аварийного дизель-генератора, когда перерыв между отключением и повторным включением составляет 25–30 с. В таких случаях возможен разрыв потока и сверхрасчетный гидроудар при возврате и смыкании разошедшихся водных колонн. На рисунке показаны пример такого неблагоприятного процесса в натуре и результаты моделирования. Разработанная модель позволила проанализировать работу устройств для гашения гидроудара, подобрать размеры клапанов впуска воздуха, уравнивательных резервуаров, резервуаров для впуска воды и схему их размещения по трассе.

В последние годы для проектов гидравлических систем АЭС Куданкулам, Белене, Ростовской, Нововоронежской-2, Нижегородской выполнены расчеты стационарных и переходных режимов с использованием компьютерных моделей. В каждой модели отражались конкретные особенности напорных систем, сооружений и оборудования.

ООО «Белый уголь» обладает многолетним опытом натурных испытаний гидроагрегатов и напорных систем ГЭС, ГАЭС, ПЭС, крупных насосных станций (Канал им. Москвы и др.) и гидравлических систем АЭС (Курская и др.). Нами выполнены натурные испытания десятков агрегатов ГЭС, ГАЭС, ПЭС и НС в установившихся и переходных режимах. Это способствовало идентификации моделей и совершенствованию расчетных методик.



## Hydraulic and hydro-mechanical transient modes of operation in cooling and service water supply systems of NPPs

### WHITE COAL, LTD

**Moscow, Malaya Kaluzskaya st., 15, building 17, room 527**

**Postal address: Russia, 115093,**

**Moscow, p/o box 31**

**Phone/Fax: +7 499 922-85-21**

**E-mail: info@whitecoal.ru**

**www.whitecoal.ru**

Over 20 years «White Coal», Ltd has been developing mathematical models of transient modes of operation of hydraulic systems of HPPs, PSPs and pumping stations of various purpose including the cooling and service water supply systems of NPPs. The models take into detailed consideration the characteristics of hydraulic machines, motors, condensers, conduits, various fittings, water bypassing systems, air inlet and outlet systems, cooling structures and tanks.

The models permit investigation of startup, normal shutdown, loss of drive, automatic repeat switching-in including at switching-in the standby power supply of electric motor. The system safety in each process is provided by its system of limitations. Startup limitations is the time of the unit attaining the nominal rotation frequency, the twisting moment on the pump blades,

a surge of axial flow or diagonal flow pumps into the surging zone, hydraulic surge at the end of filling the condenser chambers. Drive loss hazard – impermissible pressure variations in the condenser and in the conduits route, the unit runaway with long duration of reverse rotation. The hazard during automatic repeat switching-in presents at first, maximum vacuum in the condenser chambers, and on restoration of power supply – impermissible pressure rise in the condenser and along the route.

In startup modeling, the selection of the pump and the motor is specified, the blades startup angle, the required electric motor startup characteristic, the parameters and modes of the reverse gate manipulation by air valves and by idle release are determined. When calculating the drive loss, there is determined the location of air valves along the route and their sizes as well as the manipulation modes by the reverse gate, idle release and air valves. In automatic repeat switching-in, there is determined the ultimate permissible interruption time of power supply and the minimum required value of the moment of inertia of the electric motor.

In the cooling systems of essential loads the most difficult process occurs at loss of power supply and at further startup of the pumping unit from the emergency diesel generator when the interruption between

switching-off and repeat switching-in is 25-30 s. In these cases there is a possibility of a flow break and a super design hydraulic surge at the return and the joining of the separated water columns. The figure shows an example of such unfavorable process in the prototype (a) and the results of modeling (b). The elaborated model enabled the analysis of operation of the devices for the hydraulic surge damping, selection of sizes of air inlet valves, surge tanks, the tanks for water inlet and the plan of their location on the route.

For the last years, for designs of hydraulic systems of the NPPs: Kudankulam, Belene, Rostov, Novovoronezh-2, Nizhegorod there have been done the calculations of stationary and transient modes of operation using computer models. Each model reflected particular features of pressure systems, structures and equipment.

«White Coal», Ltd has many years of experience in tests in the prototype of hydro-units and pressure systems of HPPs, PSPs, Tidal Power Plants, large pumping stations (Moscow canal and others) and hydraulic systems of NPPs (Kursk and others). We have done prototype tests of tens of units of HPPs, PSPs, Tidal Power Plants and pumping stations in steady-state and transient modes of operation. This was conducive to identification of models and upgrading the methods of computations.

## ЗАО «ОРГСТРОЙПРОЕКТ»

**115516, Россия, г. Москва,  
ул. Промышленная, д. 11, стр. 3  
Тел.: (495) 663-91-42**

**Институт располагает специализированным отделом обследования и испытания строительных конструкций, работающим в тесном сотрудничестве с испытательной лабораторией, проектно-конструкторским отделом и предприятиями, занимающимися инженерно-геологическими изысканиями.**

Специалистами института выполнялись работы по обследованию строительных конструкций крупнейших энергетических объектов, в числе которых: Обнинская АЭС, Ленинградская АЭС, Игналинская АЭС (Литва, в период строительства), Балаковская АЭС, Чернобыльская АЭС (после аварии), Волгодонская АЭС (возобновление строительства), Кольская АЭС, Мангышлакский энергокомбинат (г. Шевченко), Калининская АЭС. Помимо этого, наряду с обследованием строительных конструкций самых разнообразных зданий и сооружений предприятий Минсредмаша-Минатома-Росатома выполнялись обследования зданий и сооружений реакторов научно-исследовательских инсти-

тутов: РНЦ «Курчатовский институт», МИФИ, ИТЭФ, НИТИ (г. Сосновый Бор), филиала НИКИЭТ (г. Заречный).

Работы выполняются по специальной программе комплексного обследования, разработанной ЗАО «ОРГСТРОЙПРОЕКТ» на основе «Требований к обоснованию возможности продления назначенного срока эксплуатации объектов использования атомной энергии» (НП-024-2000); «Типовой инструкции по эксплуатации производственных зданий и сооружений атомных станций» (РД-ЭО-0007-93), «Методики оценки состояния и остаточного ресурса железобетонных конструкций АЭС, важных для безопасности» (РД ЭО 0447-03) и нормативных документов Ростроа. Отдел обследования строительных конструкций располагает опытными специалистами, современным оборудованием, новейшими вычислительными и программными средствами, имеет тесные связи с учеными и специалистами ведущих проектных и научно-исследовательских институтов России.

## ORGSTROYPROEKT CJSC

**Build 3, 11, Promyshlennaya st.,  
Moscow, Russia, 115516  
Phone: (495) 663-91-42**

The Institute incorporates a specialized building structures survey and testing division that closely cooperates with the testing laboratory, the design division and enterprises engaged in geological engineering survey. Specialists of the Institute have performed survey of building structures of the largest power facilities.

The works are performed within a special program of comprehensive survey developed by ORGSTROYPROEKT in conformity normative documents of Russian Agency for Civil and Industrial Engineering.

The building structures survey division is staffed with experienced specialists and equipped with modern machinery, state-of-the-art computing facilities and software, has close ties with scientists and specialists of the leading design and research institutes of Russia.



## ЗАО «СЕЛЬЭНЕРГОПРОЕКТ»

**111395, Москва, Аллея Первой Маевки,  
д. 11, корп. 1  
Тел.: (499) 374-4500, (495) 673-1650  
Факс: (495) 673-1607  
E-mail: info@sepro.ru**

Более чем пятидесятилетний опыт работы, накопленный коллективом Сельэнергопроекта в области комплексного проектирования электростанций мощностью от 100 кВт до 200 МВт с дизельными и газопоршневыми двигателями, газовыми и паровыми турбинами, сотни реализованных проектов в России и за рубежом, на

вечной мерзлоте и в тропиках, для атомной энергетики, Газпрома, нефтяников, любых энергопотребителей, прочные связи с генпроектировщиками, поставщиками, строителями, современная компьютерная база, подбор энергичных и знающих специалистов – гарантия качества, быстроты исполнения и разумной стоимости наших работ.

### ЗАО «Сельэнергопроект»:

– проектирует РДЭС и БДЭС, обеспечивающие системы безопасности атомных станций, готовит требования к оборудованию, согласовывает конструкторскую документацию, ведет авторский надзор;

– выполняет проекты газотурбинных, дизельных, газопоршневых электростанций, их инфраструктуры, котельных, насосных, малых ГЭС, РПБ, осуществляет комплектацию и строительство;

– обладает лицензией Ростехнадзора на право проектирования объектов атомной энергетики, Свидетельством НП СРО «Союзатомпроект» о допуске к работам, влияющим на безопасность при проектировании объектов, включая особо опасные, технически сложные и объекты атомной энергетики, Свидетельством НП СРО «РусСтрой» о допуске к работам, влияющим на безопасность при строительстве.

### Выполнено проектов

ГТЭС и ДЭС общей мощностью порядка 1000 МВт, РДЭС, РДЭСО, БДЭС более пятидесяти блоков АЭС.

**Задачи** – обучение, внедрение современных средств и методов проектирования, кратный рост объемов, занятия лидирующего положения в своем сегменте.







НП «НДЦ АТОММАШ»



## НЕКОММЕРЧЕСКОЕ ПАРТНЕРСТВО «НИЖЕГОРОДСКИЙ ДЕЛОВОЙ ЦЕНТР АТОМНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ» (НП «НДЦ АТОММАШ»)

603006, Россия, г. Нижний Новгород, пл. Свободы, д. 3  
Тел./факс: +7 (831) 412 99 88  
npatommash@mail.ru, www.npatommash.ru

**НП «НДЦ Атоммаш» – общественная некоммерческая организация, созданная для поддержки предприятий атомного энергетического машиностроения.**

Члены НП «НДЦ Атоммаш» – Российские и зарубежные предприятия и организации, производители и поставщики продукции и услуг для Российского атомного проекта.

### Основные направления деятельности:

- Продвижение продукции своих членов на российские и зарубежные рынки продукции и услуг для АЭС;
- Участие в международной кооперации, в т.ч. Чехия, Китай, Южная Корея, Италия, Испания, Германия, Франция, Вьетнам, Белоруссия и другие страны.
- Организация и проведение конференций, презентаций, выставок, ярмарок в России и за рубежом, в т.ч. уникальные проекты: Международный научно-промышленный форум «Ярмарка атомного машиностроения», Международный научно-практический форум «Интеллектуальное проектирование. Управление жизненным циклом сложных инженерных объектов»;
- Рекламно-издательская деятельность, в т.ч. журнал «Атомный проект»;
- Организация и проведение технических совещаний с участием ведущих специалистов атомной отрасли по вопросам применения продукции предприятий-изготовителей в проектах АЭС по Российскому дизайну;
- Выполнение специальных проектов на основе договоров с Заказчиками, в т.ч. на основе договора с ОАО «НИАЭП» – проект по подготовке и обработке информации о продукции зарубежных производителей для включения ее в «Единый номенклатурный отраслевой каталог оборудования для АЭС».

## NON-PROFIT PARTNERSHIP «NIZHNIY NOVGOROD NUCLEAR ENGINEERING BUSINESS CENTER» (NP «NBC ATOMMASH»)

Russia, 603006, Nizhny Novgorod, Svobody Sq., 3  
Tel./fax: +7 (831) 412 99 88  
npatommash@mail.ru, www.npatommash.ru

**NP «NBC Atommash» – a public nonprofit organization created to support the enterprises of nuclear power engineering.**

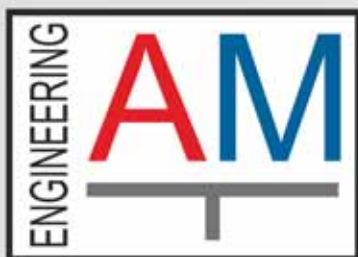
The members of the NP «NBC Atommash» – Russian and foreign enterprises and organizations, manufacturers and suppliers of products and services for the Russian nuclear project.

### Main activities:

- Promotion of its members' products on Russian and foreign markets of products and services for nuclear power plants;
- International cooperation with Czech Republic, China, South Korea, Italy, Spain, Germany, France, Vietnam, Belarus and other countries;
- Organization of conferences, presentations, exhibitions, fairs in Russia and abroad, including the unique projects: International Scientific & industrial Forum «Nuclear Machine-building Fair», International Research and Practice Forum «Smart Engineering Design. Complex Product Life Cycle Management»;
- Advertising and publishing activities, including publishing of the «Nuclear Project» journal;
- Organization of technical meetings with the participation of nuclear industry leading specialists in order to discuss the application of members' products in the projects using the Russian NPP design;
- Performing special projects on the basis of contracts with customers, including (through a contract with JSC «NIAEP») – a project for the preparation and processing of information about the products of foreign manufacturers for including it into the «Unified industry nomenclature catalogue of equipment for nuclear power plants».







Компания ЗАО "АМТ ИНЖИНИРИНГ" является одним из лидеров в области оказания технического, информационного и финансового содействия предприятиям и организациям в проектировании, финансировании, продвижении, комплектации сложного высокотехнологичного оборудования, в том числе на основе международной кооперации.

Одним из основных заказчиков ЗАО "АМТ ИНЖИНИРИНГ" является компания ООО «ПРОМЭНЕРГОКОМПЛЕКТ». ЗАО «АМТ ИНЖИНИРИНГ» проводит проектные работы для системы преднапряжения защитной оболочки реакторного отделения и резервных дизельных электростанций (РДЭС). Компания также выполняет проектные работы в области электротехнического, насосного и тепломеханического оборудования для 2-го, 3-го и 4-го энергоблоков Ростовской АЭС, 4-го энергоблока Калининской АЭС, Смоленской АЭС, 1-го и 2-го энергоблоков Балтийской АЭС, Южноуральской ГРЭС, ФГУП ПО «МАЯК», различных ТЭЦ.

Особенность ЗАО "АМТ ИНЖИНИРИНГ" - инновационная составляющая проектов. Это позволяет выполнять работы на современном уровне и с высокой степенью эффективности. Компания располагает самым современным оборудованием, программным обеспечением и передовыми технологиями. Нарботанные связи с поставщиками позволяют разрабатывать проекты на различные виды техники и оборудования в кратчайшие сроки с оптимальным соотношением цена-качество.



#### Основные виды работ, выполняемые ЗАО "АМТ ИНЖИНИРИНГ":

- инженерный консалтинг;
- энергетический и экологический аудит;
- проектирование и подготовка проектных спецификаций;
- экспертиза проектной документации с учетом эффективности проекта и сроков окупаемости;
- оценка технико-экономической эффективности различных методов организации строительства/модернизации;
- подготовка требований по выбору и закупка основного и вспомогательного оборудования;
- техническое сопровождение заказчика при проведении согласований (экспертиза проектной документации с надзорными органами);
- технический надзор за ходом строительства/модернизации.

Отдельное место в деятельности компании занимает международное сотрудничество. Всего в процессе проектирования нами задействовано более 50 иностранных компаний. ЗАО "АМТ ИНЖИНИРИНГ" выполняет инженерное, правовое и финансовое консультирование зарубежных партнеров, разрабатывает и адаптирует технические условия на продукцию, отвечает за логистику и сервисное обслуживание оборудования.

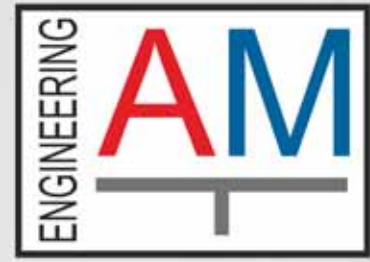
Опыт проектных работ РДЭС для Калининской и Ростовской АЭС позволяет нам с уверенностью предлагать высокоэффективные решения по организации комплексного автономного энергоснабжения различных объектов промышленности. Основным приоритетом компании является оказание помощи Заказчику в решении любых инженеринговых задач на энергетическом объекте: от проведения энергетических обследований и выдачи рекомендаций по улучшению работы станции до выполнения комплексного проекта нового строительства, реконструкции или модернизации объекта.

Мы постоянно совершенствуем и оттачиваем профессионализм, идем в ногу с научно-техническим прогрессом. Ваша уверенность в выбранных технологиях и решениях – наша профессия. Мы открыты к сотрудничеству в реализации проектов и заказов любой сложности.

*Генеральный директор Харитонов П.А.*

**ЗАО «АМТ ИНЖИНИРИНГ»**  
Россия, 121069, Москва, ул. Малая Никитская, д.10а  
Тел./факс: +7 (499) 558-02-04  
E-mail: [amtinmsk@gmail.com](mailto:amtinmsk@gmail.com)





"AMT Engineering" CJSC company is one of the leaders in providing technical, informational and financial assistance to enterprises and organizations in the development, design, financing, promotion and completing of complex high-tech equipment, both on domestic grounds and through international cooperation.

One of the main customers of "AMT Engineering" CJSC services is "PROMENERGOKOMPLEKT" LLC company. Nowadays "AMT Engineering", CJSC carries out designing works for reactor compartment prestressing system and emergency diesel generators. The company is also responsible for designing of electrical, pumping, thermal and mechanical equipment for the 2nd, 3rd and 4th power units of Rostovskaya NPP, the 4th power unit of Kalininskaya NPP, Smolenskaya NPP, the 1st and 2nd power units of Baltiyskaya NPP, Yuzhnouralskaya GRES, FSUE PA "Mayak" and various thermal power plants.

One of "AMT Engineering" CJSC features is an innovative component of its projects. This allows the company to stay up to date and work with a high degree of efficiency. The company has advanced equipment, software and technologies. Long-standing relationship with suppliers allow us to design various types of machines and equipment as soon as possible with optimum price-performance ratio.

### The main types of work performed by "AMT Engineering" CJSC are the following:

- Engineering consulting;
- Energy and environmental audits;
- Designing and preparing project specifications
- Assessment of project documents in a project, project performance and timing of return;
- Techno-economic evaluation of the effectiveness of various methods for the construction/renovation;
- Preparation of the requirements for selecting and purchasing of main and auxiliary equipment;
- Customer Technical support during operations of establishing compliance (examination of project documentation by reviewing authorities);
- Technical supervision of the construction/renovation.



International cooperation plays a key role in the company's activities. More than 50 foreign companies are taking part in designing works provided by us. "AMT engineering" CJSC is providing an engineering, legal and financial advice to overseas partners, developing and adapting specifications for products, it is also responsible for logistics and maintenance equipment.

Experience in designing of emergency diesel generators stations for Kalininskaya NPP and Rostovskaya NPP enables us to confidently offer high-performance solutions for comprehensive grid industry facilities. Company's main priority is to assist the customer in any engineering challenges at the energy facility: from energy surveys and issuing recommendations for improving the work of the station to implementation of integrated project of new construction, reconstruction or modernization.

We constantly improve and hone skills, keep in step with technological advances.

Your confidence in selected technologies and solutions is our profession. We are open to cooperation in projects and orders of any complexity.

*General director Haritonov P.A.*

**"AMT Engineering" CJSC**  
Russia, 121069, Moscow, Malaya Nikitskaya str, 10a  
Tel./fax: +7 (499) 558-02-04  
E-mail: [amtinmsk@gmail.com](mailto:amtinmsk@gmail.com)





**Объекты:**  
Калининская АЭС  
Смоленская АЭС  
Ростовская АЭС  
Балтийская АЭС  
АЭС Куданкулам  
Южноуральская ГРЭС  
ФГУП ПО «Маяк»



ООО «ПРОМЭНЕРГОКОМПЛЕКТ» является динамично развивающейся компанией с многолетним опытом работы по управлению сложными проектами по комплектации и поставке высокотехнологичного оборудования, техники и материалов для сооружаемых и эксплуатируемых объектов атомной и традиционной энергетики.

Стратегической целью компании является предоставление передовых решений и комплексных инженеринговых услуг предприятиям и заводам-изготовителям как в России, так и за рубежом. Строительство АЭС требует поставок высококачественного и надежного оборудования по строго исполняемому производственному графику, на это и нацелена работа компании.

В активе компании победы более чем в 100 тендерах и конкурсах на поставку оборудования и изделий для АЭС. Базовый портфель поставляемого оборудования и материалов насчитывает сотни номенклатур, основными из которых являются:

- Трубы, детали трубопроводов
- Трубопроводная арматура
- Грузоподъемное оборудование
- Электротехническое оборудование
- Вспомогательное оборудование
- Теплообменное оборудование
- Металлоконструкции, металлопрокат, поковки, отливки
- Насосы
- Оборудование системы предварительного напряжения защитной оболочки
- Резервные дизельные электростанции
- Ворота и люки, шлюзы транспортного коридора
- Самоочищающиеся фильтры, декантеры
- Проектные работы

Компания уделяет большое внимание развитию международной кооперации и расширяет круг поставщиков и субподрядчиков, привлекая к сотрудничеству помимо крупнейших российских компаний, ведущих мировых производителей оборудования и материалов, что позволяет поставлять современное оборудование высочайшего качества, увеличивая уровень безопасности АЭС.

ООО «ПРОМЭНЕРГОКОМПЛЕКТ» владеет полным набором сертификатов, лицензий и разрешений, необходимых для решения инженеринговых задач. Компания разработала и выполнила целый ряд проектов по комплектации оборудования, отвечая за весь цикл работ, связанных с финансированием, проектированием, изготовлением, доставкой, согласованием, пуско-наладкой и сдачей оборудования заказчику.

Команда компании состоит из высококвалифицированных менеджеров, инженеров, экономистов, юристов, специалистов по логистике, качеству, экспертизе, профессионализм которых постоянно растет вместе с достижениями самой организации.

Совместная работа с партнерами позволяет расширить рыночные возможности компании и создавать конкурентоспособный продукт. Мы всегда готовы к сотрудничеству и предлагаем воспользоваться нашим опытом и компетенциями.

*Генеральный директор Саенко А.Н.*



ООО «ПРОМЭНЕРГОКОМПЛЕКТ»  
603024, Россия, Нижний Новгород,  
Невзоровых ул., 51  
Тел./факс: +7 (831) 412-99-88  
E-mail: prekomnn@mail.ru,  
info@prekom.ru  
www.prekom.ru





#### Projects:

Kalininskaya NPP  
Smolenskaya NPP  
Rostovskaya NPP  
Baltiyskaya NPP  
Kudankulam NPP  
Yuzhnouralsk SDPP  
FSUE Mayak PA



"PROMENERGOKOMPLEKT" LLC is a fast-growth company with many years' experience in management of complex projects of picking and complete set supplies of high-tech equipment and materials for the nuclear and conventional power facilities which are either under construction or under operation.

Strategic goal of the company is to offer advanced solutions and complex engineering services to producer enterprises and factories in Russia and abroad. NPP construction process requires a high quality and high-reliable equipment to be supplied on a strictly followed schedule. That is what the company aims in its work.

The company was awarded the tenders for the supply of equipment and devices to NPPs more than 100 times. The basic portfolio of the company includes hundreds of equipment types, major categories are as follows:

- Pipes and pipeline parts
- Valves
- Load lifting equipment
- Electrical equipment
- Auxiliary equipment
- Heat-exchange equipment
- Metal structures, rolled steel, forgings, castings
- Pumps
- Containment prestressing system equipment
- Emergency diesel generators
- Doors, gateways, transportation corridor locks
- Self-cleaning filters, decanters
- Design works

The company lays great emphasis on development of international cooperation and steadily expands a circle of partners by involving in cooperation not only the incumbent Russian companies, but also leading world manufacturers, which helps to supply the highest quality equipment and increases safety level of NPPs.

PROMENERGOKOMPLEKT LLC has all certificates, licenses and permissions required to run engineering business. The company has developed and implemented a variety of projects for complete set supplies of equipment on a "turn-key" basis, which includes financing, design works, manufacturing, delivery, harmonization, starting-up, adjustment and commissioning.

PROMENERGOKOMPLEKT company is a team of highly skilled managers, engineers, economists, lawyers, experts in logistics, quality management and testing, whose level and qualification constantly rises together with the company's achievements.

Cooperation with partners helps to enlarge market opportunities of the company and to create competitive product. We are always open for cooperation and we suggest you to take advantage of our experience and skills.

*General director Saenko A.N.*

**"PROMENERGOKOMPLEKT" LLC**  
51, Nevzorovyh st., Nizhny Novgorod,  
Russia, 603024  
Tel./fax: +7 (831) 412-99-88  
E-mail: prekomnn@mail.ru,  
info@prekom.ru  
www.prekom.ru





Нижегородская выставочная компания ООО «НДЦ Экспо» учреждена в 2008 году Некоммерческим партнерством «Нижегородский деловой центр атомного машиностроения» (НП «НДЦ АТОММАШ») в целях продвижения продукции предприятий энергетического машиностроения на Российский и зарубежный рынки. За период своей работы ООО «НДЦ Экспо» совместно с ведущими предприятиями атомной отрасли и крупнейшими выставочными центрами выступило соорганизатором ряда уникальных конгрессно-выставочных проектов, в том числе семи Нижегородских международных научно-промышленных форумов «Ярмарка атомного машиностроения», двух Международных научно-практических форумов «Интеллектуальное проектирование. Управление жизненным циклом сложных инженерных объектов», а также представила ведущие предприятия атомного энергетического машиностроения на специальных разделах крупных выставок в России и за рубежом. ООО «НДЦ Экспо» стало организатором коллективного стенда экспозиции российских и чешских компаний Производственного объединения «Пражский Атомный Альянс» на форуме поставщиков для атомной промышленности «Атомекс-Европа» в Праге. Всего в конгрессно-выставочных мероприятиях «НДЦ Экспо» приняло участие свыше 1500 экспонентов, и по итогам их проведения заключено контрактов на сумму более 37 млрд. рублей.

Основной задачей деятельности «НДЦ Экспо» является создание условий для активного взаимодействия участников выставочного и конгрессного процессов с целью обмена опытом и налаживания взаимовыгодных деловых связей.

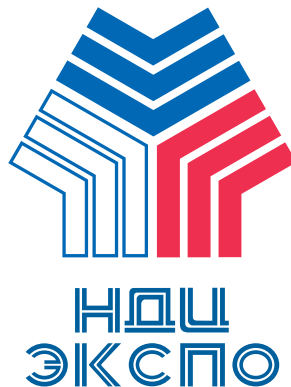
«НДЦ Экспо» – это команда профессионалов, всегда готовая предоставить комплексное решение задачи по организации специализированного мероприятия для вашей компании:

- разработка концепции и сценария мероприятия
- выбор площадки, отвечающей статусу события
- разработка уникального стиля и символики мероприятия
- отбор и приглашение ведущих и модераторов
- привлечение к участию лидеров отрасли
- привлечение спонсоров
- рекламно-информационная поддержка мероприятия



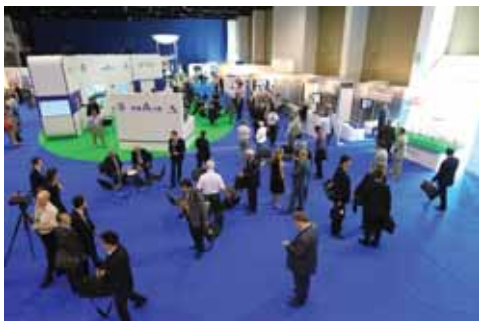
## НДЦ ЭКСПО Нижегородская Выставочная Компания

603006, Россия,  
г. Нижний Новгород, пл. Свободы, д. 3  
Тел./факс: +7 (831) 412 99 88  
info@nbc-expo.ru, www.nbc-expo.ru



## NBC EXPO The Nizhny Novgorod Exhibition Company

Russia, 603006,  
Nizhny Novgorod, Svobody Sq., 3  
Tel./fax: +7 (831) 412 99 88  
info@nbc-expo.ru, www.nbc-expo.ru



The main purpose of the «NBC Expo» activities is creating conditions for the active interaction of the participants of congress and exhibition processes to exchange experiences and establish mutually profitable business contacts.

«NBC Expo» is a team of professionals, ready to produce a complex solution of arranging a special event for your company:

- creating the concept and scenario of the event
- selecting the site for the event, matching its status
- working out the unique style and symbols of the event
- opting and inviting hosts and moderators
- involving the leaders of the branch in participation
- attracting sponsors
- advertisement and PR of the event

The Nizhny Novgorod Exhibition Company «NBC Expo» was established in 2008 by the Non-Profit Partnership «Nizhny Novgorod Nuclear Engineering Business Center» (NP «NBC АТОММАШ») to promote products of power machine-building companies on Russian and foreign markets. For the period it started on the market the «NBC Expo» LLC in collaboration with the leaders of the nuclear industry and major exhibition centers implemented several unique congress and exhibition projects, including seven Nizhny Novgorod International Scientific & industrial Forums «Nuclear Machine-building Fair», two International Research and Practice Forums «Smart Engineering Design. Complex Product Life Cycle Management», and successfully presented leading nuclear power machine-building enterprises in specialized sections of prominent exhibitions in Russia and abroad. The «NBC Expo» LLC arranged joint exposition of the Czech and Russian companies of the Prague Nuclear Alliance production association on the Nuclear industry suppliers forum «Atomex-Europe» in Prague. More than 1500 exhibitors took part in the arranged by the «NBC Expo» events, which resulted in signing contracts for the total amount of 37 billion rubles.



<b>Предприятие</b>	<b>Город</b>	<b>Стр.</b>
АБС ЗЭиМ Автоматизация, ОАО	Чебоксары	60
Белый уголь, ООО	Москва	75
Коломенский завод, ОАО	Московская область, Коломна	58
КОМПЛЕКСЫ и СИСТЕМЫ НПП	Пенза	66
Нуклеарконтроль, ЗАО	Москва	70
ОРГСТРОЙПРОЕКТ, ЗАО	Москва	76
Приводы АУМА, ООО	Москва	63
Прогресс-Экология, ЗАО	Калужская обл., Обнинск-3	68
Сельэнергопроект, ЗАО	Москва	76
СКБ СПА	Чебоксары	74
Технаб КБ, ООО	Калужская обл., Обнинск-4	59
Тулаэлектропривод, ЗАО	Тульская область, Ленинский район	64
Фолтер НПП, ООО	Москва	70
Чебоксарский электроаппаратный завод, ЗАО	Чебоксары	61
ЭКРА НПП, ООО	Чувашская республика, Чебоксары	62
Энергомаш (Чехов) – ЧЗЭМ, ЗАО	Чехов	72

<b>Undertaking</b>	<b>City</b>	<b>Page</b>
EKRA LLC	Cheboksary	62
Nuklearkontrol CJSC	Moscow	70
ORGSTROYPROEKT CJSC	Moscow	76
White Coal, LTd	Moscow	75

**Уважаемые читатели – руководители и специалисты предприятий атомной отрасли!**

Журнал «Атомный проект» – это надежное связующее звено между специалистами крупнейшей в стране инженеринговой компании НИАЭП-АСЭ, на которую возложена вся ответственность за комплектацию, строительство, пусконаладочные работы и сдачу «под ключ» одновременно более чем 20 объектов атомной энергетики в нашей стране и за рубежом, и производителями и поставщиками оборудования для АЭС. Мы рады, что наше издание успешно выполняет эту функцию: журнал «Атомный проект» стал настольной книгой для проектировщиков Нижегородской инженеринговой компании «Атомэнергопроект», его получают инженеринговые компании Москвы и Санкт-Петербурга.

Практика показала, что не меньшее значение имеет и другая функция журнала – информировать предприятия отрасли о новых разработках друг друга, быть для них инструментом поиска потенциальных заказчиков и деловых партнеров. С этой целью мы рассылает значительную часть тиража (до 1000 экз. каждого выпуска) на все значимые отечественные предприятия атомной промышленности, а также участвуем в важнейших отраслевых форумах, семинарах и конференциях, которые проходят в нашей стране и за рубежом.

Следующий выпуск журнала выйдет в свет 30 марта 2013 г. и будет представлен на следующих крупнейших конгрессно-выставочных отраслевых мероприятиях:

- XI Международный энергетический форум «ТЭК России в XXI веке» (апрель, Москва, Россия)
- XX Международная специализированная выставка «Энергетика и электротехника» (апрель, Санкт-Петербург, Россия)
- Международный форум поставщиков атомной отрасли АтомЭКСПО-2013 (июнь, Москва, Россия)
- Международный научно-практический форум «Системы управления жизненным циклом сложных инженерных проектов» (июнь, Нижний Новгород, Россия).

Если вы хотите уверенно чувствовать себя на рынке поставщиков атомной отрасли – размещайте информацию о своей продукции и услугах на страницах журнала «Атомный проект».

Мы соединяем лучших с лучшими!

**Dear readers–managers and specialists of the nuclear industry enterprises!**

«Atomic Project» journal was established as a link between specialists of engineering companies, who are responsible for supply, construction, start and adjustment and «turnkey» commissioning of nuclear facilities, and manufacturers and suppliers of equipment for nuclear power plants. We are happy that the journal is successful in this undertaking: it has become a «real book» for the designers of Atomenergoproekt Nizhny Novgorod Engineering Company, it is received by engineering companies of Moscow and Saint Petersburg.

Life has shown that another function of the journal – to inform enterprises of the industry about new developments of each other, to be a useful tool in searching for prospective partners and customers – is of no less importance.

The next issue of the journal will come out on March, 30, 2013 and will be presented at the largest congresses and exhibitions:

- XI International Energy Forum (April, Moscow, Russia)
- XX International Specialized Exhibition «Energetika & Elektrotechnika» (April, Saint-Petersburg, Russia)
- International Forum AtomEXPO-2013 (June, Moscow, Russia)
- International Scientific & Practical Forum «Thinkdesign and PLM» (June, Nizhny Novgorod, Russia)

We welcome you to advertise your products and services for the nuclear industry in the «Atomic Project».

We connect the best with the best!







ADVERTISING-PUBLISHING CENTRE

**courier  
media**

[www.kuriermedia.ru](http://www.kuriermedia.ru)