

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ИССЛЕДОВАНИЯ, РАСЧЕТЫ

<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2020-13-3-207-217>

УДК 620.178.53.621.311.22

Организационные риски обеспечения надежности турбоагрегатов ТЭС и АЭС

Куменко А. И.

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт»
ул. Красноказарменная, 13 С, 111250, г. Москва, Россия

Поступила / Received 07.06.2019

Принята к печати / Accepted for publication 14.09.2020

Рассматриваются проблемы и задачи, которые необходимо системно решать в процессе эксплуатации, наладки и ремонта высокотехнологичного энергетического оборудования (ЭО). Изложены основные причины ухудшения качества ремонтных работ. Отмечается, что разрушение ремонтных трестов привело к отсутствию системного подхода к ремонтным структурам как части энергетических систем. Отсутствие финансирования прикладной науки сопровождалось исчезновением научных школ. Все другие структуры (генерация, управление потоками) объединены и организованы. Ремонтные структуры разделены после ликвидации ремонтных трестов, разделены на мелкие части и не имеют фактически ни технической, ни организационной управляемости.

Отмечается отсутствие в РФ подготовки специалистов по ремонту и наладке ЭО. Ни один вуз сегодня не готовит специалистов в необходимом объеме по таким важным направлениям, как монтаж, ремонт, наладка и диагностика. Количество и качество специалистов, например, на турбинных кафедрах вузов не соответствует числу задач, которые сегодня надо решать при проектировании и создании высокотехнологичного оборудования.

Показано, что снижение надежности имеет место и при поставках импортного оборудования. Приведены примеры потери работоспособности оборудования производства иностранных фирм.

Отмечается, что несоответствие программ подготовки специалистов требованиям сегодняшнего дня уже приводит к ошибкам в управлении процессами ремонта и эксплуатации. Недостаточное внимание в области подготовки и переподготовки специалистов, некачественные программы обучения и отсутствие на кафедрах специалистов высшего класса, умеющих ставить и решать актуальные задачи в области ремонта и диагностики высокотехнологичного ЭО, несут в себе наибольшие системные риски. Сформулированные системные риски, рано или поздно, приведут к непоправимой ситуации. Эти риски можно снизить, только уделив в ближайшие 5–10 лет серьезное внимание поставленным проблемам, и, хотя бы частично, восстановив потенциал ведущих кафедр.

По большинству сформулированных проблем даны рекомендации и предложения по их решению.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: риски, качество, ремонт, наладка, диагностика, специалисты, надежность, системный подход, турбоагрегат, валопровод, вибрация, подготовка кадров, взаимосвязь вузов, отраслевых НИИ и предприятий

Адрес для переписки:

Куменко А. И.

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт», каф. Теоретической механики, мехатроники, динамики и прочности машин

ул. Красноказарменная, 13 С, 111250, г. Москва

e-mail: 1949kai@mail.ru KumenkoAI@mpei.ru

Address for correspondence:

Kumenko A. I.

National Research University «Moscow Power Engineering Institute», dep. Theoretical mechanics, mechatronics, dynamics and strength of machines

Krasnokazarmennaya St., 13 C, 111250, Moscow, Russia

e-mail: 1949kai@mail.ru KumenkoAI@mpei.ru

For citation:

Kumenko A. I. [Organizational risks of ensuring the reliability of turbine units at TPP and NPP4]. *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety and Reliability of power Industry*. 2020, vol. 13, no. 3, pp. 207–217. (in Russian)

<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2020-13-3-207-217>

Для цитирования:

Куменко А. И. Организационные риски обеспечения надежности турбоагрегатов ТЭС и АЭС. *Надежность и безопасность энергетики*. 2020. – Т. 13, №3. – С. 207–217.

<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2020-13-3-207-217>

Organizational risks of ensuring the reliability of turbine units at TPP and NPP

Kumenko A. I.

*National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Dept. of Theoretical Mechanics, Mechatronics, Dynamics and Strength of Machines
Krasnokazarmennaya St., 13 C, 111250, Moscow, Russia*

The problems and tasks that need to be systemically solved during the operation, adjustment and repair of high-tech power equipment (PE) are considered. The main reasons for the deterioration in the quality of repair work are stated. It is noted that the destruction of repair trusts has led to the absence of a systemic approach to repair structures as part of energy systems. The lack of funding for applied science led to the disappearance of scientific schools. All other structures (generation, flow control) are combined and organized. As for repair structures, they were divided after the liquidation of the repair trusts, split into small parts and are virtually uncontrollable, both technically and organizationally.

There is a lack of training for specialists in repair and adjustment of PE in the Russian Federation. Today, not a single university trains the required number of specialists in such important areas as installation, repair, commissioning and diagnostics. The number and quality of specialists, for example, at turbine departments of universities do not match the scope of tasks that must be solved today in the design and creation of high-tech equipment.

It is shown that a decrease in reliability also takes place during the supply of imported equipment. Examples of loss of performance of equipment manufactured by foreign firms are given.

It is noted that the non-compliance of the specialist training programs with today's requirements already leads to errors in the management of the repair and operation processes. Insufficient attention in the field of training and retraining of specialists, poor-quality training programs and the absence of top-class specialists at departments, who could be able to set and solve urgent problems of the industry, carry the greatest systemic risks. The formulated systemic risks will sooner or later lead to an irreparable situation. These risks can only be reduced only by paying serious attention to the aforesaid problems over the next 5–10 years, and by restoring, at least partially, the potential of the leading departments.

For most of the above problems, recommendations and proposals for solving the same are presented.

KEYWORDS: risks, quality, repair, commissioning, diagnostics, specialists, reliability, systemic approach, turbine unit, shaft line, vibration, personnel training, interconnection between universities of industry research institutes and manufacturing plants

1. Отсутствие системного подхода

Основные организационные проблемы и отсутствие системного подхода начались при реорганизации энергетики и других отраслей, а также при реорганизации подготовки кадров в вузах путем переименования, сокращения и паспортизации специальностей.

Показатели надежности оборудования в любой отрасли техники являются объективными параметрами качества продукции. Значительные риски снижения надежности оборудования ТЭС и АЭС из-за отсутствия системного подхода появились при создании и эксплуатации ЭО и затем при организации ремонтных работ и технического обслуживания. В свое время 10 мощнейших трестов поделили СССР на 10 районов и обеспечивали необходимый системный подход к решению многочисленных проблем ремонта. Отметим, что ЭО, начиная от изготовления и заканчивая эксплуатацией и утилизацией, является наукоемким и высокотехнологичным. При его создании требуется огромный пласт знаний примерно полусотни специалистов, начиная от механики материалов и математики и кончая электричеством и экономикой. В свое время Королев

С. П. сказал, что спроектировать турбину для привода питательных насосов «Бурана» оказалось сложнее, чем создать сам корабль. Только на земле было испытано более 450 установок. Турбины умеют изготавливать всего несколько стран. Температуры рассматриваются от низких до 1500°C, не считая процессов горения в топках и камерах сгорания. Давления меняются от вакуума до сотен атмосфер. Обеспечение прочности и ресурса большинства деталей требует знаний термодинамики, физики, математики, механики, теплотехники, управления, системотехники и еще нескольких десятков теорий, начиная от экспериментальной обработки результатов исследований и заканчивая способами сборки и монтажа уникальных конструкций. В каждой мощной турбине не менее 15–20 систем, в каждой из которых необходимо владеть вопросами конструкции, прочности, надежности, технологичности и пр. Турбины служат для привода генераторов до 1200 МВт и более.

Так, во времена СССР проекты турбинных заводов на ранней стадии создания оборудования проходили экспертизу в десятках организаций. Прежде всего, это происходило в крупнейших отраслевых институтах и вузах, в том числе, например, на кафедре Паровых и газовых

турбин «МЭИ». Зав. кафедрой проф. Костюк А. Г. в конце 70-х годов возглавлял экспертные Советы Минэнерго и Минэнергомаша. Экспертные Советы предопределяли развитие энергетики и энергетической промышленности, разрабатывая и реализовывая программы по решению важнейших научно-технических вопросов. А преподаватели и сотрудники вузов, участвовавшие в реализации программ, всегда были в курсе проблем и новых разработок наших ведущих предприятий и прорабатывали эту информацию со студентами, выполнявшими НИР и дипломные проекты. Аналогичные процессы имели место по другим центральным энергетическим специальностям. В то время наша энергетика опережала энергетику всех стран, мы делали самые мощные, надежные и экономичные турбины. Только Ленинградский металлический завод (ЛМЗ) выпускал каждую 10-ю турбину в мире, имел почти 10% мирового рынка. Еще столько же давали миру заводы в Харькове и на Урале. Каждый год в МИНЭНЕРГО и МИНЭНЕРГОМАШ формировались отраслевые программы, в том числе по повышению надежности ЭО. Дееспособные специалисты турбинных кафедр вузов и отраслевых НИИ вносили свой вклад в создание надежных и экономичных турбин. Многие специалисты имели заказы в области энергомашиностроения и энергетики, участвовали в пусках и доводке оборудования после монтажа и наладки, и такое общение и интегрирование практических знаний заводских специалистов и теоретических знаний ученых давало, как сейчас модно говорить, синергетический эффект.

Очевидно, что для подготовки кадров, глубоко владеющих решением тысяч различных задач в области создания ЭО, требуются подготовленные выпускники средних школ и вузов.

Перечислим основные проблемы обеспечения надежности ЭО, которые возникли в последние три десятилетия и дадим рекомендации по их устранению.

1.1. Системный подход предполагает обобщение проблем надежности и экономичности каждого семейства турбоагрегатов, как это делалось до 2000 г. фирмой ОРГРЭС на всех ТЭС и ГРЭС и ОАО ЦКТИ для турбин и генераторов АЭС. Результаты анализа передавались, прежде всего, специалистам заводов и обеспечивали обратную связь для выявления резервов повышения надежности и экономичности. Для обеспечения системного подхода и качества продукции на каждой ТЭС, ГРЭС и АЭС, а также на заводах-изготовителях существовали отделы надежности.

С началом этого века Государство перестало финансировать такие работы, фирма ОРГРЭС практически прекратила существование, прекратилось обобщение параметров надежности оборудования ТЭС и ГРЭС. В НПО ЦКТИ аналогичные работы по оборудованию АЭС также были прекращены. Отделы надежности, как правило, в процессе перестройки были ликвидированы из-за отсутствия компетентности высшего менеджмента холдингов и нормальной нормативной базы в данной области.

Предложения: Решение проблем очевидно — требуется восстановление госуправления и финансиро-

вания в данной части для всей энергетики, особенно атомной, путем создания нормативной базы и восстановления соответствующих структур.

1.2. Проблемы подготовки кадров. Все упомянутые тресты имели свои учебные центры, а Минэнерго во времена СССР имело в подчинении 18 энергетических техникумов, обеспечивавших кадрами среднее звено предприятий отрасли. Трестами проводились системные мероприятия по подготовке кадров всех уровней, в том числе курсы повышения квалификации. Ряд крупнейших вузов обеспечивал энергетику кадрами и участвовал активно в решении проблем отрасли. Регулярно проводились конференции по надежности, вибрации и диагностике оборудования ТЭС и ГРЭС, АЭС и ГЭС, на многих из которых присутствовал лично Министр энергетики СССР. Уже тогда по ряду специальностей наблюдался кадровый голод. Так, например, Невскому Машиностроительному заводу в 80-е годы прошлого столетия нужны были десятки специалистов по системам автоматического управления турбоагрегатов. По газовым турбинам на газоперекачивающие станции только для Сибирского региона требовалось около 400 турбинистов в год. В то же время на нескольких турбинных кафедрах Ленинграда, Москвы и Свердловска готовили ежегодно не более десятка специалистов-автоматчиков, а в сумме специалистов по турбинам готовили не более 150–180 человек в год, из которых не менее половины уходило в другие отрасли промышленности. К сожалению, в ходе перестройки все достижения прежних лет были утрачены. В результате упало не только количество, но и качество подготовки ряда специалистов, особенно инженеров-механиков. Причин снижения качества подготовки много и они так же системные.

- Многие грамотные специалисты в вузах сегодня не имеют постоянных заказов, а высший Менеджмент станций и турбинных заводов считает, что любые задачи они должны решать сами, в результате чего несут постоянные убытки и приобретают риски. Но самое главное, в результате таких событий перестает воспроизводиться элитный слой ученых, преподавателей и наладчиков, которые всегда эффективно помогали решать возникающие проблемы. Количество высококлассных специалистов, способных ставить и эффективно решать любые задачи промышленности, резко сократилось.

- Ряды специалистов в отраслевых и учебных институтах серьезно поредели в ходе реорганизации энергетики и управления государством. Исчезли не только мощные тресты, исчезли отдельные отраслевые институты, например, «Энергомонтажпроект». В несколько раз сократилось количество сотрудников в отраслевых НИИ — НПО ЦКТИ, ОАО ВТИ — с нескольких тысяч в каждом до нескольких сот. Исчезают, как правило, самые сложные направления. На кафедрах Московских, Петербургских и Уральских вузов исчезли многие специалисты по прочности, надежности, вибрации. Число вопросов и задач, которые сегодня могут решить упомянутые вузы и НИИ резко сократилось. Вместе с

исчезновением крупных специалистов приостановлено решение и развитие новых научных задач. **Вывод:** Ослабленные структуры вузов и отраслевых НИИ без срочной серьезной финансовой поддержки со стороны промышленности и Государства приведут к окончательной деградации кадров и исчезновению научных школ, а затем к снижению конкурентоспособности промышленности.

• **Отсутствие современных учебников и учебных пособий.** Хорошие новые учебники теперь редкость. Как результат, сегодня из-за вымывания специалистов их некому сегодня писать, все меньше выпускается пособий и монографий. А по таким направлениям, как ремонт, диагностика и наладка ЭО, вообще литература практически отсутствует. В издательствах теперь нет системных планов издания современной литературы. В энергетических и энергомашиностроительных холдингах не закладываются достаточные расходы не только на учебники, но даже на пособия для своевременного повышения квалификации. А обилие старой информации в интернете, часто искаженной и с некомпетентными рекомендациями, и новой неотредактированной качественно литературы, приводит к информационному хаосу и вырождению на кафедрах специалистов высокого уровня. Сказанное подтверждается статистикой выпуска специальной литературы и количеством книг в известных книжных магазинах. Новая зарубежная техническая литература вообще перестала переводиться.

• В процессе реорганизации высшего образования также были допущены ошибки. Так, в требованиях по подготовке специалистов и паспортах специальностей, выпущенных в 2018 г., отсутствует системный подход и ряд требований, например, подготовка в области диагностики на гидростанциях имеется, а для ТЭС, ГРЭС такие специалисты не планируются. В области монтажа, наладки, ремонта и диагностики чтение каких-либо курсов на многих специальностях не проводится. Например, для турбинистов исчезли курсы по технологии турбиностроения, монтажа и наладки оборудования, исчезли отдельные лаборатории и многое другое.

• **Фирмы по ремонту перестали приглашать студентов на ремонтную практику.** На современных предприятиях редко предусматриваются мероприятия для практики специалистов. Раньше, попадая на будущие рабочие места, студенты знакомились как с проблемами, так и с дополнительными требованиями в подготовке. Обычно в процессе обучения мало уделяется внимания, например, знаниям нормативной базы, тонкостям работы, конструирования или сборки и ремонта оборудования, работы с дорогими пакетами, применяемыми при проектировании. В каждом направлении в технике имеются нюансы, которые не передаются в книгах, и редко излагаются в статьях в полном объеме. Больше всего сложной и нестандартной информации передается при взаимном контакте специалистов. Однако разрыв поколений и утрата научных школ приводит к информационному разрыву. В

свое время студентов «МЭИ» и других вузов ремонтные тресты МЭР, ЦЭМ, ЦКБ «Энерго» приглашали после 4 курса на летние ремонты. Будущие специалисты на таких практиках под руководством мастера участвовали в разборке и сборке турбин, котлов, генераторов, теплообменного и прочего оборудования. Изучали дефекты, видели, как их устраняют, постигали тонкости сборки цилиндров и роторов. Где эти фирмы сегодня? Исчезли в результате перестройки.

Предложение: Следует восстановить в энергетических и машиностроительных институтах технологические, эксплуатационные и ремонтные практики в полном объеме.

1.3. Отсутствие в РФ вузовской подготовки специалистов по монтажу, ремонту, наладке и диагностике ЭО.

Ни один вуз сегодня не готовит специалистов по таким важным направлениям как монтаж, ремонт, наладка и диагностика. Программы обучения не только не соответствуют реалиям сегодняшнего дня, в результате чиновничьего беспредела и молчаливого согласия вузов программы обучения стали бессистемными, урезанными и лишенными важнейших позиций в области современного турбиностроения. А воспроизводство высокотехнологичных специалистов в условиях конкуренции и при новых экономических условиях практически стало невозможным. Дефицит специалистов, особенно высокой квалификации стал неизбежен. На сайте концерна «Росэнергоатом» объявлены десятки вакансий специалистов по механической наладке тепломеханического и электрического оборудования.

В то же время, например, студентам старших курсов НИУ «МЭИ» по специальности «Турбиностроение» не читаются сегодня лекции ни по монтажу и ремонту ЭО, ни по надежности энергетических установок, ни по технологии изготовления турбин, ни по наладке и диагностике ЭО. Будущие специалисты не получают представления ни о центровке турбоагрегатов, ни о балансировке. Традиционно инженеры — механики по турбинам обеспечивали долгие годы не только балансировку роторов турбин и крупных насосов, но также балансировку генераторов и возбuditелей. Но сегодня будущие специалисты не получают представления о динамических особенностях этих машин. А на кафедрах, где готовят специалистов по электрическим машинам, всегда была слабой теоретическая база по вибрации и наладке и тем более по вопросам взаимодействия генератора с турбиной.

Предложение: Открыть в ведущих двух, трех вузах, прежде всего в НИУ «МЭИ», где инфраструктура позволяет найти преподавательские кадры, новые направления по ряду специальностей, чтобы обеспечить подготовку для основных цехов ТЭС и АЭС — котлотурбинного, электрического и цеха наладки специалистов (инженеров), например, по направлениям: «Монтаж и ремонт ЭО», и «Наладка и диагностика ЭО».

1.4 Кадровое обеспечение электростанций.

Кадры, как известно, решают все. По оценке амери-

канских специалистов отдача средств, вложенных в повышение квалификации кадров, дает значительно больший эффект, чем вложение в новое оборудование. У нас многие специалисты, выполняющие сегодня ремонтные или диагностические работы на ТЭС и АЭС, случайные люди. Некоторые нигде не изучали ни турбин, ни тем более сложных тепломеханических процессов. Количество и объемы курсов повышения квалификации после исчезновения ремонтных трестов резко сократилось. Раньше преподаватели «МЭИ» по несколько раз в год выезжали на различные ТЭС и АЭС, делали сообщения о методах снижения вибрации, повышения экономичности, надежности, а также информировали о последних достижениях науки и технологий.

Участие в совещаниях различных уровней выявило в последние годы такие казусы: заместитель главного инженера по ремонту одного из холдингов путает центровку и станочную балансировку. Технический менеджмент не знает, какие силы действуют в турбине и как они передаются. Один из главных инженеров, проработав много лет начальником турбинного цеха, не знает, как устроен упорный подшипник типа «Кингсбери» и т. п. Тридцать лет тому назад такое невозможно было даже представить. Диагност турбинного цеха одной из АЭС просит прочитать лекции по турбинам, так как никогда их не изучал. Практически исчезли специалисты по балансировке в концерне «Росэнергоатом» (РЭА). На отдельных станциях месяцами не могут справиться с простыми проблемами. Например, на одной из АЭС вместо того, чтобы вначале балансировать генератор, как следует из данных вибрации при пуске, пытались балансировать более легкий возбудитель. На ряде ТЭС месяцами устраняли низкочастотную вибрацию (НЧВ). А на одной из ГРЭС уже годами борются с НЧВ на турбинах ХТЗ. В результате балансировки и наладки растягиваются на много месяцев, а то и на годы с соответствующими экономическими потерями. Вместо того, чтобы пригласить, как раньше, лучших в стране специалистов, на них сегодня «экономят» и пытаются своими силами справиться с проблемами.

Вред тройной:

- длительные наладки и значительные финансовые потери;
- свои специалисты решают проблемы методом «тыка», слабо иногда понимая, что происходит в турбине;
- серьезные специалисты постепенно вымываются, так как их знания не используются и опыт не передается.

В то же время один лишний пуск на крупном турбоагрегате многократно превышает все расходы, которые понадобились бы на оплату приглашенного квалифицированного специалиста. Есть примеры из смежной, еще более богатой отрасли, когда на простом газоперекачивающем агрегате делали по тридцать и более балансировок.

Очевидно, что специалисты по наладке и диагностике турбоагрегатов, котельного и электротехнического

оборудования должны готовиться на известных кафедрах и прием на такие специальности должен быть ужесточен. Объем и содержание информации, сообщаемой в процессе подготовки таких специалистов, требуют, прежде всего, хорошей школьной физико-математической подготовки, глубоких знаний математики, физических процессов, происходящих в машинах, термодинамики, механики материалов и теории колебаний, теории вероятностей и надежности и прочего.

В последние тридцать лет существенно обновилась технологическая база ремонта и наладки, появились новые более совершенные методы измерений и диагностики. Однако современного инструмента и приспособлений, по-прежнему, не хватает, и многое делается по старинке. Так, например, технология балансировки, по существу, была разработана 50 лет тому назад. Методы центровки роторов по полумуфтам также устаревшие. На курсах повышения квалификации в НИУ «МЭИ» пытаются внедрить новые программы обучения и предложить новые технологии наладки и ремонта, основанные на более глубоком изучении динамических свойств сложной системы «турбоагрегат-фундамент».

Но предложенных мер недостаточно для решения проблемы подготовки специалистов. Написать более полную программу недостаточно, необходимо обеспечить ее реализацию квалифицированными специалистами.

2. Кадровое обеспечение вузов. Реорганизация обучения в вузах по направлению «энергетическое машиностроение»

В этой части имеются еще более серьезные проблемы, которые появились в результате некорректной реорганизации государственного управления. Наряду с бессмысленным разделением подготовки специалистов на бакалавров и магистров, Министерство науки и высшего образования много лет продолжает уничтожение известных кафедр. Откуда появятся, например, специалисты по наладке и вибрации энергетических установок, если заказов от промышленности мало, а Госбюджетных научных ставок лаборантов, инженеров и научных сотрудников на кафедрах тоже нет. Исчезли и продолжают исчезать целые научные школы. Идет одностороннее обучение.

Например, сомнительно, что при количестве 8 или даже 10 преподавательских ставок, выделенных «сверху» кафедре Паровых и газовых турбин НИУ «МЭИ», можно обеспечить качественную подготовку студентов по направлению, в котором требуются специалисты по более чем двум десяткам систем. Раньше только отдел газодинамики имел не менее 8 ставок преподавательского состава, а в целом кафедра имела около 30 ставок преподавателей. Большинству молодых преподавателей при нынешней нагрузке не хватает времени на полноценное участие в научных исследованиях, даже когда им предлагается «проторенный» предшественниками путь.

Сокращение и омоложение состава производится в

ряде случаев тупиковыми методами. Цель — формально поднять в вузах среднюю зарплату. Профессора и доценты, которые отдали десятилетия жизни своим научным направлениям, вдруг вынуждены уходить в результате сокращения или переходить на 0.1 – 0.2 ставки, в то время как в прежние годы профессор, читая курс и проводя по нему практические занятия, остальное время посвящал развитию своего направления, писал учебники и руководил аспирантами, получая высокую зарплату. Сейчас же все, кому исполнилось 70 и больше, унижены переходом на 0.1 ставки, часто продолжая работу в прежнем объеме. При этом других профессоров за ними нет и передавать опыт младшему поколению некому. И еще, что важно, на многих кафедрах исчезла научная среда, редко бывают защиты диссертаций и обсуждение научных проблем, как это было в доперестроечное время, руководители живут финансовыми проблемами и интересами. В результате исчезают не только школы, но и качественные диссертации и падает общий уровень подготовки специалистов. Эти процессы наблюдаются во многих ведущих вузах России.

Предложение: Необходимо вернуть уважение к профессорско-преподавательскому составу Высшей школы, восстановить численность кафедр и оплату труда преподавателей в соответствии с задачами, которые необходимо сегодня решать в энергетике. Следует изменить стандарт образования. Убрать бессмысленную планку, определяющую количество преподавателей количеством студентов. Сидит в аудитории 5 студентов или 50 качество знаний и количество передаваемых знаний в области техники от этого не может зависеть. Нужно пересмотреть паспорта специальностей, которые должны утверждать не менеджеры высшей школы, а ведущие конструкторы заводов — изготовители продукции. Необходимо оснастить высшую школу современными научными стендами. В области машиностроения стоимость лабораторных стендов на два порядка выше, чем стоимость стендов в области связи, радио, телевидения, электроники. А затраты энергии выше на несколько порядков. Поэтому в образовательном стандарте машиностроительных специальностей следует особое внимание уделить возможности участия студентов старших курсов в экспериментах на промышленных предприятиях путем прохождения специальной практики на основе интеграции науки и промышленности.

Особо в последние годы в реорганизации образования отличился Ленинградский политехнический университет им. Петра Великого. Там ликвидированы кафедры — главные ячейки подготовки и воспроизводства кадров, как высшей квалификации, так и нужной специализации. Произошел слом устоявшихся за сотни лет форм и традиций, а взамен предложены сомнительные и непроверенные формы организации учебной и научной работы. Школы и научные коллективы складывались годами вокруг талантливых и активных ученых. Представление о том, что можно на два-три года собрать произвольный научный коллектив и решить серьезную задачу путем выполнения гранта и таким

образом поддерживать Российскую науку, совершенно ложное. Грантовая система финансирования науки может быть лишь дополнением к постоянной и системной научной работе, финансируемой государством и планируемой вузами совместно с промышленностью. Бессистемно и случайным образом за отдельные нерешенные или, скорее, заранее решенные задачи, оформляются гранты. А рядом направление, которое не самое доходное, но нужное для продолжения дела, гибнет. В результате, то, что раньше было решено и годами наработано, перестает поддерживаться и теряется компетентность в некоторых вопросах. Только руководитель работ знает, чем нужно заниматься сегодня в первую очередь. А это возможно только при постоянном финансировании и подпитке научного коллектива. Ликвидация кафедр приведет к полной деградации подготовки специалистов по направлениям. Вместо того, что бы учить тому, чему надо, будут учить тому, чему смогут. Результат действий сверху сегодня известен. Армия талантливых молодых людей вместо того, чтобы посвятить себя тяжелому, но интересному научному труду, не приходит в аспирантуру, не хочет напрягаться с неизвестными последствиями, а уходит в бизнес или, что еще хуже, покидает пределы родины, а их место занимает более слабый контингент, который набирается в соответствии с планом и который не повысит планку научных достижений.

Предложение: В каждой отрасли необходимо обеспечить финансирование науки, как в Советское время, путем постоянного отчисления двух процентов от стоимости продукции или четырех процентов от прибыли в соответствующие научные фонды, к которым прикреплены вузы и в которых реализуются отраслевые программы.

Риски Высшей школы и промышленности начинаются из-за низкого качества школьного образования. Серьезные проблемы возникают при подготовке выпускников средней школы. Абитуриенты в вузы приходят все хуже и хуже, а готовить их должны все лучше и лучше. Выпускники школ из-за клипового мышления сегодня не могут воспринимать органично, как в прежние годы, такие курсы, как математика, гидроаэромеханика, механика материалов, теория надежности и др. А из-за низкой стипендии бакалавры не хотят идти в магистры, находят уже на младших курсах работу и, тем самым, ставится под угрозу подготовка квалифицированных специалистов и существование всей высшей инженерной школы. Сегодня у молодых специалистов отсутствует, например, понимание сложных физических процессов в многоопорных роторных системах, в процессах, которые происходят при прогреве и нагружении сложных конструкций.

Предложение: Необходимо срочно вернуться к обычным экзаменам для тех, кто хочет связать свою судьбу с инженерно-техническими специальностями. Вузы должны вернуться к подготовке инженеров. Бакалавры, как правило, могут быть использованы в качестве промежуточного звена на низкоквалифицированных вспомогательных и простых инженерных работах.

Необходим массовый переход на трехсторонние договора со студентами. Студенту необходимо от фирмы платить стипендию, не меньше, чем при обучении в трамвайном депо, а учиться он должен, не покладая рук. При этом он будет знать, где и с чем будет работать. Кроме того, необходимо резко увеличить численность вечернего отделения для желающих пройти платное переобучение или дообучение. Тогда и кафедры, может быть, выживут.

3. О ремонтных формулярах и организации ремонтных работ

Из кадровых проблем вытекает ряд технических и экономических. 50 лет тому назад специалисты трестов Московского ЦКБ «Энергоремонт» и его Харьковского филиала, а также треста ОРГРЭС разрабатывали технологическую документацию по вопросам ремонта, новые технологии и обосновывали ценовые затраты на ремонт. С тех пор цены выросли многократно, но реально сегодня на капитальный ремонт выделяются часто ничтожно малые суммы, которые потом многократно вырастают из-за аварийных ремонтов и непривлечения профессионалов. Кроме того, для ряда новых технологий в старых ценниках, на которые до сих пор опирается менеджмент электростанций, нет сведений о себестоимости их выполнения. А разработка новых современных приспособлений для ремонта турбоагрегатов практически затормозилась.

Из-за отсутствия системного подхода в области ремонта и в результате развала ремонтных трестов случаются казусы. Например, аудит технического состояния ряда станций и анализ ремонтных формуляров обслуживания показал, что заводы до сих пор назначают в чертежах лишь некие средние зазоры в уплотнениях турбин, генераторов, в том числе в маслозащитных кольцах, а детальные формуляры должны разрабатываться специализированными ремонтными структурами. В связи с их отсутствием в некоторых новых турбинах и генераторах установлены некорректные зазоры при сборке деталей и узлов, назначенные без учета всплытия ротора и других факторов, что приводит к задеваниям, прогибам роторов и прочее. В старых книгах по подшипникам величина всплытия шеек роторов указывается порядка 50 мкм, что некорректно. В работах НИУ «МЭИ» и ОАО ВТИ давно было показано, что всплытие шеек роторов в крупных турбинах и генераторах составляет около 350–550 мкм. Это подтверждают современные многочисленные данные измерений на цапфах диаметром 400 мм и более [1, 2]. Величина всплытия цапфы в расточке крупного эллиптического подшипника вверх и влево, если смотреть со стороны регулирования на генератор, составляет около 0,5 мм, а суммарный вектор смещения по амплитуде достигает 0,7 мм и более. Кроме того, имеют место вибрация цапфы и ошибки сборки, перекосы, теплосиловые деформации — переменные при пуске и постоянные после прогрева и перемещения статорных элементов. Следовательно, чтобы гарантировать отсутствие задеваний,

необходимо в уплотнениях при сборке устанавливать минимальный зазор в направлении наибольших взаимных статических и динамических смещений ротора и статора не менее 0,8–0,9 мм. С противоположной стороны его можно назначить величиной 0,05–0,1 мм.

Для решения сформулированных проблем и восстановления системного подхода необходимо во всех крупных Холдингах создать Экспертные советы для рассмотрения назревших вопросов, с привлечением квалифицированных и действующих ученых и специалистов вузов и НИИ и обеспечить их в рамках таких советов постоянной работой, в том числе по повышению надежности. Еще эффективнее создать единый экспертный совет при системном операторе или совете производителей энергии, чтобы в него вошли крупные специалисты вузов, электростанций и заводов для решения общих назревших проблем. Так, например, из-за отсутствия квалифицированных кураторов технического блока Минэнерго «Правила технической эксплуатации...» в очередной раз выходят даже без упоминания датчиков вала, хотя соответствующие ГОСТы по оценке вибрации шеек роторов за 50 лет пережили шесть изданий.

Уничтожение ремонтных трестов привело к отсутствию системного подхода к ремонтным структурам, как части энергетических систем. Все другие структуры (генерация, управление) — объединены и организованы. А многие ремонтные структуры разделены, разрознены на мелкие части и не имеют фактически ни технической, ни организационной управляемости. Из-за частой смены специалистов через 8–10 лет на ТЭС снова возникают когда-то уже решенные проблемы.

Желательно для выработки единой ремонтной политики и разработки нормативно-правовой и нормативно-технической документации все ремонтные структуры объединить в саморегулируемую организацию (СРО) по ремонту тепломеханического и электротехнического оборудования. На станциях следует организовать получение статистических данных по надежности и способам решения проблем. А для сбора и обобщения этих данных в масштабах России должна быть восстановлена госструктура типа Главтехуправления при Минэнерго, которая бы обслуживала и контролировала техническую политику как генерации, так и заводов-изготовителей и крупных ремонтных структур по вопросам совершенствования ЭО в интересах государства.

Примечание: Организация типа СРО помогла бы объединить усилия в решении однородных задач и проблем, повторяющихся на многих электростанциях, принять участие в разработке новых технологий и цен на ремонтные работы. Этой же организации можно поручить системную подготовку квалифицированных кадров для ремонта, наладки и доводки ЭО. Кроме того, за 30 последних лет возникла масса научно-технических вопросов в области ремонта, диагностики и наладки, особенно современного оборудования. Однако вопросы решаются медленно без участия специалистов высокой квалификации в связи с их вырождением.

4. Организация ремонта и его финансирование

Как известно, 1 день непланового простоя мощного турбоагрегата из-за ошибок или недостатков ремонта и эксплуатации суммарно исчисляется величинами порядка миллиона долларов без учета сопутствующих вторичных косвенных потерь, которые в ряде случаев превышают первичные. И, кажется, повышение надежности, да и экономичности критического оборудования должно стать главным инструментом и стимулом к финансированию ремонта. Суммы расходов на ремонт должны определяться, исходя из требований нормативной документации в части объемов и качества ремонта и наладки. Однако многие фирмы сегодня экономят на капитальных и текущих ремонтах. Примеров этому достаточно. В результате часто после капитального ремонта текут котлы, отказывают, вдруг, насосы, появляется вибрация даже на тех турбинах, на которых ее, как правило, раньше не было и прочее.

Предложение: Необходимо на уровне государства узаконить нормативы финансирования объемов ремонтных работ.

4.1. Переход на ремонт по техническому состоянию.

Переход на ремонт по техническому состоянию плохо подкреплен системами диагностирования и наличием статистических данных по надежности. Системы мониторинга не позволяют сегодня дать качественные прогнозы по техническому состоянию или исчерпанию ресурса. Кроме того, в силу особенностей оборудования имеет место очень большой статистический разброс по повреждениям [3]. В таких объектах ТЭС, как котел, невозможно выявить все дефекты, пока его не остановят и не осмотрят. Статистику дефектов по всем видам оборудования никто сегодня не ведет, а системы, которые их выявляют в котлах, турбинах и прочем оборудовании в нужном объеме, пока нет. В турбоагрегатах хорошая вибрация в точках контроля не всегда является свидетельством хорошего ремонта. На некоторых типах турбин при нормальном уровне вибрации при стандартном подходе невозможно выявить некоторые скрытые дефекты или поломки. Имеется много случаев, когда поломки случаются при вибрации в пределах норм ПТЭ. Только очень опытный специалист-диагност, анализируя спектры, видит, что разрушены болты крепления бугелей подшипников или болты полумуфта, или уже имеется трещина в роторе. Таким образом, переход на ремонт по техническому состоянию в полной мере возможен только после создания совершенных систем диагностики ЭО [1, 4].

Предложение: Необходимо развивать и совершенствовать системы технической диагностики по всем основным критическим видам оборудования. Следует создать рабочую группу для координации работы разрозненных групп разработчиков путем разработки стандарта и единых нормативно-технических требований к системам.

4.2. О финансировании систем мониторинга и диагностики технического состояния:

Сегодня имеется много фирм — разработчиков си-

стем мониторинга технического состояния. Но даже в Атомной отрасли не выполняется и не применяется в полной мере новый ГОСТ Р 55263-2012. Часто фирмы делают то, что умеют, а не то, что требуется сегодня. При высоком уровне IT решений совершенно недостаточны технологические решения в области **мониторинга и диагностики технического состояния** и поэтому эффект применения при ремонте результатов анализа технического состояния ЭО с помощью таких систем минимален. Это связано в значительной степени с отсутствием финансирования НИОКР в этой части. Кроме того, сколько станций, столько разных технических заданий на системы. Многие технические задания достаточно слабые. Более того, отдельные системы дискредитируют разработчиков этого важного направления.

Предложение: Необходимы многоплановые и системные НИР по созданию и отработке новых решений в области мониторинга и диагностики технического состояния ЭО. К разработке систем необходимо привлекать и финансировать те фирмы, которые имеют солидные научные наработки в данной и/или смежной областях.

Но главный путь решения проблем повышения надежности: Создание сервисных центров Мониторинга и Диагностики технического состояния (ЦМДТС). Это дает:

- Решение проблемы квалифицированной помощи и роста квалификации обслуживающего и ремонтного персонала ТЭС.
- Создание центров с удаленной диагностикой и мониторингом обеспечит системные наблюдения за всеми важнейшими процессами в оборудовании. При этом возникнет возможность получения статистического обобщения такой информации.
- Обеспечение полноценного сервиса выпускаемого заводами оборудования.
- Возможность подготовки и обучения квалифицированных кадров в области диагностики технического состояния, как в среде разработчиков, так и в среде пользователей.
- На базе таких центров можно эффективно использовать в режиме удаленного доступа или видеоконференций институт Экспертов — сейчас это случайный и редкий процесс.

От поставщиков систем мониторинга технического состояния надо требовать в ТЗ не только то, что они предлагают, а то, что можно сегодня получить от этих систем для ремонта — своевременные предсказания появления первичных дефектов, развития тех или иных событий и автоматическую оценку технического состояния.

Пример: Рассмотрим ЦМДТС на ТЭС «Ла Козелла» (Владелец — полугосударственная компания «Энель», Италия). На сервере сегодня хранятся данные за 18 лет по всем турбинам, насосам, вентиляторам, включая формуляры ремонта и сборки. Всего в «Энель» около 150 турбоагрегатов различного класса, разбросанных на десятках ТЭС по всей Италии. За ними следят около 10

диагностов. Задача диагностов контролировать и формулировать ремонтному персоналу задачи на основании экспертных сообщений системы. Также можно получить в режиме реального времени для любого агрегата все характеристики в контрольных точках при пуске-останове и эксплуатации, при возникновении событий или отклонений от режимов. На сервере фиксируется в электронном виде и обобщается вся ремонтная техническая документация, доступная любым независимым квалифицированным специалистам, принимающим участие в сервисе и ремонте оборудования. Но даже сегодняшние системы, применяемые в Италии и Германии, не всегда обеспечивают высокую надежность. Бывают сбои. Несколько лет тому назад из-за отрыва керамических плиток камеры сгорания в ГТУ мощностью 270 МВт разрушения проточной части происходили всю ночь. Только под утро автоматика заметила аварию. Видимо, уставки по вибрации были завышены. Газовая турбина находится в хорошо изолированном от шума боксе. А на БЩУ дежурит не более двух человек. Причины аварии — конструктивные недостатки.

4.3. Экономия на шефском персонале недопустима.

На ТЭС и ГРЭС в последние годы стали экономить на шеф-инженерах заводов-изготовителей. Раньше на станции приезжали опытный и молодой шефы вместе. Теперь из-за экономии на договорах шеф-инженер приезжает на ГРЭС без молодого помощника, которому еще учиться надо. В результате из-за смены поколений все меньше квалифицированных шеф-инженеров. Хорошие шефы не скоро вырастают. Они не только имеют, как правило, длительный опыт и хорошее образование. Они имели возможность расти, участвуя в известных энергетических стройках и ремонтах вместе с опытными товарищами и многочисленными специалистами отраслевых и учебных институтов.

Предложение: Следует узаконить присутствие шеф-инженеров на крупных генерирующих объектах. Экономия на шефском персонале недопустима.

5. Нельзя полностью полагаться на заводы

Если смотреть с точки зрения квалификации наладчиков в области энергетического оборудования, то сегодня наиболее квалифицированные кадры, знающие многие тонкости и особенности оборудования, сосредоточены прежде всего на заводах.

Но, несмотря на высокий уровень специалистов на предприятиях, регулярно возникают проблемы в области надежности. На заводах катастрофически не хватает квалифицированных специалистов в области вибрации и прочности. Раньше на каждом турбинном заводе было несколько специалистов по вибрации.

В результате на три турбинных завода РФ сегодня приходится несколько квалифицированных специалистов по вибрации. Для сравнения в фирме «Мицубиши» по словам руководства из 300 человек центра технической диагностики хорошо разбираются в вопросах вибрации 30.

Причины исчезновения специалистов общие. Энер-

гетическое оборудование, как высокотехнологичное, всегда создавалось с участием многих институтов. Заводы всегда работали совместно с многочисленными экспертами. Иногда эта работа нигде не фиксировалась, так как идеи и задачи рождались постепенно в тесном общении инженеров. Сейчас произошел значительный разрыв между наукой и производством. Общение между специалистами разных фирм почти прекратилось, а на конференциях редко рассматриваются результаты сложных наладок и решения проблем. Проблемы и аварии повсеместно скрываются. Нет общения — нет знаний — нет своевременного решения проблем.

Сервисные структуры на заводах-изготовителях до сих пор не развиты, хотя разговор о них идет 25 лет. Турбоагрегаты, например, 300 МВт, доводили в свое время в течение 20 лет. Многие крупные машины 500–800 МВт до сих пор остались недоведенными до необходимого технического уровня. Нет ни одной турбинной фирмы в мире, которая с первого раза может сделать абсолютно надежную машину, так как это сложная высокотехнологичная продукция. Но на заводы в крупных городах в последние годы приходят выпускники, которые не столько учились, сколько зарабатывали на хлеб. Разрушение связей специалистов сегодня почти необратимый процесс, восстановление возможно только с подъемом образования, организации обмена опытом и повышения квалификации и привлечения оставшихся единичных специалистов. Заводам также придется в ближайшие годы обращаться к вузам и оставшимся НИИ за помощью в решении научно-технических задач. Для воспроизводства высококвалифицированных наладчиков и специалистов по ремонту в вузах должны быть постоянные заказы промышленности и союз новых технологий и практики.

Предложение: Заводам в ближайшие годы необходимо решать вопросы подготовки кадров и обращаться к вузам за индивидуальной подготовкой специалистов в соответствии с постановлением правительства РФ от 21 марта 2019 г. № 302 «О целевом обучении по образовательным программам среднего профессионального и высшего образования ...». Заводы должны стать катализаторами поддержки научных направлений. В свое время кафедра Паровых и газовых турбин НИУ «МЭИ» построила мощную лабораторию (здание и экспериментальные турбинные установки) благодаря финансированию от Калужского турбинного завода. На базе этой лаборатории завод получил не только результаты научных исследований, но и кадры высшей квалификации.

6. Нельзя рассчитывать на западные поставки

Многие, особенно чиновники в правительстве, мало понимающие в технике, считают, что нам помогут западные технологии.

Во-первых, никто самое лучшее никогда не передаст. Во-вторых, в западном мире происходят многие, аналогичные нашим, негативные процессы. **Пример:** фирма GE никак не могла отбалансировать промвал на новой

одновальной ПГУ для Шатурской ГРЭС. Один специалист измеряет на станции, другой что-то на заводе в США рассчитывает и, в конце концов, через два месяца работы специалисты GE оказались в тупике. Вызвали специалиста из фирмы «Диамех-2000». Он за два дня все померил, просчитал и решил проблему значительно дешевле.

В-третьих, часто, все, что поставляется в России — это экспериментальные образцы оборудования, да еще за огромные деньги. Ремонт и обслуживание обходится нашим энергетическим фирмам в копейчку, но главное, смотри таблицу, где приведены инциденты с импортным оборудованием, западные поставки не отличаются надежностью. Из того, что стало известно технической общественности следует, что всего лишь за последние несколько лет наблюдается разрушение или потеря работоспособности большинства новых импортных машин.

Другие примеры: В 2016 г. в Италии на ТЭС «Ла Козелла» разрушилась проточная часть газовой турбины Сименс 270 МВт. Ранее на этой турбине разрушался неоднократно внутренний стяжной вал.

У Сименса несколько лет назад в Южном Уэльсе отрывались четырежды новые метровые лопатки последней ступени на новой ПТ для ПГУ. На этом основании Сименс предложил на новой ПГУ в Невинномысске

спилить лопатки последней ступени, пока не будет спроектирована новая ступень.

В 2015 г. на Среднеуральской ГРЭС произошло разрушение роторов газовой турбины ПГУ-450 GE до окончания подконтрольной эксплуатации в 72 часа. При этом наши специалисты близко к турбине не подпускались.

Так что импортные агрегаты в значительной степени не показывают необходимой надежности. При этом предельные уставки по среднеквадратичному значению (СКЗ) виброскорости на отключение для турбин и компрессоров GE составляют 21 мм/с против наших 11 мм/с.

А мы продолжаем покупать мощные энергетические установки на Западе.

Предложение: За те деньги, что потрачены на импортное оборудование, можно было поднять отечественное энергомашиностроение и довести его объемы до уровня, хотя бы, 1987 года. Не следует закупать импортного энергетического оборудования более 10–15%. Следует обеспечить доводку и производство новейших турбин, соответствующих или даже превышающих мировой уровень, как это было в СССР 35 лет тому назад. По ряду машин СССР занимал первое место в мире по надежности и экономичности. Например, атомные турбины 220 МВт на АЭС «Ловииса» (Финляндия).

Таблица. Аварийность зарубежной энергетической техники, поставленной в Россию

Table. The accident rate of foreign energy equipment supplied to Russia

№ п/п / No.	ТЭЦ, ГРЭС, АЭС / TPP, GRES, NPP	Турбина. Событие / Turbine. Event
1.	Кемеровская ТЭЦ, 2013 г. Kemerovskaya TPP, 2013.	Разрушение диска регулирующей ступени турбины Альстом на 9000 об/мин. Destruction of the turbine control stage disk. Turbine at 9000 rpm supplied by Alstom.
2.	ТЭЦ Джубга, 2014 г. TPP Dzhubga, 2014.	Разрушение т/а 100 МВт General Electric (GE)/ Destruction of fuel-supply system 100 MW General Electric (GE)
3.	Среднеуральская ГРЭС, 2015 г. Sredneuralskaya GRES, 2015.	Разрушение роторов газовой турбины ПГУ -450 GE при подконтрольной эксплуатации в 72 часа. Destruction of the rotors of a gas turbine PGU-450 GE during controlled operation at 72 hours.
4.	ТЭЦ г. Сочи, 2013-2015 гг. Thermal Power Plant in Sochi, 2013 – 2015.	Трижды разрушалась газовая турбина Сименс (произведена в Швеции). The Siemens gas turbine (produced in Sweden) was destroyed three times.
5.	Невинномысская ГРЭС 2014 г. Nevinnomysskaya GRES 2014.	Спилены лопатки последней ступени паровой турбины 150 МВт Сименс в составе ПГУ-450 для предотвращения аварии, так как на 4-х аналогичных турбинах Сименс в Англии уже произошел отрыв турбинных лопаток. The blades of the last stage of the 150 MW Siemens steam turbine as part of PGU-450 were cut to prevent an accident. By this time, on 4 similar Siemens turbines in England, the turbine blades already broke off.
6.	ТЭЦ, г. Сызрань, 2016 г. Thermal Power Plant, Syzran, 2016.	Задевания и разрушение лопаток последней ступени на газотурбинной установке PG6111FA*, 80 МВт (GE). Уставка по вибрации при этом превышает все мыслимые нормы 21 мм/с. Grazing and destruction of the last stage blades on the PG6111FA * gas turbine installation, 80 MW (GE). The vibration setpoint exceeds all conceivable norms of 21 mm / s.
7.	Новокуйбышевская ТЭЦ, 2016 г. Novokuibyshevskaya TPP, 2016.	Задевания и разрушение лопаток последней ступени на газотурбинной установке PG6111FA*, 80 МВт (GE). Grazing and destruction of the last stage blades at the PG6111FA * gas turbine installation, 80 MW (GE).
8.	Якутская ТЭЦ, 2013 – 2014 гг. Yakutsk Thermal Power Plant, 2013 – 2014	Одна из двух энергоустановок GE 25 МВт была возвращена ДЖИИ по причине неработоспособности. One of the two GE 25 MW power plants was returned to GE due to inoperability
9.	Ванкорская ГРЭС, с 2005 по 2015 гг. поставлено 10 агрегатов. Vankor State Regional Power Station, from 2005 to 2015 delivered 10 units.	Неустраняемые крутильные колебания турбоагрегата. GE расписалось в неспособности решить эту проблему. Fatal torsional vibrations of the turbine unit. GE signed an inability to solve this problem.

* MS 6111 FA

Выводы

1. Сформулированы основные организационные проблемы, которые необходимо решать для повышения качества эксплуатации и ремонта и снижения рисков возникновения аварий.

2. Предложены пути преодоления указанных проблем. В том числе предлагаются решения по важнейшему направлению — обеспечению энергетики современными квалифицированными кадрами.

3. Надо развивать свою науку и промышленность в области энергетики и интегрировать образование с наукой и производством.

4. Работа по повышению надежности оборудования ТЭС и АЭС должна вестись непрерывно. Ее интенсивность в последние годы ослабла. Причем большинство прикладных задач решаются независимо от типа и мощности турбин, следовательно, это общая задача энергетики и она должна решаться на государственном уровне в соответствии с отраслевыми программами.

Список использованных источников

1. Куменко А. И., Костюков В. Н., Кузьминых Н. Ю., Бойченко С. Н., Тимин А. В., Тетерин А. О. Разработка элементов системы мониторинга технического состояния турбоагрегатов ТЭС и АЭС // Теплоэнергетика 2017; 8: 14–23.

2. Куменко А. И., Костюков В. Н., Кузьминых Н. Ю., Тимин А. В. Использование датчиков положения вала для моделирования

расцентровок опор валопроводов турбоагрегатов. // Теплоэнергетика 2017; 9: 41–51.

3. Мурманский Б. Е. «Разработка, апробация и реализация методов повышения надежности и совершенствования системы ремонтов паротурбинных установок в условиях эксплуатации ...» Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.04.12 – «Турбомашины и комбинированные турбоустановки». УрФУ Екатеринбург 2016;: 457.

4. Наумов С. А., Крымский А. В., Липатов М. А., Скрабатун Д. Н. Опыт использования удаленного доступа и предсказательной аналитики состояния энергетического оборудования. // Теплоэнергетика 2018; 4: 21–33.

References

1. Kumenko A. I., Kostyukov V. N., Kuzminykh N. Yu., Boychenko S. N., Tymin A. V., Teterin A. O. Development of elements of the monitoring system of the technical condition of turbine units of thermal power plants and nuclear power plants. *Teploenergetika* 2017; 8: 14–23.

2. Kumenko A. I., Kostyukov V. N., Kuzminykh N. Yu., Timin A. V. The use of shaft position sensors to simulate the centering of the supports of the shaft lines of turbine units // *Thermal Engineering* 2017; 9: 41–51.

3. Murmansk B. E. "Development, testing and implementation of methods to improve the reliability and improve the system of repairs of steam turbine units under operating conditions ..." Thesis for the degree of Doctor of Technical Sciences in the specialty 05.04.12 – "Turbomachines and combined turbo-installations". UrFU Yekaterinburg city 2016;: 457.

4. Naumov S. A., Krymsky A. V., Lipatov M. A., Skrabatun D. N. Experience of using remote access and predictive analytics of the state of power equipment. // *Thermal engineering* 2018; 4: 21–33.

