

# Проблемы надежности силовых систем и устройств в реалиях XXI века

## Часть 1

**В России и за рубежом в последние годы в электроэнергетике, силовой электронике и многих других отраслях, в том числе и затрагивающих изделия военного назначения, произошли серьезные техногенные аварии и катастрофы. И это несмотря на очевидные достижения в области электронных и электротехнических компонентов, автоматизацию проектирования и производства и т. п. Катастрофы и аварии выявили существенные проблемы в обеспечении надежности, особенно при эксплуатации устройств. Авторами анализируются причины такого удручающего положения. В том числе отмечается резкое возрастание негативного влияния человеческого фактора, экономических стимулов и, как ни парадоксально, конкуренции, а также заметное снижение (порой пренебрежение) систематической работы по повышению надежности. На конкретных примерах рассматриваются просчеты различного характера, приводящие к авариям и отказам.**

**Владимир Ланцов**

vvlantsov@list.ru

**Саркис Эраносян, к. т. н.**

sergera840@mail.ru

В работе [1] авторы приводили сведения об участившихся крупных авариях и катастрофах техногенного характера в электроэнергетических и силовых системах, произошедших в 2001–2006 гг. в России и за рубежом. Рассматривались причины и факторы, лежащие в основе произошедших аварий. В последующие годы количество аварий и катастроф в электроэнергетических сетях, силовых системах и устройствах не уменьшилось и даже возросло. Они стали еще масштабнее по своим проявлениям и отрицательным последствиям. По прогнозам специалистов, отмеченные тенденции далее будут лишь усугубляться.

В целом, причины аварий остались практически теми же, но в их характере и значимости произошли существенные изменения. Кроме того, авторы усматривают в происходящих авариях глубинную подоплеку и системные дефекты, характерные для нынешнего века с точки зрения общих процессов, происходящих во всех индустриальных странах мира, где произошли серьезные экономические и социальные изменения. Рассмотрим все это более подробно, но предварительно опишем наиболее масштабные из аварий и катастроф.

### Достижения, отказы, аварии, катастрофы...

На современном этапе производителями придается первостепенное значение улучшению технических характеристик (экономичность, удобство в экс-

плуатации, дизайн), а также стоимости (удельной стоимости) источников электроэнергии, различных энергетических систем, устройств распределения и потребления электроэнергии. Определенное внимание продолжает уделяться повышению их качества, надежности и гарантиям работоспособности. В этой связи можно выделить следующие типы изделий:

- электроэнергетические сети и устройства распределения электроэнергии;
- преобразователи частоты для электропривода;
- электросиловые установки движущихся объектов;
- электросварочные агрегаты, в том числе автоматы для сварки рельсов и металлических труб и конструкций;
- системы и источники с преобразованием частоты и импульсным регулированием и т. д.

В зависимости от сложности энергетического объекта, силового устройства и назначения указываются, например, следующие показатели. В части надежности: средняя наработка на отказ — от нескольких тысяч до сотен тысяч (и даже миллионов) часов; средний срок службы восстанавливаемых (ремонтируемых) изделий — 8–25 лет, технический ресурс — 10 000–100 000 ч и более. При этом некоторые изделия могут успешно функционировать в напряженных рабочих режимах, достаточно сложных климатических и иных специальных условиях.

Достижение высоких параметров изделий стало возможным благодаря новым свойствам электро-

технических и силовых электронных компонентов, полученным не только в результате значительного повышения качества и уровня параметров, но также улучшения показателей их надежности. В первую очередь, это относится к высоковольтным диодам Шоттки (в том числе SiC-диодам Шоттки), симисторам и тиристорам (GTO, GCT, IGCT, включая оптоотиристоры и фототиристоры), транзисторам (MOSFET, IGBT), интегрированным силовым модулям (ИСМ или ИРМ), драйверам и другим интегральным микросхемам управления и защиты.

Благодаря внедрению новых технологий у электронных силовых компонентов значительно повысились допустимые значения мощности, напряжения, тока, достигнуты меньшие показатели времени включения/отключения, что позволило повысить рабочие частоты в системах преобразования энергии. Возросла степень интеграции в силовых интегрированных модулях [2–6]. Значительно улучшились параметры и надежность других силовых компонентов: пускателей, автоматических переключателей и автоматов защиты; отчасти это касается резисторов и конденсаторов, в меньшей степени магнитопроводов и точечных изделий (дросселей, трансформаторов).

Одновременно в изделиях вычислительной техники был достигнут гигантский прогресс в развитии компьютерных узлов и модулей, и прежде всего, в создании высокоскоростных (частота до 3–4 ГГц), например, многоядерных микропроцессоров и элементов памяти, то есть блоков хранения информации (жесткие диски до нескольких сотен гигабайт). Кроме того, расширены функциональные возможности различных семейств микроконтроллеров (до 100 МГц) со встроенными ЦАП и АЦП для решения локальных задач автоматизации, флэш-устройств (модулей) с огромным объемом памяти (до 16 Гбайт и более), многоканальных узлов ввода/вывода информации.

В России появились суперкомпьютеры, а также компьютеры и ноутбуки в промышленном исполнении, обладающие пыле-влажной брызгозащищенностью, повышенной устойчивостью к вибрациям и механическим ударам.

Существенно повысилась степень автоматизации разработки и производства аппаратуры, что уменьшило риск снижения качества продукции за счет влияния человеческого фактора. На производстве было введено эксплуатацию большое количество нового высокопроизводительного оборудования. Во всем

мире и в России на значительном числе фирм и предприятий были внедрены эффективные системы управления качеством продукции серии ISO9000.

При анализе реального положения с надежностью электросиловых устройств будем рассматривать эту проблему не только в России, но и на примере других стран. Именно в таком контексте — от общего к частному и обратно — излагаемый материал будет более наглядным и удобным для восприятия.

### Россия и СНГ

Безусловно, в России есть свои характерные особенности, обусловленные устареванием основных фондов предприятий и их слабой модернизацией, в том числе и на предприятиях военно-промышленного комплекса (ВПК).

Для иллюстрации возникшего за последние пять лет неудовлетворительного качества объектов трудовой деятельности человека приведем некоторые широко известные факты о произошедших в последние годы масштабных техногенных авариях и катастрофах. В таблице указаны также их причины и сопутствующие им обстоятельства. Во многих случаях указанные происшествия были вызваны сложными (экстраординар-

**Таблица.** Масштабные техногенные аварии и катастрофы, произошедшие в России в 2009–2011 гг.

Время и место события	Описание	Причины и обстоятельства
17.08.2009. Енисей, пос. Черемушки возле Саяногорска. Авария на Саяно-Шушенской ГЭС (СШГЭС)	В результате аварии на СШГЭС затоплен машинный зал, погибли 75 человек. Работа станции по производству электроэнергии приостановлена.	Непосредственная причина аварии – усталостное разрушение шпильки крепления крышки турбины гидроагрегата, что привело к ее срыву и затоплению машинного зала станции.
10.04.2010. Смоленская область. Крушение самолета президента Польши (TU-154)	Авария произошла при заходе на посадку в 500 м от взлетно-посадочной полосы военного аэродрома Северный в Смоленской области. На борту находились 132 человека, в том числе сам президент Лех Качиньский и его супруга. По окончательным данным, все пассажиры погибли.	Согласно отчету МАК, непосредственной причиной крушения признано решение экипажа не уходить на запасной аэродром, а системными причинами — недостатки в обеспечении полета и подготовке экипажа.
26.12.2010. Москва. Масштабное отключение электроэнергии в аэропорту Домодедово, частичное прекращение подачи электроэнергии в Шереметьево	В Домодедово были повреждены линии электропередачи, аэропорт фактически был лишен энергоснабжения, так как отсутствовали надежные резервные системы электропитания. В Шереметьево частично прерывалась подача электропитания, а также закончилась жидкость для антиобледенительной обработки самолетов. В результате блокированными в аэропортах оказались до 20 тыс. человек, возник суточный хаос и беспорядки.	Природным явлением, запустившим механизм развития «блэкаута», был прошедший накануне «ледяной дождь», приведший к выходу из строя подстанций в Подольске и пос. Володарского.
26.12.2010–02.01.2011. Подмосковье, Нижегородская область. Массовые отключения электроэнергии.	Массовые отключения электроэнергии. Пострадали в общей сложности 789 населенных пунктов с населением около 400 тыс. человек в 26 из 36 районов Подмосковья. Энергоснабжение Подмосковья было полностью восстановлено 1 января. Однако к середине 2 января оставались без света около 2500 человек в Нижегородской области.	Основная причина — «ледяной дождь», вызвавший обледенение проводов линии электропередачи, а также многочисленные падения деревьев на трассах прохождения ЛЭП.
10.07.2011. Куйбышевское водохранилище, Татарстан. Крушение круизного теплохода «Булгария»	В Куйбышевском водохранилище круизный теплоход «Булгария» в течение 8 минут полностью ушел под воду на глубину около 20 м. Имевшиеся на борту шлюпки спустить на воду не удалось, были использованы только два надувных плота и несколько индивидуальных спасжилетов. Из находившихся на борту 205 пассажиров (в том числе 25 незарегистрированных и 50 детей) спаслись 59 человек, а из 33 членов команды — 23.	Непосредственными причинами послужили плохие погодные условия (гроза, шквалистый ветер); затопление палуб и внутренних помещений из-за открытых иллюминаторов при сильном крене на правый борт. Системные причины — многочисленные дефекты, обнаруженные в техническом состоянии судна, низкий профессиональный уровень всего персонала.
07.09.2011. Ярославль. Катастрофа пассажирского самолета Як-42	Пассажирский самолет Як-42 рухнул через несколько минут после вылета из ярославского аэропорта Туношна, поднявшись на высоту 50–60 м. По данным специалистов Росавиации, самолет не успел набрать достаточную высоту, врезался в мачту радиомаяка и при падении загорелся. Из находившихся на борту 45 человек выжили двое.	Причиной крушения самолета, по мнению МАК, стали ошибочные действия летчиков: один из пилотов при взлете нажал на тормоз.
9–10 октября 2011. Санкт-Петербург. Отключение электроэнергии в Купчино.	Во Фрунзенском районе СПб без электричества остались около ста тысяч человек. Авария затронула не только жилые дома, но и роддом № 16 на Бухарестской улице. Мощности аварийного генератора не хватало для нормальной работы медицинского учреждения, в результате чего в течение полутора часов ни одна операционная не работала.	Причина — разрыв в кабельной сети, приведший к авариям сначала на 802-й подстанции, а затем и на подстанции «Южная».

ными) природными явлениями и катаклизмами, запустившими механизм развития аварий, масштаб которых существенно возрос как из-за непринятия должных мер по обеспечению надежности объектов, так и ошибочных действий персонала, в том числе и во время ликвидации последствий. Затем кратко прокомментируем материалы таблицы.

Говоря об обстоятельствах возникновения катастрофы на Саяно-Шушенской ГЭС, необходимо отметить непринятие своевременных мер к оперативной остановке второго гидроагрегата и выяснению причин значительной, нештатной вибрации. Но в целом авария на СШГЭС — следствие многих причин, носящих системный многофакторный характер. Прежде всего, это недопустимо низкая ответственность эксплуатационного персонала и руководства станции, а также его слабый профессионализм и злоупотребление служебным положением (директор и главный инженер станции подписали акт проверки технического состояния, не вникая в его суть).

Прокомментируем крушение теплохода «Булгария». Днем при плохих погодных условиях, неудачном маневре и выходе на главный судовой фарватер судно сильно накренилось на правый борт. Из-за остановки электрогенераторов судно было обесточено еще до попадания воды в машинное отделение, поэтому команду капитана перейти на левый борт, отданную при крене судна, а также указания о необходимых действиях невозможно было объявить по громкой связи.

Помимо падения принадлежавшего авиакомпании «Як-Сервис» пассажирского самолета Як-42 с командой ХК «Локомотив» на борту, включая тренеров, врачей и обслуживающий персонал, можно вспомнить еще ряд авиакатастроф, также произошедших в России. Так, 3 августа 2010 г. самолет Ан-24 компании «КАТЭКАВИА» разбился при заходе на посадку. На борту самолета, летевшего в Игарку из Красноярска, находились 15 человек. Одиннадцать погибли на месте происшествия, четверо (среди которых три члена экипажа) выжили и были доставлены в игарскую больницу. По предварительным данным, самолет заходил на посадку в условиях сильного тумана. По заключению МАК, причиной авиакатастрофы стала ошибка экипажа, своевременно не среагировавшего на сложные погодные условия.

9 августа 2011 г. в Магаданской области на высоте 5 км взорвался самолет Ан-12. Жертвами катастрофы стали 11 человек, среди которых семь членов экипажа. Причины катастрофы выясняются.

Рассмотрим другие аварии, не включенные в таблицу и не повлекшие за собой человеческих жертв.

Так, с августа 2008 г. в России продолжились в основном неудачные пуски «Булавы» — твердотопливной межконтинентальной баллистической ракеты (МБР) морского базирования. Испытания МБР начались

в 2004 г., и за эти годы из 18 пусков только 11 оказались успешными. Самым удачным стал 2011-й: все четыре пуска, производившиеся с борта штатного носителя «Булавы» — атомной подводной лодки (АПЛ) «Юрий Долгорукий», оказались удачными. До этого происходили отказы газогенератора, систем управления. Аварии, по мнению главного конструктора «Булавы» Ю. Соломонова, были вызваны отказами различных модулей из-за отсутствия должного выходного контроля качества модулей на предприятиях-смежниках и, соответственно, входного контроля на головном предприятии — ФГУП «Воткинский завод». Кроме того, до 50 видов материалов в то время уже не производились в России и не закупались за рубежом. Вместо них использовались далеко не полноценные заменители.

За последний год в России было пять неудачных пусков ракет со спутниками различного назначения, что является масштабным «антирекордом». «Черная полоса» началась 5 декабря 2010 г. с потери трех спутников системы «ГЛОНАСС» при запуске ракеты-носителя «Протон-М» с космодрома Байконур из-за неправильной (некорректной) подготовки топлива. Ущерб составил 2,5 млрд руб. Российская межпланетная станция «Фобос-Грунт», запущенная 9 ноября, но застрявшая на околоземной орбите, по плану должна была войти 14 января в атмосферу и упасть предположительно на юго-западе Афганистана. Сейчас уже известно, что на околоземной орбите аппарат пробыл до 15 января, затем сошел с нее и сгорел в атмосфере (несгоревшие остатки, если такие оставались, упали в Тихий океан). «Фобос-Грунт» был первой попыткой Роскосмоса запустить межпланетную станцию за последние 15 лет. Надежды, которые возлагались на станцию, трудно переоценить: она должна была вернуть российским ученым имидж настоящих исследователей Солнечной системы, утраченный ими в перестроечные годы. Увы, не получилось. У многих уже просто опускаются руки: «Такого оборудования, какое было на «Фобосе», нам уже не потянуть никогда, — говорят создатели сложнейших приборов, установленных на борту станции. — Это все системные ошибки. В нашей стране все трещит по швам, не только космонавтика». Станция была застрахована на 1,2 млрд руб. [8].

23 декабря 2011 г. с космодрома Плесецк в Архангельской области была запущена ракета «Союз» со спутником связи «Меридиан». Однако в ходе проведения запуска космического аппарата на 421-й секунде полета была зафиксирована нештатная работа двигательной установки третьей ступени ракеты «Союз-2». Авария произошла до отделения разгонного блока от третьей ступени ракеты-носителя. По имеющейся телеметрической информации можно сделать вывод, что во время работы третьей ступени возникло резкое падение давления в двигательной установке. Комиссией рассматриваются и другие

версии (прогар двигателя, взрыв топливного бака третьей ступени), но они менее вероятны [9]. Спутник упал на землю близ Новосибирска. Ущерб от его потери составляет около 2 млрд рублей. Планировалось, что он заменит используемые в настоящее время спутники связи «Молния-1», «Молния-3К», а также «Парус». С другой стороны, он должен был обеспечивать связь морских судов и самолетов ледовой разведки в районе Северного морского пути с береговыми станциями.

### Дальнее зарубежье

За рубежом также достаточно часто случаются отказы и аварии сложных объектов, в том числе и военного назначения.

11 марта 2011 г. в Японии произошла масштабная катастрофа на атомной электростанции «Фукусима-1», расположенной в городе Окума (уезд Футаба префектуры Фукусима) [7]. До этой аварии ее шесть энергоблоков мощностью 4,7 ГВт позволяли считать АЭС одной из 25 крупнейших атомных электростанций в мире. «Фукусима-1» — первая атомная станция, построенная и эксплуатируемая Токийской энергетической компанией (TEPCO) с марта 1971 г. Расположенная в 11,5 км южнее «Фукусима-2» также эксплуатируется компанией TEPCO. Реакторные установки для первого, второго и шестого энергоблоков были сооружены американской корпорацией General Electric, для третьего и пятого — Toshiba, для четвертого — Hitachi. Все шесть реакторов спроектированы в General Electric.

Первопричиной катастрофы стало сильнейшее землетрясение силой 7,5–8,5 балла и вызванное им гигантское цунами, что привело к значительной утечке радиоактивного топлива. Стихия вывела из строя внешние средства электроснабжения и резервные дизельные электростанции, что явилось причиной неработоспособности всех систем нормального и аварийного охлаждения и привело к расплавлению активной зоны реакторов на энергоблоках 1, 2 и 3 уже в первые дни развития аварии. В Японии увеличивается число погибших в результате землетрясений и цунами. По последним официальным данным, жертвами стали более тысячи человек, пропавшими без вести числится 1600. Массовые отключения электричества произошли во многих префектурах: без света остались, по меньшей мере, 4,4 млн домов. Миллион семей остались без воды в результате разрушения водопроводов. Власти Японии два раза (с трех до 10 и потом с 10 до 20 км) увеличивали зону обязательной эвакуации вокруг «Фукусима-1» и «Фукусима-2». Всего из района этих двух АЭС эвакуировано около 200 тыс. человек. «Фукусима-1» до сих пор неработоспособна и в стране есть проблемы с электроэнергией.

В СМИ не раз появлялись сообщения и о том, что некоторые крупнейшие автомобильные компании (например General Motors, Toyota, Volkswagen и др.) нередко

отзывали обратно от потребителей десятки и даже сотни тысяч автомобилей для существенной доработки различных ответственных узлов. В последнее время таких неполадок больше всего в гибридных автомобилях, вплоть до того, что в этих моделях на полном ходу вдруг могут перегореть предохранители в силовой цепи электродвигателя или системы управления.

Атомную подводную лодку *Astute* (Англия) с первых же месяцев выходов в море преследуют неудачи. В частности, 22 октября 2010 г. АПЛ села на мель у побережья Шотландии, а 10 декабря вернулась в порт из-за неисправности парогенератора, обнаружившейся в первый день ходовых испытаний после восстановительного ремонта. В начале февраля 2011 г. на *Astute* вышли из строя системы управления вооружением и сброса сточных вод.

Создание новейшего истребителя 5-го поколения F-35 Lightning (США), являющегося более дешевым «преемником» первого в мире истребителя *Stealth F-22 Raptor*, озаменовано серией многочисленных неполадок и аварий [10, 11]. Программа выпуска F-35 Lightning постоянно корректируется. Самолет разрабатывался с 2000 г. Ранее планировалось в 2006 г. начать предсерийный выпуск самолетов, а в 2012–2014 гг. организовать массовый выпуск этих истребителей. В настоящее время серийные поставки перенесены на 2018 г. Стоимость F-35 должна стабилизироваться на уровне около \$157 млн благодаря огромному объему производства — 2443 единицы (первоначально планировалась цена в \$69 млн). Процесс создания F-35 уже назван самой дорогостоящей американской программой вооружений, которая оценивается примерно в \$385 млрд. Но эта сумма может еще повыситься. Всего за период 2003–2011 гг. на различных вариантах F-35 Lightning совершено более 850 вылетов. Начальные летные испытания показали, что прототипы истребителя страдают конструктивными недостатками, в частности, выявлены трещины в металлических и композиционных частях самолета. Кроме того, создание полноценного программного обеспечения ожидается только к июню 2015 г. Управление правительственной отчетности США в апреле 2011 г. заявило, что, по прогнозам, до 2016 г. в самолет F-35 необходимо внести «около 10 тысяч изменений». Не вдаваясь глубоко в историю отработки F-35, остановимся на событиях последнего времени.

В период 2010–2011 г. произошло много отказов и аварий F-35 Lightning, правда, обошлось без человеческих жертв. Так, в октябре 2010 г. было вынужденное периодическое прекращение полетов F-35 Lightning из-за отказов электрогенератора или системы электропитания. Также полеты истребителей неоднократно приостанавливались из-за ошибки в программном обеспечении, которая могла привести к остановке топливных насосов в тот момент, когда самолет поднимался на высоту более 3 тыс. м. Аналогичные

неисправности были выявлены и на палубной версии F-35C, на которой генератор выдавал только 65% от всей энергии, необходимой для питания самолета. В ноябре 2010 г. предположительно из-за отказа бортовой системы генерации кислорода (OBOGS) производства Honeywell произошла катастрофа самолета F-22 (*Raptor*), прототипа F-35. В марте 2011 г. полеты истребителей F-35 были приостановлены из-за отказа двух генераторов, а также была зафиксирована утечка масла. 17 июня были приостановлены полеты палубной версии истребителя F-35C *Lightning II* из-за неполадок с механизмом раскладывания крыльев, так как программное обеспечение самолета не обеспечивало отключения механизма раскладывания крыльев во время полета. В начале августа приостановлены полеты уже всех 20 истребителей F-35 из-за отказа системы IPP, которая отвечает за снабжение бортового оборудования энергией, используется для запуска двигателей истребителя, а также обеспечивает электропитание оборудования, отвечающего за охлаждение источников питания.

### Выводы, оценки, дополнительные обстоятельства

#### Электроэнергетика

При расследовании катастрофы на СШГЭС еще в 2009 г. премьер-министр В. Путин отмечал наличие в ОАО «РусГидро» многочисленных аффилированных компаний, чья деятельность, мягко говоря, не способствовала поддержанию станции в исправном техническом состоянии. Премьер заявил, что коррупция в электроэнергетическом секторе России достигла беспрецедентных масштабов: почти каждый второй руководитель в этой отрасли каким-либо образом связан с коммерческими структурами. По его словам, «установлены неединичные случаи, когда энергетические комплексы целых регионов РФ оказываются подконтрольными просто семейным кланам».

«Блэкаут» аэропорта «Домодедово» имел, по мнению авторов, такие масштабные последствия по следующим причинам:

- С точки зрения технического обеспечения безграмотно выглядит отсутствие оснащения аэропорта современной системой бесперебойного питания, которая должна функционировать до момента, пока восстановят электроснабжение. Подобные системы резервного электропитания работают во всех крупных банковских центрах и на других важных объектах.
- Компьютерная сеть и оборудование должны были работать от источников и систем бесперебойного питания первой ступени иерархии, в состав которых входят статические преобразователи и аккумуляторы большой емкости, работающие в онлайн-режиме. В то короткое время (десять минут), пока аккумуляторы «тянут», запускается вторая ступень электропитания — мощные дизель-генераторы, способные работать достаточно длительное время.

Одна группа дизель-генераторов, например, обеспечивает обслуживание серверов, компьютерной сети и терминалов, а также аварийное освещение, экспресс-пункты горячего питания (по минимуму) и т. п. Другая группа генераторов обслуживает аэродромное оборудование и системы диспетчерского управления самолетами. Кроме того, должна быть возможность оперативного подключения мощных передвижных дизель-генераторов МЧС.

- Смягчение последствий аварии невозможно из-за практического отсутствия в отечественных аэропортах программ логистики, то есть рациональной организации пассажиропотоков при возникновении чрезвычайных ситуаций.
- Возможно, следует повысить роль МЧС при проектировании и/или реконструкциях аэропортов и других мест массового скопления людей с целью минимизации негативных последствий в процессе развития чрезвычайных ситуаций.

Про массовые отключения электроэнергии в Подмоскowie в период с 26 декабря 2010 г. по 1 января 2011 г., вызванные «ледяным дождем», отметим следующее. «Ледяной дождь» — твердые атмосферные осадки, выпадающие при отрицательной температуре воздуха (до  $-10$  или  $-15$  °C) в виде твердых прозрачных шариков льда диаметром 1–3 мм, внутри которых находится незамерзшая вода. Падая, они разбиваются, вода вытекает и сразу же замерзает, образуя гололед. В России это явление чаще всего наблюдаются в Южном, Приволжском и Центральном округах, а также в Ленинградской, Псковской, Новгородской областях. В других странах это явление наблюдается, например, в США и Канаде (Восточное побережье), а также в Китае. Иными словами, это природное явление давно известно, и представлять его как нечто совершенно непредсказуемое некорректно. Но, по мнению авторов, для российского чиновничества, когда дело касается аварий, почти все в мире превращается в «редкий феномен». Кроме того, технические нормы и стандарты на возведение ЛЭП и их ремонт были разработаны еще в СССР, 30–40 лет назад. Поэтому они не учитывают в полной мере возросшей активности разрушительных сил природы: увеличения сейсмоактивности, скорости ветров и ураганов, массы внезапно выпадающих дождевых осадков и т. п.

Авария на АЭС «Фукусима-1» хотя и была вызвана воздействием сильнейших природных явлений (землетрясение, цунами), тем не менее во многом развенчала миф о высоком качестве и надежности сложных японских систем и объектов. Во-первых, в должной мере не были учтены уроки аварии в марте 1979 г. на АЭС Three Mile Island (США), однотипной по атомным реакторам водо-водяного типа с двухконтурным охлаждением, спроектированным также General Electric. Заметим, что на АЭС в США во время аварии была серьезно повреждена

активная зона реактора, часть ядерного топлива расплавилась. Но, несмотря на это, вследствие найденного опытным путем алгоритма необходимого режима охлаждения не произошел прожог корпуса реактора, так что радиоактивные вещества, в основном, остались внутри. При ликвидации аварии в Японии персоналом было совершено много ошибок, а контрольные приборы оказались несовершенными и не продублированными. Во-вторых, несмотря на значительное повышение сейсмоактивности в Азиатско-Тихоокеанском регионе за последние 25–35 лет, никаких дополнительных мероприятий на АЭС «Фукусима-1» компанией ТЕРСО не проводилось, возможные аварии и катастрофы не изучались. В-третьих, в статье [12] специалисты-атомщики (в частности, академики РАН А. К. Гуськова, Л. А. Ильин, В. К. Иванов, Ю. А. Израэль и др.) утверждают следующее:

«В Японии на специальных тренажерах для операторов АЭС тяжелые запроектные аварии даже не моделировались. Как нам тогда объяснили, чтобы не пугать народ и что такой аварии просто не может быть. Мы пытались их тогда переубедить, но, к сожалению, не были услышаны... Пока премьер-министр Японии не взял руководство процессом ликвидации аварии в свои руки, владелец «Фукусимы-1», не сумев в первые часы и дни адекватно оценить масштаб бедствия, стал экспалс «сохранить лицо», отказавшись от экспертной поддержки. И только после вмешательства премьера начались реальные действия по ликвидации последствий аварии: на площадке появились специалисты-атомщики, пожарные, полицейские, военные... К великому нашему сожалению, российских ведущих атомщиков, прошедших через ликвидацию аварии на ЧАЭС, японцы не захотели послушать даже тогда, когда они прибыли в Токио. А ведь опубликованные японцами данные о ситуации на АЭС полностью совпали с прогнозом, который был сделан Институтом проблем безопасного развития атомной энергетики РАН еще в первые два дня после аварии».

### Авиация

По данным СМИ (в частности, из интервью бывшего вице-преьера С. Иванова газете «Известия» от 22.12.2011), в 2009 г. в России произошло шесть авиакатастроф, в которых погибли 39 человек; в 2010 г. — пять авиакатастроф и 25 человек погибших; в 2011 г. уже 8 катастроф, 117 человек погибли. По мнению авторов, авиационный транспорт (в процентном соотношении) — самый безопасный, но это не снимает остроту проблемы. Причины таких катастроф в 80–90% случаев — человеческий фактор, а не техника. Закономерно, что большая часть происшествий случается, в основном, в так называемых «живопырках», то есть в авиакомпаниях, владеющих одним-двумя самолетами. Жизнь показывает, что ни одна из таких фирм эффективно на рынке ра-

ботать не может. Поэтому, уже начиная с 2012 г., лицензии авиакомпаниям на регулярные рейсы будут выдаваться только при наличии не менее 10 самолетов вместимостью более 55 кресел.

Росавиация после катастрофы Як-42 под Ярославлем провела внеплановые проверки в авиакомпаниях. Были осмотрены 273 воздушных судна, зафиксированы 624 нарушения установленных требований и приостановлена эксплуатация 69 единиц авиатехники по стране. Как результат, у 16 авиакомпаний аннулировали сертификат эксплуатанта, а еще в трех приостановили его действие. Для шести перевозчиков были введены ограничения в виде запрета на полеты в страны Евросоюза. На сегодня у нас 127 авиакомпаний имеют действующие сертификаты, хотя еще несколько лет назад их было свыше двухсот.

Обратим внимание на отказы оборудования и аварии истребителя «Стелс» 5-го поколения F-35 Lightning (США), разрабатываемого с 2000 г. и предназначенного для запуска в серию только в 2018 г. Что же получается? В наиболее передовой научно-технической стране мира при наличии прототипа (F-22 Rapter) довольно значительная часть отказов и аварий обусловлена отказами электрогенераторов и системы электропитания. Невозможно понять, почему трудности и объемность отработки программного обеспечения всех систем, вместе и по отдельности, с трудом преодолеваются вплоть до выпуска серийных образцов. С другой стороны, пробелы в обеспечении надежности электрогенераторов, источников и систем электропитания можно объяснить только неоптимальным планом испытаний и негативным влиянием человеческого фактора, которое проявляется в низком качестве разработки системы электропитания.

\* \* \*

По мнению авторов, вообще рассматриваемое время (XXI век) характеризуется низким уровнем управления всеми составляющими процесса разработки и изготовления изделий. Причем это объясняется причинами как глобального, так и национального порядка. Значительно уменьшилось (в удельном отношении) количество креативных идей, способов их согласованного оптимального решения, а главное — неординарных выдающихся личностей с широким кругозором и интуицией (даром предвидения). Политики думают только о выборах и перестают быть государственными людьми (У. Черчилль). Экономисты и бизнесмены думают только о достижении всеми правдами и неправдами сиюминутной прибыли. Исключение составляют ученые и инженеры, но их мнением интересуются только тогда, когда случаются катастрофы и аварии. Недавно умерший Стив Джобс, один из изобретателей персонального компьютера, основатель и шеф знаменитой компьютерной фирмы Apple, возможно,

был именно таким серьезным генератором инженерной мысли.

Компетентными экспертами во всем мире неудовлетворительное положение с надежностью и безопасностью электроэнергетических и силовых систем и устройств объясняется следующими причинами:

- отсутствие на высоком уровне должного анализа подобных ситуаций для последующего принятия необходимых практических решений;
- аномальное изменение климатической (экологической) обстановки в отдельных регионах и в мире в целом;
- рост негативного влияния человеческого фактора, который уверенно вышел на первый план при возникновении различных отказов, аварий и катастроф.

Возрастание роли этого фактора можно объяснить, в частности, снижением ответственности (одна из важнейших составляющих профессионализма) на этапах разработки, производства и особенно эксплуатации, недостатками в обучении и переподготовке кадров и т. п. Кроме того, в ряде случаев имеет место значительное повышение напряженности в работе с одновременным пренебрежением к медицинским восстановительным процедурам. Данные обстоятельства приводят к тому, что, например, персонал экипажа летательного аппарата или другого подвижного объекта вынужден приступать к работе в состоянии усталости (неполного восстановления). Это, в свою очередь, резко снижает концентрацию и внимание, что приводит к неадекватным действиям в условиях возникновения нештатных ситуаций. Необходимо также отметить ослабление внимания к техническим регламентным работам (периодичность, глубина) по обеспечению живучести самих объектов, в частности энергосистем и силовых устройств. Огромное значение имеет и недостаточная отработка алгоритмов взаимодействия между системами, устройствами и человеком (менеджером, диспетчером, оператором и т. п.) при возникновении аварийных ситуаций. Нештатные ситуации должны первоначально моделироваться на компьютере, многократно исследоваться и корректироваться на практике на предмет совершенствования действий персонала по результатам проведения профилактических работ на специальных тренажерах, а также с учетом анализа новых аварий.

### Общие факторы и причины, влияющие на надежность электросиловых устройств

Выше при перечислении произошедших в последние годы техногенных аварий и катастроф, в том числе в энергосистемах и силовых устройствах, приводились общие причины, вследствие которых стало возможным их возникновение. В их числе указывалось и ухудшение параметров надежности. Рассмотрим подробнее факторы, влияющие на обеспечение надежности электросиловых

устройств. Некоторые из них носят общий для всех стран характер, а другие свойственны, в основном, для России, серьезно пострадавшей во время проведения так называемых «реформ переходного периода». Выделим ключевые, на наш взгляд, факторы, прямо или косвенно, зачастую парадоксально, сыгравшие в этом свою роль.

### **Возрастание конкуренции на рынке из-за непрерывного стремления к получению сверхприбыли**

В последние годы значительно обострилась конкуренция фирм на внутреннем и общемировом (глобальном) рынках товаров и услуг. В этой борьбе фирмы стремятся: как можно быстрее выпустить изделие на рынок и захватить как можно большую долю в своем сегменте; превзойти конкурентов в улучшении технических характеристик, дизайна, эргономики и других показателей качества. При этом постараться не допустить значительного удорожания изделий, то есть сделать более привлекательным соотношение «цена/качество». Все это означает, что фирме при создании и внедрении более или менее сложных изделий необходимо, в ущерб качеству, сокращать время цикла «разработка–производство», снижать финансовые издержки. Это возможно, если постараться обойтись без выделения финансовых, трудовых, производственных ресурсов для дополнительных проверок, длительных испытаний изделий, создания (закупки) специального дорогостоящего оборудования и т. п. Объективно это снижает затраты на проведение работ по обеспечению надежности продукции.

Кроме того, в настоящее время принято, что новые модели сложных силовых устройств (мощные импульсные источники питания, устройства управления электроприводом, источники бесперебойного питания и т. п.) должны быть созданы и готовы для серийного производства (поставки партиями) за время, как правило, не превышающее одного-двух лет. Известен термин «китайское качество», который порой означает, что изделие неплохо выглядит в плане технических характеристик, дизайна, эргономики, недорогое, но часто ненадежное в эксплуатации.

В данном аспекте отметим, что положительное исключение составляют силовые электронные и электротехнические компоненты. Благодаря широкой автоматизации проектирования и производства, постоянному внедрению новых материалов и технологий, огромным объемам выпуска (десятки тысяч и даже миллионы штук), эти компоненты постоянно испытываются, совершенствуются и отрабатываются. В итоге, наряду с улучшением электрических параметров и конструктивных характеристик, существенно улучшаются и их показатели надежности.

### **Широкое внедрение систем управления качеством продукции серии ISO 9000**

Внедрение стандартов серии ISO 9000 лишь косвенно способствует повышению

надежности продукции. В разъяснениях по этому поводу сказано, что внедрение стандартов серии ISO 9000 не отменяет действие других стандартов, если они не противоречат стандартам ISO 9000. Таким образом, хотя надежность изделия и все ее компоненты (безотказность, долговечность и ремонтпригодность) являются одними из составляющих качества изделия (для оборонной и некоторых других видов техники — важнейшими составляющими), тем не менее в стандартах ISO 9000 нет разделов и указаний на это.

Система управления качеством в стандарте ISO 9001:2000 совершенно иная, так как в его основе лежат не 20 ключевых элементов, а модель процесса. Эта модель включает в себя четыре раздела: административная ответственность, управление ресурсами, производство продукции и/или услуги, измерение, анализ, улучшение. Эти разделы модели процесса управления качеством работают подобно известному циклу «планируй–делай–проверяй–действуй». В основу построения системы качества в соответствии с моделью ISO 9000:2000 закладываются восемь основных принципов. Из них по важности для обеспечения надежности отметим концентрацию на потребностях заказчика и вовлечение исполнителей в процессы совершенствования для обеспечения непрерывных улучшений.

Таким образом, руководство многих фирм, не связанных с оборонной тематикой или с производством электронных компонентов, особенно в России, внедрив стандарты серии ISO 9000, посчитало, что сами собой, без дополнительных затрат, будут решены и проблемы надежности продукции. На всех крупных фирмах сейчас имеются службы качества, и они, по мнению руководства (ошибочному, с точки зрения авторов), попутно могут решать те «проблемки» или «задачки» по надежности, на которые укажет заказчик (потребитель).

### **Слабое внимание к практическому обеспечению надежности сложных систем и изделий**

Авторы уверены, что в последние 10–15 лет в мире произошло значительное замедление темпов работ по повышению надежности сложных систем и изделий, в том числе в энергетике и в устройствах силовой электроники. В общем плане это является следствием глобального снижения уровня профессионализма ведущих специалистов во всех странах мира. Возможно, для России это связано с тем, что распался Советский Союз, закончилось противостояние двух супердержав, двух военных блоков. Также замедлилась бесконтрольная гонка вооружений, при которой военным ведомствам на создание и производство военной специальной техники (ВСТ) выделялись колоссальные средства («денег не считали»).

Известно, что не только в СССР создание ВСТ было локомотивом развития техники, технологий и производства во всех других об-

ластях человеческой деятельности. Что касается нынешней России, то на многих фирмах и предприятиях, кроме тех, которые связаны с оборонной тематикой, работы по практическому обеспечению надежности не проводятся или проводятся стихийно силами самих специалистов, если на это остается время. Во всяком случае, руководство предприятий такие работы если и финансирует и контролирует, то только в случае серьезных требований (претензий) со стороны заказчика (потребителя). Ниже дается более подробное пояснение такой ситуации, объясняемой действием типично российских факторов.

### **Типично российские факторы, негативно влияющие на обеспечение высокой надежности изделий**

- Практическое отсутствие серьезной конструктивной поддержки государства, хотя бы на уровне обязательных норм и законов. В России, по наследству от Советского Союза и по проводимой властью политике, значение поддержки государства очень велико. Речь идет, в первую очередь, о госзаказах для фирм и предприятий, о предоставлении льготных кредитов и иных преференций. Но не менее важно и проведение единой технической политики. Раньше в Советском Союзе Госкомитет по науке и технике, в котором работали видные ученые и специалисты высшей категории, определял приоритетные задачи по развитию. Далее Совет министров СССР и ЦК КПСС своими постановлениями, а отраслевые министерства — своими приказами конкретизировали поставленные задачи в организационно-технических аспектах.

Также известно, что для реализации новых идей и технологий были повсеместно созданы подразделения (службы) надежности. Сейчас руководство фирмы само решает, будет ли в фирме какой-то персонал в службе качества специально и постоянно заниматься вопросами надежности продукции или нет. Чаще всего для экономии средств («оптимизации численности») руководство дает очередное указание службе качества по очередной претензии заказчика (потребителя). Ну а служба качества обязывает какое-то научно-техническое подразделение «отработать» и ставит это на контроль.

- Ликвидация служб надежности и значительное уменьшение объемов работ по обеспечению высокой надежности. Авторы уже отмечали ранее в своих статьях, что, кроме некоторых активно функционирующих предприятий оборонного профиля, службы надежности были фактически ликвидированы, а специалисты, если они сохранились, в основном были переведены в службы качества. Из личного опыта авторов, в тех фирмах, где они работали, не осталось ни одного специалиста по надежности. Испытания по надежности не проводятся, а показатели безотказности записываются в документацию по аналогии со своими же ранее

выпущенными приборами. Для экономии трудозатрат зачастую не проводятся измерения электрического и теплового режима. Очень редко проводятся комплексные испытания важных узлов и устройств аппаратуры собственной разработки, кроме случаев, когда они имеют самостоятельное продажное значение.

В частности, в малых и средних фирмах, специализирующихся в разработке и выпуске ИВЭ, практически нет ни одного специалиста, который бы занимался проблемами надежности собственных изделий (не до того!). Пока, к сожалению, в таких фирмах в основном превалирует желание «выстоять», обеспечить сотрудникам относительно достойный заработок и еще кое-что, немного отложить на развитие фирмы.

• Кадровая проблема, одна из самых серьезных, а главное, что она не решается быстро! Ушли в другую сферу деятельности или «сошли со сцены» многие опытные специалисты — как работавшие в области надежности, так и разработчики с практическим опытом разработки и внедрения высокоэффективных силовых устройств. Малые и средние предприятия, специализирующиеся, например, на разработке и выпуске импульсных ИВЭ, устройств управления электроприводом, выручают опытные специалисты среднего и старшего поколения, прошедшие школу разработки и внедрения, в том числе на предприятиях ВПК, еще в советские времена. Сейчас же условия для подготовки и переподготовки кадров совсем другие: в ву-

зах гораздо меньше внимания уделяют проблематике надежности, а больше — системам управления качеством продукции серии ISO 9000. На фирмах тем более изучают только стандарты серии ISO 9000. Молодым специалистам, пришедшим на работу в фирму после вуза, негде познакомиться ни с надежностью компонентов, ни с рекомендуемыми режимами их электрической и тепловой нагрузки, ни с другими важными аспектами обеспечения надежности.

В дополнение ко всему изложенному добавим, что сейчас на современном уровне не выпускается научно-техническая литература по проблематике обеспечения надежности, в том числе по силовым устройствам. В следующей части статьи этого цикла авторы укажут на курьезные примеры, когда ведущие специалисты различных фирм слабо разбираются в показателях надежности и методах их обеспечения на должном уровне.

Таким образом, можно констатировать, что сейчас в России, по сравнению со временами СССР, состояние работ по практическому обеспечению надежности изделий, в частности электросиловых устройств, находится на низком уровне. В общем плане можно предположить, что, если в ближайшие годы в этой проблематике не произойдет никаких кардинальных сдвигов, то наше отставание от лучших показателей зарубежных изделий аналогичного назначения может стать необратимым. Этими вопросами надо заниматься серьезно, независимо

от того, что в стране слишком много запущенных проблем и задач.

*Продолжение следует*

## Литература

1. Ланцов В., Эраносян С. Надежность силовых устройств в России: мифы и реалии, проблемы и пути их решения // Силовая электроника. 2008. № 3.
2. Эраносян С., Ланцов В. Электронные компоненты для мощных импульсных источников питания // Силовая электроника. 2006. № 2.
3. Ланцов В., Эраносян С. Интеллектуальная силовая электроника: от настоящего к будущему // Силовая электроника. 2009. № 4.
4. Ланцов В., Эраносян С. Электронная компонентная база силовых устройств. Часть 1 // Силовая электроника. 2009. № 5.
5. Ланцов В., Эраносян С. Электронная компонентная база силовых устройств. Часть 2 // Силовая электроника. 2010. № 1.
6. Ланцов В., Эраносян С. Электронная компонентная база силовых устройств. Часть 3 // Силовая электроника. 2010. № 2.
7. [www.svobodanews.ru](http://www.svobodanews.ru)
8. [www.newsru.com/russia](http://www.newsru.com/russia)
9. [www.vzglyad.ru](http://www.vzglyad.ru)
10. [forum.sources.ru](http://forum.sources.ru)
11. [www.lenta.ru](http://www.lenta.ru)
12. Большов Л., Фортов В. Невыученные уроки Чернобыля // Российская газета. <http://www.rg.ru/2011/06/01/atom.html>. Федеральный выпуск №5492 (116) от 01.06.2011.