

# КАТАСТРОФИЧЕСКИЙ ФЕНОМЕН «1985-1986»: ПОВТОРЕНИЕ ПРОЙДЕННОГО

## CATASTROPHICAL PHENOMENON OF 1985-1986: RECURRENCE TO THE PAST

Левин С.Ф. (Levin S.), д.т.н., профессор, Московский институт экспертизы и испытаний

В пятницу 13 марта 2007 года «Комсомольская правда» опубликовала печальную статистику Межгосударственного авиационного комитета по безопасности полетов в России: «2006 год стал рекордным по числу погибших в авиакатастрофах — 318 человек». «Аргументы и факты» № 13 за 2007 год дополнили: «Вторая половина марта обернулась для России настоящим шоком. 17 марта в Самаре разбился самолет — 6 человек погибли, 19 марта взрыв на шахте «Ульяновская» в Кемеровской области унес жизни 108 горняков, в ночь на 20 марта сгорел дом престарелых на Кубани — 63 жертвы, 24 марта в Коми найдены тела 6 человек, погибших в результате катастрофы вертолета МИ-8, 25 марта в Москве от неосторожного обращения с огнем в ночном клубе сгорели 10 посетителей. За 10 дней — 193 человека».

Средства массовой информации задают тревожные вопросы: Почему самолеты вылетают неисправными? Откуда берутся контрафактные запасные части? Опасны ли летающие пассажирские «секонд-хэнд»? За что судятся родственники погибших авиапассажиры?

В «катастрофическом феномене 1985-1986 годов», совпавшим с минимумом солнечной активности, число жертв ракетно-космической техники на три порядка уступало числу жертв авиационной техники и на пять порядков — числу жертв автомобильного транспорта, которое в 1985 году в мире достигло рекордного значения — 260 000 человек. Соотношение же приборов в космических кораблях, самолетах и автомобилях носит обратный характер, но оно отражает уровень общего внимания к техногенным катастрофам и расследованию их причин.

Катастрофы и их причины повторяются с регулярностью циклов солнечной активности, и в этом просматриваются уже известные обстоятельства. Напомним их по данным [1-6].

### «КАТАСТРОФИЧЕСКИЙ ФЕНОМЕН 1985-1986 ГОДОВ» — ПРЕДЫСТОРИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА

Проблема гарантированности результатов эксплуатации сложных объектов была осознана еще во время второй мировой войны, когда 60 % самолетного оборудования ВВС США, переброшенного на Дальний Восток, после транспортирования оказалось неисправным, 50 % запасных частей

вышло из строя при складском хранении, а межремонтный срок радиоэлектронного оборудования бомбардировщиков не удавалось поднять выше 20 часов.

В 1949 году 70 % радиотехнической аппаратуры ВМС США находилось в нерабочем состоянии, а на 160 000 ее единиц ежегодно заменялось около миллиона отказавших деталей. Поэтому в США была принята национальная программа повышения надежности техники за счет повышения качества комплектующих элементов, создания их гарантированного запаса и системы профилактических мероприятий по календарному сроку и наработке.



Однако уже в 1958 году стоимость запасных элементов радиоэлектронных систем военного назначения составила 21 миллиард долларов, а в 1963 году расходы на обеспечение эксплуатации вооружения достигли 20 % бюджета на оборону. Число специалистов в этой сфере превысило 960 000 человек, а затраты ВВС США на техническое обслуживание и ремонт превзошли закупочную стоимость авиационной техники в 3...29 раз.

Новый этап обеспечения гарантированности результатов эксплуатации техники начался в конце 60-х годов прошлого века с исследований авиакомпании Pan American. Было установлено, что из 1200 снятых по наработке узлов и агрегатов самолетов В-707 и В-727 действительно нуждались в замене менее 3 %. Перевод в связи с этим самолетного парка авиакомпании на обслуживание по техническому состоянию позволил в 1968 году уменьшить трудозатраты на 147 000 человеко-часов и сэкономить 3 591 000 долларов. С 1972 года в ВМС США была введена в действие программа обеспечения эксплуатации техники по состоянию IMP (Improved Maintenance Program), которая только за 9 месяцев в эскадрилье VP-40 уменьшила трудозатраты на рег-

ламентные работы на 34,8 % и сократила простой техники на 79,1 %.

Улучшение контролепригодности техники и разработка автоматизированных систем диагностического контроля обеспечило сокращение рабочих площадей ремонтных мастерских, численности обслуживающего персонала и затрат на обеспечение эксплуатации палубной авиации ВМС США с экономическим эффектом 1,4 миллиарда долларов.

И хотя еще в 1979 году из-за нехватки запасных частей в состоянии полной боевой готовности находилось в среднем 59 % истребителей F-15 ВВС и 47 % палубных истребителей ВМС США, в начале 80-х годов с введением АСУ ЗИП министерству обороны США удалось сократить ежегодные расходы на запасные части на 8 миллиардов долларов.

К концу 80-х годов для обслуживания и материально-технического снабжения всех видов оружия США потребовалось уже около 140 000 человек более 300 специальностей или 1/3 военнослужащих срочной службы при 890 000 различных типов запасных частей общей стоимостью около 40 миллиардов долларов. Так, на 1987 финансовый год из запрошенных министерством обороны США более чем 300 миллиардов долларов 52 % пришлось на эксплуатацию, обслуживание техники и содержание личного состава, 30 % — на



закупки, а остальные 18 % — на исследования, разработки, испытания, строительство и другие цели.

Совершенствование элементной базы, методов ремонта и контроля должны способствовать сокращению затрат на эксплуатацию техники и увеличению периодичности технического обслуживания. Так, наиболее совершенная из программ технического обеспечения эксплуатации, «Boeing-747», предусмат-

ривала эксплуатацию 6 % узлов самолетов по наработке, 31 % — по результатам контроля определяющих параметров, 63 % — по уровню надежности. В целом же периодичность осмотров В-707, В-727 и В-747 видов А, В и С к 1985 году была увеличена соответственно с 50, 800 и 9 000 часов по налету до 330, 4 000 и 22 000 часов.

Беспрецедентная серия авиакатастроф 1985 года<sup>1</sup> снизила пассажиропоток только из США в 29 стран мира на 62 %, а выплаты страховых компаний за разрушенные самолеты и гибель пассажиров превысили 1,33 миллиарда долларов. В 34 крупных авиакатастрофах погибло 1893 человека и еще 473 — от терроризма. Но расследование не выяснило, почему именно 1985 год стал годом массовых отказов двигателей самолетов типа В-727, В-737, В-747, DS-9, MD-81, MD-82, F-4, А-4, F-16 и др., из-за чего погибло более 6 000 человек, хотя объединение данных о катастрофах и авариях выделило двигатели Pratt and Whitney JT8D.

После катастроф 1985 года фирма Boeing развернула широкую кампанию рекламы мер поддержания летной годности самолетов: утверждалось об одновременном обеспечении безопасности и снижении затрат на техническое обслуживание и ремонт, для чего больше средств вкладывалось в повышение надежности самолетов при разработке и изготовлении. Причем итогом такого повышения представлялось увеличение периодичности осмотров.

Но по опубликованным только в 1987 году данным, общая эффективность технического обслуживания в авиации составляла 11 %. Качество же ремонта в ВВС США по программе Inspection and Repair as Necessary было и вовсе удручающим: для самолетов F-106А отношение неисправных приборов до и после ремонта составляло в среднем 1:2 и охватывало 13 % неисправностей. А исследования рабочей группы трех видов вооруженных сил США по программе Standardization Evaluation Program установили, что при не подтверждении наземными проверками 36...49 % отказов бортового радиоэлектронного оборудования, зафиксированных в полете экипажами, стоимость эксплуатации самолетов возрастает в 1,4...1,7 раза.

В 1988 году специально созданные рабочие группы закончили в 46 авиакомпаниях мира двухлетнее обследование 72 магистральных авиалайнеров Boeing и порекомендовали сократить

периодичность их осмотров по мере роста сроков эксплуатации и числа полетов.

Усталостные испытания и анализ динамики роста трещин при разрушении заднего шпангоута гермофюзеляжа самолета В-747 № JA8119 японской авиакомпании JAL, в результате чего 12 августа 1985 года погибло 520 человек, показал, что, несмотря на нарушение фирмой Boeing технологии ремонта, коррекция периодичности осмотров позволила бы избежать катастрофы. Такой же результат дал анализ катастрофы В-737 в Манчестере в том же августе 1985 года после обнаружения в отказавшем двигателе Pratt and Whitney JT8D термоусталостных трещин, не выявленных из-за нарушения регламента гарантийного обслуживания.



После целого ряда аварий, вызванных развитием усталостных трещин, Федеральное авиационное агентство США (FAA) сократило периодичность осмотров узлов крепления двигателей самолетов В-737 с 600 до 300 полетов, а Управление гражданской авиации Великобритании потребовало от авиакомпаний увеличить частоту контроля двигателей CFM-56, устанавливаемых на самолетах этого типа (вместо двигателей JT8D) и на самолетах Airbus A-320.

FAA в результате проверки 35 авиакомпаний вскрыло 1264 нарушения правил технического обслуживания и эксплуатации самолетов, в т. ч. и тот факт, что пилоты авиакомпании Eastern Air Lines заставляли не фиксировать отказы и выполнять рейсы на неисправной авиатехнике. Полеты в ряде авиакомпаний

были приостановлены, а Eastern Air Lines, Pan American и Braniff были оштрафованы соответственно на 9 500 000, 2 000 000 и 500 000 долларов.

Так открылась действительная причина увеличения периодичности технического обслуживания в авиации США — снижение эксплуатационных затрат, 1 % которых для крупных авиакомпаний эквивалентен годовой экономии в 5 млн. долларов, тогда как совершенствование самолетов за 10 лет снизило долю затрат на обслуживание и ремонт в эксплуатационных расходах только с 12 до 10 %.

Семь неудачных запусков полезной нагрузки NASA и Пентагона за 8 месяцев 1986 года из-за отказов двигательных установок и гибель экипажа Challenger вызвали растерянность среди специалистов аэрокосмической промышленности США. Запуски Space Shuttle были прерваны на 32 месяца, ракет Titan и Atlas-Centaur — на 19, Delta — на 4 и Scout — на 6 месяцев. После потери 2 ракет Ariane на 16 месяцев прервала запуски и Франция. К 1987 году из 37 коммерческих запусков спутников на геостационарные орбиты было 11 неудач, причем 9 из них в 1984-1986 годах обошлись в 750 миллионов долларов. Сумма исков о компенсации прямого ущерба от катастрофы Challenger превысила 5 миллиардов при косвенных убытках более 30 миллиардов долларов. Мировой рынок страхования запусков сократился до 80-110 миллионов долларов (до 20 объектов в год), а страховой взнос повысился до 25 %.

Согласно программе обслуживания многоразовых транспортных космических кораблей Space Shuttle как магистральных авиалайнеров после полета STS-7 с целью увеличения числа запусков до 24 в год также был принят ряд мер. Стали применять ускорители с увеличенной тягой, снизили массу теплозащиты, уменьшили коэффициент безопасности внешнего топливного бака с 1,40 до 1,25 и сократили цикл межполетного обслуживания с 34 до 27 суток.

И уже в полете STS-8 возникла сильная эрозия теплоизоляции стартового ускорителя, а STS-9 закончился пожаром маршевого двигателя. Повреждения основных уплотнительных колец стартовых ускорителей отмечались и раньше, но после STS-9 они стали отмечаться более чем в 50 % полетов. Специалисты Rockwell International и Morton Thiokol предупреждали руководство NASA о недопустимости запусков при температуре ниже -4 °С докладными записками о ненадежности уплотнений в декабре 1982 года и в июле 1985 года, но эффективных мер принято не было. Позже появились дефекты резервных колец. Рекордная эрозия была отмечена 24 января 1985 года при самой низкой за все время запусков температуре, а 28 января 1986 года при еще более низкой температуре произошла трагедия в полете STS-25.

<sup>1</sup> Анализ данных эксплуатации самолетов ИЛ-62(М) системой ПОРКАТ ИЛ-96 [7] показал, что поток массовых отказов в 1985 году возник и в СССР. Теория вопроса была изложена в закрытой тогда работе [8] по данным эксплуатации техники в различных климатических районах мира. Но наш головной ракетный институт не поверил в риск появления «феномена» без «экспериментального» подтверждения, «наступившего» год спустя.

Комитет по науке и технике палаты представителей конгресса США часть вины в катастрофе Challenger возложил на Белый дом и конгресс, оказавших сильное давление на NASA с целью доведения числа запусков Space Shuttle до 24 в год. Это привело к сокращению сроков межполетной подготовки и к небезопасным операциям при пуске. Комитет обратил внимание на отсутствие в контрактах NASA достаточных санкций за нарушение безопасности и на невзимание штрафов за нарушение технологии на заводах в штате Юта. Фирма Morton Thiokol получала необоснованно повышенное вознаграждение даже



тогда, когда число повреждений уплотнений в стыках ускорителей росло и к моменту катастрофы достигло 25. Комитет указал основную причину катастрофы — некомпетентность руководства NASA и Morton Thiokol в вопросах оценивания аномалий в работе твердотопливных ускорителей.

Особое место в «катастрофическом феномене 1985-1986 годов» занимают погрешности измерений, статистических методов анализа эксплуатационных данных и моделирования, а также погрешности неадекватности математических моделей технических объектов.

Так, для летных испытаний орбитальной ступени Space Shuttle было изготовлено 3328 комплектов контрольно-измерительной аппаратуры, 568 — для твердотопливного ускорителя и 329 — для внешнего топливного бака. Перед повторным применением твердотопливных ускорителей автоматизированная контрольно-испытательная система, содержащая 4 координатно-измеритель-

ные машины Micro Four параметров корпусов и 8-канальный измерительный блок параметров сопел и деталей камер сгорания, выполняет порядка миллиона измерений для оценивания 180 характеристик [9]. Однако уровень достоверности контроля более 0,90 при доверительной вероятности 0,95 обеспечить оказалось очень сложно.

В программах «Space Shuttle», «Boeing-747» и др. расчет надежности проводился различными методами, в том числе и FMEA, причем по расчетам NASA, выполненным этим методом до 1986 года, риск катастрофы Space Shuttle оценивался как 1 на 10 000 запусков.

Погрешности метода CORDS для расчета динамических характеристик системы управления Space Shuttle оценивались в пределах от 2,5 до 20 %. Но когда по данным испытаний и статистического моделирования системы управления датчики ускорений заменили системой контроля разнотяговости, последняя в запуске STS-25 аварийный сигнал так и не подала.

Анализ траекторных измерений показал, что правый ускоритель Challenger развивал тягу на 4 % меньше номинальной с самого начала полета. Это привело к учащению коррекций отклонений от расчетной траектории системой управления, на что обратил внимание командир Challenger на 40-й секунде полета, а на 59-й секунде он заметил падение давления в камере сгорания правого ускорителя. Доложив о нормальной работе маршевого двигателя, он увеличил его тягу до 104 %. Спустя 3 секунды прорыв газов через дефект основного и резервного уплотнительных колец одного из стыков корпуса правого ускорителя при прохождении границы между аномально сильными встречными горизонтальными атмосферными потоками на высоте 14 км вызвал взрыв внешнего топливного бака.

Экипаж Challenger погиб от 200-кратной перегрузки в момент удара орбитальной ступени о поверхность воды. Другие обломки Space Shuttle падали в океан еще в течение часа.

NASA отказалось от FMEA и решило перейти к методу PRA, применявшемуся в ядерной энергетике. Но события в Чернобыле показали несостоятельность и этого метода.

Список причин «катастрофического феномена 1985-1986 годов» дополнило совпадение минимума солнечной активности и возвращения кометы Галлея с датой максимума самого мощного среди постоянных метеорных потоков — Пер-

сеид. Именно 12 августа 1985 года<sup>2</sup> «черный ящик» зафиксировал в салоне В-747 № JA8119 странный звук «дон-н».

Космический аргумент оказался информативным и для предсказания «катастрофического феномена XX века» в период очередного максимума солнечной активности 1991–1992 годов.

А минимум солнечной активности 1995-1996 годов начался «предсказанными» катастрофами 8 самолетов Boeing, 3 истребителей F-14 США, Ту-154 на Дальнем Востоке и тройки Су-27 во Вьетнаме, причем число жертв катастроф только за первые полгода превысило 660.

«Циклом» позже, 9 июля 2006 года, при посадке в Иркутске у Airbus A-310 авиакомпании «Сибирь» не переключился в режим торможения левый двигатель, самолет съехал с взлетно-посадочной полосы, врезался в гаражи и загорелся. Погибло 124 человека.

Не обсуждая «добровольное» согласие командира на не первый вылет самолета с неисправным реверсом двигателя, отметим: «Зарубежные производители запрещают переводить инструкции ... к своим самолетам. ... пилотам приходится изучать все документы на английском языке и оперировать ими, не имея русского текста. Летчики не только говорят по-английски во время полета, но и пользуются западной системой исчисления, потому что все бортовые приборы проградуированы именно в ней» [10].

Однако в «западной системе исчисления» мили километрами так и не стали, средства измерений для технического обслуживания самолетов Airbus на проверку «возят в Париж», где ее стоимость в евро выражается тем же числом, что и у нас в рублях.

А в «нашей системе исчисления» остались «международная система единиц», «обязательный перевод на русский язык инструкций по безопасной эксплуатации», «законность применения и проверка средств измерений в сфере государственного метрологического контроля и надзора» Российской Федерации в придачу с «зарубежным опытом эксплуатации авиационной техники по состоянию», т. е. до полного отказа.

А от добра «добра», как известно, в защиту прав потребителя не ищут. Поэтому повторение «катастрофических феноменов» в связи с «вступлением России в рынок» подсказывает, что бесприкрытая «игра в рулетку» на периодичности и качестве технического обеспечения эксплуатации со ставкой дорожке человеческой жизни началась и у нас.

*Продолжение следует*

<sup>2</sup> Именно в этот день, спустя ровно 15 лет, погиб АПРК К-141 «Курск» от «неизвестного» внешнего механического воздействия. Поднявшийся 12 августа 1937 года со Щелковского аэродрома самолет Н-209 с экипажем из 6 человек под командованием С. Леваневского пропал без вести спустя час после перелета Северного полюса.

# КАТАСТРОФИЧЕСКИЙ ФЕНОМЕН «1985-1986»: ПОВТОРЕНИЕ ПРОЙДЕННОГО

## CATASTROPHICAL PHENOMENON OF 1985-1986: RECURRENCE TO THE PAST

Левин С.Ф. (Levin S.), д.т.н., профессор, Московский институт экспертизы и испытаний

(Окончание, начало см. №3-2007)

### «КАТАСТРОФИЧЕСКИЙ ФЕНОМЕН» И МЕТРОЛОГИЯ

Катастрофы возможны и в отечественной метрологии. И беда не в размере средств на обеспечение единства измерений, а в исчезновении идеологии.

Раньше было проще — идеология была «наша» и «не наша».

Теперь же потребовались новые идеи, которых вдруг стало не хватать.

И тогда «одолжили» целый GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement — Руководство по выражению неопределенности измерения) таких идей: «слово «неопределенность» означает сомнение и, таким образом, в своем самом широком смысле «неопределенность измерения» означает сомнение относительно достоверности результата измерения. Из-за отсутствия различных слов для этого общего понятия неопределенности и специальных величин, которые дают количественные меры этого понятия, как, например, стандартное отклонение, необходимо использовать слово «неопределенность» в этих двух различных смыслах. В этом Руководстве слово «неопределенность», используемое без прилагательных, относится как к общему понятию, так и к любым или всем количественным мерам этого понятия. Когда предполагается специфическое измерение, то используются соответствующие прилагательные.

Формальное определение термина «неопределенность измерения», разработанное для использования в этом Руководстве и принятое VIM (International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology), следующее: неопределенность (измерения) есть параметр, связанный с результатом измерения, который характеризует дисперсию значений, которые могли быть обоснованно приписаны измеряемой величине» [11].

Так из-за «бедности» английского языка и «аутентичности перевода» на языке отечественной метрологии появились сразу две неопределенности — в узком и в широком смыслах.

Однако не все обратили внимание на то, что новое понятие «не расходится с другими понятиями неопределенности измерения, такими как:

– мера возможной погрешности оцененного значения измеряемой вели-

чины, полученной как результат измерения;

– оценка, характеризующая диапазон значений, в пределах которого находится истинное значение измеряемой величины.

Хотя эти два традиционных понятия справедливы как идеальные, они сосредотачивают внимание на неизвестные величины: «погрешность» результата измерения и «истинное значение» измеряемой величины (в противоположность его оцененному значению)» [11].

В то же время из-за сосредоточения внимания GUM [11] на неопределенных величинах, «чрезмерной топорности буквально навязывания силой нового понятия» [12] и попыток распространить uncertainty на «всё» тихо началась «поделка» нормативных



документов ГСИ под шум разгоревшейся бесперспективной терминологической дискуссии между «вузовскими специалистами и метрологами крупных институтов» [13]. Дискуссии о том, что неизвестная величина — это величина, значение которой неизвестно, а неопределенная величина — это величина, значение которой не определено, и об избыточности прилагательного «истинное» и недостаточности термина «параметр рассеяния». Дискуссии, которой бы просто не было, если бы сохранилась та массовая вероятно-статистическая грамотность специалистов, созданная отечественной школой теории вероятностей и математической статистики.

Настоящие проблемы начались лишь тогда, когда эту «неопределенность» посчитали. Тогда и выяснилось, что «расширенная неопределенность» еже «доверительной погрешности» со всеми вытекающими отсюда для «катастрофического феномена» последствиями. Причем расхождение интервальных оценок составило не 10, не 15 и даже не «обычных» 20 %.

Так, расчет расширенной неопределенности результата поверки согласно окончательной редакции проекта ГОСТ Р 8.461 на методику поверки термопреобразователей сопротивления в соответствии с т. н. «законом трансформирования неопределенности» дает 0,137 °C при допуске 0,34 °C, а расчет доверительной погрешности по тем же данным для композиции (!) тех же традиционных распределений вероятностей дал уж 0,354 °C.

Напомним, измерениям в «катастрофическом феномене» отводится не последняя роль.

Так, 200-кратное расхождение показаний дозиметров ДП-5В при аварийно-спасательных работах на Чернобыльской АЭС в условиях смешанного  $\gamma$ - и  $\beta$ -излучения привели к недооценке опасности радиационной обстановки в том числе и потому, что методика их градуировки предусматривала раздельное использование соответствующих эталонных источников.

Проведенная тогда же проверка состояния единства измерений радиационных полей на ядерных энергетических установках подводных лодок Северного флота обнаружила превышающие допуск в 1,5-2 раза систематические погрешности аттестования дозиметрических установок КИС-НРД-МБМ [14]. Последствия превышения достоянием «гласности» не стали.

В начале причинно-следственной цепочки технических причин пожара и гибели уникальной АПЛ К-178 «Комсомолец» был неисправный газоанализатор в 7-м отсеке. Руководство по борьбе за живучесть РБЖ-ПЛ-82 обязывает контролировать содержание кислорода переносными приборами не менее 6 раз в сутки вне зависимости от состояния автоматических средств контроля. Вот только норма его содержания тогда была от 21,5 до 23 %, т. е. выше, чем в земной атмосфере. Спустя два года эту норму снизили [15].

Проблемы терминологии решаются проще, когда термины имеют математический эквивалент. И если понять, что dispersion — это не только «дисперсия», но и «рассеяние», то «неопределенность в узком смысле» станет «параметром рассеяния» распределения вероятностей, которое и является количественной мерой «неопределенности в широком смысле».

Такое понимание «неопределенности в узком и широком смысле» как «рас-

предела вероятностей и параметра его рассеяния» отражено в [16-28]. И нужные слова в английском языке нашлись, целых три: uncertainty, indeterminateness, indeterminacy [29].

Причины расхождений оценок лежат не в различиях понятий «неопределенности» и «погрешности», не в противопоставлении «неопределенностей типа А и В» случайным и неисключенным систематическим погрешностям, а в корректном применении математической статистики и теории вероятностей, которая не ограничивается частотной и субъективной концепциями или, согласно [11], признанными интерпретациями понятия вероятности.

Есть и другая признанная концепция — интерполяционная. Ее начало связано с методом максимального правдоподобия Р. Фишера, а название — с интерполяционным методом В.И. Чернецкого. В основе же теории вероятностей лежит аксиоматика А.Н. Колмогорова.

Одна из причин расхождения оценок сегодня устранена Приложением 1 [22] к Руководству [11]: «трансформирование распределений ... позволяет получать более обоснованные оценки неопределенности, чем при использовании основной концепции в тех случаях, когда условия для применения последней не выполняются. Эта операция — трансформирование распределений — не нуждается в законе трансформирования неопределенности или центральной предельной теореме. Приложение 1 работает также с самой моделью измерения, а не с ее аппроксимацией, как предусмотрено в GUM» [26].

Авторы [26] выделили «два этапа оценивания неопределенности:

1) Постановочный. Разработка модели, согласованной с исходной моделью  $Y = f(X_1, \dots, X_N)$ , и приписание PDF (плотности распределения вероятностей) значениям  $X_j$ ;

2) Вычислительный. Вывод PDF для значения  $Y$ , использование ее для получения оценки  $u$  этого значения, стандартной неопределенности  $u(y)$ , связанной с  $u$ , и интервала охвата для указанного значения.

Все метрологические решения относительно модели и информации, которая приводит к PDF для значений  $X_j$ , принимаются на первом этапе. Второй этап в этом случае — самостоятельная задача, для решения которой могут быть использованы математические, статистические и численные методы. Первый этап определяется конкретной метрологической дисциплиной, представляющей интерес. В данной статье эта важная проблема не рассматривается» [26].

Под конкретной метрологической дисциплиной в [26] следует понимать измерительную задачу идентификации

физической величины  $Y$  по данным измерений других физических величин  $X_1, \dots, X_N$  при известной зависимости между ними  $Y = f(X_1, \dots, X_N)$ , а под важной и не рассматриваемой в [25] проблемой — задачу «приписания PDF». Такие задачи решают соответственно методом косвенного измерения [19] и методом многократных измерений [17].

Согласно Приложению 1 [22] интервалы охвата находят по квантилям функции распределения выходной величины  $Y$  как интеграла от «приписанной PDF» по совокупности полученных методом Монте-Карло в неубывающем порядке значений  $y_{(r)}$ ,  $r = 1, \dots, M$ :

$$\hat{G}(\eta) = \begin{cases} \frac{r-1/2}{M} + \frac{\eta - y_{(r)}}{M(y_{(r+1)} - y_{(r)}), & y_{(r)} \leq \eta < y_{(r+1)}, r = 1, \dots, M-1; \\ 1 - \frac{1}{2M}, & \eta = y_{(M)}; \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Если эту кусочно-линейную функцию рассматривать как функцию распределения вероятностей выходной переменной  $Y$  («часто называемой измеряемой величиной» [26]), приписанную данным моделирования, то следует обратить внимание на то, что отрезки прямых линий соединяют середины ступенек статистической функции распределения.

Хотя в Приложении 1 «акцент делается на интервал охвата, а не на  $u(y)$ , поскольку первый в большей степени зависит от закона распределения» [26], это не дает полного объяснения расхождению интервальных оценок. Руководство [11] формально требует учитывать «любые неопределенности, связанные с самой математической моделью»  $Y = f(X_1, \dots, X_N)$ .

Ни в Руководстве, ни в Приложении 1 не сказано, как оценивать неопределенности неопределенностей вида А и В или, в терминах нормативных документов ГСИ [16, 23], погрешности статистической идентификации и неадекватности распределений вероятностей.

Метод максимального правдоподобия, теоретическая база популярных оценок параметров положения и рассеяния распределения Гаусса — среднего арифметического и среднеквадратического отклонения от него (СКО), исходит из гауссовой асимптотики этих оценок. Но и здесь центральная предельная теорема — всего лишь непроверенная гипотеза.

Практический ответ на этот вопрос дают рекомендации [16, 22, 23] по усеченным распределениям и контурная оценка неизвестной плотности распределения вероятности на основе модифицированного тождества П. Леви [30, 27-28]

$$f_{1|R}(\delta) < \frac{F_R(\delta - \theta_{RR0}^-) - F_R(\delta - \theta_{RR0}^+)}{\theta_{RR0}^+ - \theta_{RR0}^-},$$

где  $F_R(\delta)$  — функция равномерного распределения вероятностей, эквивалент-

ного крайним членам вариационного ряда случайной составляющей погрешности,  $[\theta_{RR0}^-, \theta_{RR0}^+]$  — интервал неопределенности, учитывающий погрешности неадекватности принятой функции распределения и неисключенные систематические погрешности измерений [28]. В упомянутом выше расчете расширенной неопределенности поверки термопреобразователей сопротивления эта оценка дает наиболее правдоподобную оценку доверительной погрешности поверки: 0,35 °С.

Это, конечно, еще не катастрофа. Но еще до вступления в ВТО и «рынок» производители всевозможных «счетчиков-расходомеров» уже «осаждают» Государственные центры испытаний средств измерений требованиями об увеличении межповерочных интервалов — четыре года, а то и шесть лет! Мало того, что, например, до 50 % расходомеров теплосчетчиков бракуется при поверке органами метрологической службы, так и это еще не все: ряд типов расходомеров нельзя поверить без программного обеспечения изготовителя, которое по ходу поверки их перекалибровывает, обеспечивая тем самым положительный результат поверки.

А вот что делать с взаимными расчетами между потребителем и поставщиком, реализованными такими расходомерами до «перекалибровки», т. е. до их отказа?

Кроме того, некоторые господа до сих пор не представляют, почему ГОСТ 8.061-80 требует устанавливать в поверочных схемах доверительную вероятность для погрешностей измерений единой, и какой смысл вложен в ее значения 0,90; 0,95 и 0,99.

Вместе с тем каждый новый день приносит неутешительные вести о жертвах технического, а в том числе и метрологического, обеспечения эксплуатации объектов и природных катаклизмов, предсказание и предупреждение которых без измерений невозможно.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вопросы кибернетики, выпуск 94: Статистические методы в теории обеспечения эксплуатации. — М.: АН СССР, Научный совет по комплексной проблеме «Кибернетика», 1982.
2. Левин С.Ф. Гарантированность программ обеспечения эксплуатации техники. — К.: Знание, 1989.
3. Проблемы метрологического обеспечения испытаний и эксплуатации сложных объектов. — М.: ВВИА, 1996.
4. Левин С.Ф. Техническое обеспечение эксплуатации изделий авиационной и ракетно-космической техники. — Конструкции из композиционных материалов. — 2001. — № 4. — С. 48.
5. Левин С.Ф. Погрешности измерений и вычислений как причина «катаст-

рофического феномена 1985-1986 годов» в авиационной и ракетно-космической технике. — КИПиС. — 2000. — № 3. — С. 21.

6. Левин С.Ф. Катастрофический феномен 1985-1986 гг.: Подводная часть. — КИПиС. — 2005. — № 3, с. 28; № 4, с. 26.

7. Левин С.Ф. // Измерительная техника. — 1995. — № 7. — С. 15.

8. Левин С.Ф. Статистический анализ и синтез моделей систем технического обеспечения эксплуатации/Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук, 1984.

9. Левин С.Ф. Динамические задачи исследовательских и контрольных испытаний летательных аппаратов. — Конструкции из композиционных материалов. — 2002. — № 1. — С. 67.

10. «Комсомольская правда». — 18 апреля 2007 года. — С. 12.

11. Руководство по выражению неопределенности измерения. Пер. с англ. — СПб: ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, 1999.

12. Тищенко В.А., Токатлы В.И., Лукьянов В.И. // Измерительная техника. — 2003. — № 10. — С. 12.

13. Математическая, статистическая и компьютерная поддержка качества измерений /Материалы международного научно-технического семинара, 5-7 июня 2002 г. — СПб.: ВНИИМ, NPL, 2002.

14. Левин С.Ф. Контроль технических объектов по аварийным и определяющим параметрам. — К.: Знание, 1992.

15. Романов Д.А. Трагедия подводной лодки «Комсомолец»: Аргументы конструктора. — СПб.: Изд-во РХГИ, 1995.

16. Р 50.2.004-2000. ГСИ Определение характеристик математических моделей зависимостей между физическими величинами при решении измерительных задач. Основные положения.

17. Левин С.Ф. МТИЗ, ч. 5: Измерительные задачи статистической идентификации распределений вероятностей значений величин. — КИПиС. — 2001. — № 6. — С. 29.

18. Р 50.1.037-2002. Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим. Часть II. Непараметрические критерии.

19. Левин С.Ф. МТИЗ, ч. 8: Метод косвенного измерения. — КИПиС. — 2003. — № 5. — С. 29.

20. Левин С.Ф. // Измерительная техника. — 2004. — № 3. — С. 5.

21. Лемешко Б.Ю. // Метрология. — 2004. — № 7. — С. 8.

22. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. Sup. 1: Numerical Methods for the Propagation of Probability Distributions /Tech. rep. Joint Committee for Guides in Metrology, 2004.

23. МИ 1317-2004. МУ ГСИ. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров.

24. МИ 2916-2005. ГСИ. Идентификация распределений вероятностей при решении измерительных задач.

25. Левин С.Ф. // Измерительная техника. — 2005. — № 2. — С. 3.

26. Кокс М., Харрис П. // Измерительная техника. — 2005. — № 4. — С. 17.

27. Левин С.Ф. // Измерительная техника. — 2006. — № 7. — С. 3.

28. Левин С.Ф. // Метрология. — 2006. — № 9. — С. 3.

29. Физическая энциклопедия, т. 3. — М.: «Большая Российская энциклопедия», 1992. — С. 321.

30. Крамер Г. Математические методы статистики. — М.: Мир, 1975. — С. 110. 

*In this article, the author continues to tell about the metrological aspects as well as the role of measurement errors in the "catastrophical phenomenon".*