

Петров Ю.П.

Тайны техногенных катастроф

(обрушение аквапарка «Трансвааль» в Москве, гибель подводной лодки «Курск», падение аэробуса А-310 над Междуреченском и др.)

Научный детектив

Предисловие

В настоящей брошюре описаны обстоятельства и история расследования известных техногенных (т.е. порожденных техникой) катастроф – обрушение аквапарка «Трансвааль» в Москве в 2004 г., гибель подводной лодки «Курск» в 2003 г., катастрофа аэробуса А-310 над Междуреченском в 1994 г. и некоторые другие. Эти катастрофы в прошедшие годы были у всех «на слуху», поскольку сопровождались гибелью людей и тщательно расследовались – как органами юстиции, так и наукой. В настоящей брошюре основное внимание уделено результатам научного расследования, поэтому ее следует рассматривать как «научный детектив».

С техногенными катастрофами, грозящими его жизни, может столкнуться каждый гражданин России. Они не менее опасны, чем терроризм. Поэтому – я надеюсь – читатели не без интереса прочтут – как расследуются техногенные катастрофы и что делается для их предотвращения, для сбережения жизни людей.

Брошюра разделена на две части. Для понимания первой (основной) части (параграфы с первого по восьмой) не требуется знаний, выходящих за пределы средней школы. Вторая (меньшая) часть (параграфы 9, 10, 11) рассчитана на читателей, знакомых с инженерными расчетами в объеме технического вуза.

ЧАСТЫ

1. Катастрофа аквапарка «Трансвааль»

14 февраля 2004 года Москва была потрясена ужасной катастрофой: обрушилась крыша аквапарка (водного парка) «Трансвааль». Погибло 27 человек, в том числе дети, 113 человек получили различные травмы.

Аквапарк «Трансвааль», расположенный на окраине Москвы, был одним из любимейших мест отдыха москвичей. Плавательные бассейны, различные аттракционы – водные горки, бассейны с искусственно созданными морскими волнами и т.п. – все располагало к здоровому и беззаботному отдыху. Само здание аквапарка было очень красиво. Крыша бассейна опиралась на целый ряд расположенных полукругом колонн, между которыми оставалось место для больших окон.

Поэтому даже в хмурую зимнюю пору в день 14 февраля 2004 года аквапарк был полон беззаботно веселящимися в воде взрослыми и детьми. И вдруг одна из колонн, на которые опиралась крыша большого бассейна, внезапно сломалась под ее тяжестью, а вслед за ней стали ломаться и другие колонны. Потерявшая опоры крыша рухнула прямо на головы беззаботно плавающих людей. Раздались ужасные крики раздавленных, погас свет, в кромешной тьме те, кто уцелел, пытались выбраться из под рухнувших на них обломков. Затем прибыли спасатели, несколько часов разбирали завалы, спасали тех, кого еще было можно спасти. Потом наступило время окончательного горького подсчета. Вот этот подсчет: 27 погибших, 113 раненых. Среди погибших и раненых – дети.

Конечно, катастрофа такого масштаба не могла остаться без тщательного расследования, главная задача которого заключалась, разумеется, в том, чтобы предотвратить возможность повторения подобных трагедий – и в Москве, и в других местах. Ведь аквапарков много, строиться будет еще больше, а предотвратить возможные катастрофы можно лишь в том случае, если будет выяснена истинная причина того, что произошло 14 февраля 2004 года в аквапарке «Трансвааль». Если причина не будет выяснена, или – что еще хуже – будет названа фальшивая, не истинная причина, то останется возможность повторения

аварий в аквапарках и в других новых зданиях и сооружениях, и ни один гражданин, входя в новое, недавно построенное и не типовое здание не может быть уверен в том, что выйдет живым, не может быть уверен в безопасности своей жизни. Поэтому не удивительно, что органы юстиции, следователи («детективы») и прокуроры тщательно исследовали возможные причины катастрофы. Свой вклад внесла и наука. Далее мы подробно расскажем о ходе этого детективного исследования, расскажем и об юстиции, и о науке.

2. Расследование, проведенное органами юстиции

Первым подозрением, возникшем у следователей и прокуроров, расследовавших катастрофу аквапарка «Трансвааль», было подозрение о террористическом акте, подозрение о том, что террористы заложили взрывчатку в злополучную колонну, одну из тех, на которых держалась крыша, и подорвали ее. Были проведены тщательные экспертизы, которые подозрений в терроризме не подтвердили.

Дело в том, что на месте взрыва всегда остаются следы частиц взрывчатки. Огромным давлением взрыва они накрепко «впечатываются» в мельчайшие поры бетона и их легко найти методами современного точного химического анализа. Точнейшие анализы подтвердили: никаких следов взрывчатки нет.

Несколько позже высказывалось другое подозрение: поскольку аквапарк «Трансвааль» находится на окраине Москвы и сразу за ним начинается лесопарк, то высказывалось подозрение: террористы из леса выстрелили по аквапарку, попали в колонну, поддерживавшую крышу, колонна сломалась и стала причиной аварии. Но сразу возникает вопрос – а чем стреляли террористы? Если разрывным снарядом (например гранатой из подствольного гранатомета), то обязательно на месте разрыва гранаты должны были остаться следы взрывчатки, а не малейших следов взрывчатки, как уже говорилось, самые тщательные анализы не обнаружили. Если же террористы стреляли не разрывным снарядом («болванкой»), то болванка была бы обнаружена при разборе завала, а этого не было. Кроме того, для того, чтобы сломалась колонна, болванка должна быть выстрелена из довольно приличной пушки. Ну а предположить, что в московский лесопарк можно незаметно доставить пушку (и так же незаметно убрать) – это уж через чур!

Вот поэтому все подозрения о террористическом акте были после тщательной проверки полностью отвергнуты.

Затем стали проверять качество строительства – не применялись ли некачественные или суррогатные строительные материалы, соответствовало ли реальное строительство проектным требованиям – и т.п. Проверка показала, что нарушений не было.

После всех этих исследований и экспертиз специалисты пришли к выводу, что были допущены ошибки при проектировании и расчете конструкции аквапарка. Еще 22 мая 2004 года в газете «Известия» и заместитель мэра Москвы Владимир Ресин и глава Федерального агентства по строительству и ЖКХ Владимир Аверченко официально подтвердили, что единственной причиной катастрофы они считают ошибки проектирования.

Заметим, что проектирование таких сооружений, как аквапарки – дело сложное. Колонны, несущие тяжесть крыши, работают на сжатие и хорошо известно, что сжатая колонна теряет устойчивость и ломается, если нагрузка на нее превышает критическую. Рассчитать эту критическую нагрузку не просто даже для единичной колонны, поскольку она зависит и от материала колонны, и от ее формы, и – что особенно важно – от неизбежных малых погрешностей при изготовлении и монтаже. Только в результате богатого (и часто горького!) опыта были выработаны формулы и правила, позволяющие безошибочно рассчитывать критические нагрузки и устойчивость единичных колонн. Но в аквапарке крышу поддерживает не одна, а целый ряд колонн. При малых деформациях нагрузка может переходить с одной колонны на другую и это нужно учитывать при проектировании и расчете. Подобный расчет требует исследования собственных значений достаточно сложной системы дифференциальных уравнений. Заметим, что проектировщики давно умеют все это делать, а аквапарк «Трансвааль» проектировало известное и опытное архитектурное бюро ЗАО «К», возглавляемое авторитетным конструктором Нодаром Вахтанговичем Канчели, руководившим до этого проектированием многих уникальных зданий Москвы, которые прочно стоят до сих пор.

И все же 1 апреля 2005 года, более чем через год после катастрофы, Н.В. Канчели было предъявлено обвинение сразу по двум грозным статьям уголовного кодекса РФ: статья 109, часть 3 («Причинение смерти по неосторожности двум или более лицам») и статья 118, часть 2 («Причинение тяжкого вреда здоровью вследствие ненадлежащего исполнения профессиональных обязанностей»). Московской прокуратурой было возбуждено уголовное дело против Н.В. Канчели.

Но в уголовном деле необходимо привести конкретные доказательства – какие именно ошибки были допущены при проектировании. Взят не тот коэффициент, который требуется по существующим строительным правилам? Использовалась не та формула, которая требовалась? Все это надо доказать, но с доказательствами явно было не все в порядке.

И вот 28 июня 2005 года в прокурорском детективе происходит неожиданный поворот: Московская прокуратура предъявила новое обвинение – теперь уже руководителю Московской государственной экспертизы Анатолию Воронину (газета «Известия», 29.06.05). Его обвинили в том, что он в 2001 году

дал разрешение на замену первоначально намечавшейся алюминиевой крыши аквапарка на ребристую железобетонную и эта замена стала (по мнению следствия) причиной аварии. Снова возникают вопросы: авария могла произойти, если проектный вес нового варианта крыши был больше, чем в старом варианте, нагрузка на колонны превысила критическую и устойчивость нарушилась. Но проектный вес обеих крыш известен. Не верится, что опытейший глава Московской государственной экспертизы А. Воронин допустил элементарную арифметическую ошибку.

Далее в детективном деле, которое ведет Московская городская прокуратура, наступил совсем неожиданный поворот: пострадавшие в катастрофе (родственники погибших и оставшиеся инвалидами после травм) через своего адвоката обратились в прокуратуру с просьбой ознакомиться с результатами экспертизы по проектированию и строительству аквапарка «Трансвааль». Прокуратура отказала. Тогда пострадавшие обратились в суд. В мае 2005 года Замоскворецкий суд Москвы решил, что такое право пострадавшим должно быть предоставлено – тем более, что обвиняемые уже познакомились с экспертизой, а пострадавшие (по уголовному делу они проходят как «потерпевшие») имеют вполне определенные права на знакомство с материалами дела. Тем не менее Мосгорпрокуратура не согласилась с решением суда, подала на кассацию и через Московский городской суд добилась отказа потерпевшим на знакомство с результатами экспертиз (газета «Известия», 28.07.05). Добилась отказа – вот это и есть самое непонятное. Ведь потерпевшие заинтересованы в истине не меньше, а больше прокуратуры. А среди многочисленных потерпевших есть люди знающие, опытные, которые могли бы помочь в установлении истины. Прокуратура – против их знакомства с экспертизой. Почему против? Ясности пока нет. Никакой ясности нет.

Возможно, поможет прояснить причины странностей исторический пример, который мы сейчас расскажем. Со дня событий прошло много лет, прежде чем его участники осмелились рассказать всю правду. Зато теперь мы правду знаем. Ну а о сегодняшних делах и событиях мы, возможно, узнаем правду много позже. Пока можно будет судить только по аналогии.

3. Исторический пример

Рассказ об одном из научных расследований известен мне в двойном пересказе. Поэтому некоторые мелкие детали могли ускользнуть из моей памяти, неточности возможны, но суть событий достаточно ясна.

Шел 1943 год. Заводы СССР выпускали уже много танков, когда вдруг, совершенно неожиданно, в решающие моменты боев, при резких маневрах стали ломаться шестерни танковых коробок скоростей. Поломка шестерен сразу лишала танк движения и он становился неподвижной мишенью для вражеской артиллерии.

Дело было очень опасным и очень важным для фронта. Поэтому на завод, изготавливающий шестерни, была направлена проверочная комиссия с большими

полномочиями. Председателем комиссии был один из самых видных партийных деятелей того времени, член Политбюро ЦК ВКП (б), а одним из членов комиссии был рассказчик, тогда еще сравнительно молодой, но уже опытный инженер. Он начал внимательно изучать производство шестерен на заводе и особенно – организацию контроля за их качеством. Интуитивно он чувствовал, что причина поломок коробок скоростей есть, но найти ее сразу – не удавалось. Но уже на четвертый день его вызвал к себе председатель комиссии и спросил: сколько вредителей Вы разоблачили, арестовали и отдали под суд? Далее произошел примерно следующий диалог:

Инженер: я пока не арестовал ни одного. По моему, дело не во вредителях. Ведь на заводе, и в отделе технического контроля работают те же люди, что и раньше. Новых не пришло, я проверял. Так что же – в тяжелейшие 1941 и 1942 годы они работали честно, а в 1943 стали вредителями? Не верится. Надо искать технические причины.

Партийный деятель: ищите скорей. Времени мало. Если не найдете причину – арестовывайте людей. Я уже арестовал и отдал под суд трех человек. Если мы вернемся в Москву не найдя причин поломок и не арестовав вредителей, то даже мне – члену Политбюро – будет не сладко, а вас – инженера – вообще могут арестовать и расстрелять за мягкотелость.

Инженер: но если арестованные нами не виноваты в поломках шестерен, то ведь поломки и после нашего отъезда с завода будут продолжаться?

Партийный деятель: если поломки будут продолжаться, то пришлют еще одну комиссию и взыскивать будут с нее, а не с нас. А мы «выйдем из под удара».

Инженер: я все же поищу техническую причину.

После напряженных поисков, работая как настоящий детектив (а точнее – как научный детектив) причину он все же нашел: до 1943 года завод изготавливал шестерни коробок скоростей как для танков, так и для других транспортных средств, где шестерни испытывали меньшие нагрузки. Для танковых шестерен использовалась легированная сталь, с добавками никеля и хрома, для шестерен, идущих не на танки, использовалась простая углеродистая сталь. По внешнему виду шестерни из разных сортов стали не отличались, а при многочисленных операциях закалки и отпуска разные партии шестерен можно было перепутать. Поэтому на выходе с завода их проверяли в отделе технического контроля простым поднесением к точильному кругу: танковая шестерня давала сноп искр одного цвета, обычная, не танковая шестерня, давала сноп искр другого цвета. Ошибок не происходило.

А в 1943 году металлурги освоили производство особой износостойчивой стали, отличавшейся не прочностью, а долговечностью. Для танков она не годилась, но на точильном круге она давала искры того же самого цвета, что и танковая сталь. А поскольку в СССР тогда все было секретным, то работники завода, изготавливавшего шестерни, не знали о новом сорте стали, проверяли шестерни по старому и поэтому не могли отличить один сорт стали от другого. Отсюда и поломки в танковых коробках скоростей, приводящие к остановке танков на поле боя.

Как только научное расследование было завершено, все дальнейшее было уже просто: вместо проверки на точильном круге стали использовать другие, более сложные методы контроля. Контролеры немного покряхтели из-за необходимости новой, дополнительной работы, были этим, конечно, недовольны, но (помня, что время военное) смирились и дополнительный контроль ввели. Зато поломки шестерен сразу прекратились, претензии танкистов исчезли. Отданных под суд работников завода (тех, кого не успели расстрелять) освободили.

Хотя всякие аналогии с событиями более чем шестидесятилетней давности, разумеется, условны, все же не мешает обратить внимание на разность подхода к исследованию причин аварий и катастроф у лиц, имеющих «гуманитарное» образование (а следователи прокуратуры имеют именно такое образование) и у лиц, имеющих знания в области точных наук. «Гуманитарии» ищут вину людей, ищут, кто виноват, и часто готовы отдать под суд, а то и посадить надолго в следственный изолятор еще до того, как найдены истинные причины катастрофы, а представители точных наук, прежде всего, ищут причины – ищут их методами науки. Перечитайте еще раз рассказы о Шерлоке Холмсе. Вы убедитесь, что превосходство Шерлока Холмса над полицейскими детективами заключается, прежде всего, в том, что он использует научные методы.

Я не подвергаю сомнению компетентность и добросовестность следователей прокуратуры. Но вопросы остаются. Н. Канчели – опытный работник, много лет работал над постройкой уникальных зданий. Трудно поверить в то, что он допустил грубую, ведущую к катастрофе, ошибку, а опытный начальник Московской государственной вневедомственной экспертизы А. Воронин его ошибки просмотрел.

Поэтому послушаем – а что говорит наука по поводу катастрофы аквапарка «Трансвааль» и по поводу других порожденных техникой («техногенных») катастроф – тех, что уже произошли и унесли жизни людей, и тех, что еще могут произойти, и могут унести Вашу жизнь, уважаемый читатель. Нас окружает много различной опасной техники и причины возможных аварий надо знать.

4. Научное исследование причин катастроф. Открытие «особых» объектов и систем.

Научным открытием, позволившим найти причины многих техногенных катастроф (в том числе, возможно, и катастрофы аквапарка «Трансвааль») стало открытие «особых» объектов и «особых» математических моделей, которые эти объекты описывают. «Особые» объекты – это те, для которых обычные и, вроде бы, многократно проверенные методы проектирования и расчета не дают правильного результата. «Особые» объекты ведут себя совсем не так, как предусмотрено самым добросовестным проектом и расчетом и могут, например, неожиданно обрушиться на головы беззаботных посетителей.

Именно «особым» объектом оказался аквапарк «Трансвааль» (точнее – здание аквапарка). Именно встреча с «особым» техническим объектом стала, возможно, несчастьем для жертв аварии. Она же стала бедой для Н. Канчели и А. Воронина.

«Особые» объекты и «особые» математические модели были открыты и исследованы в Санкт – Петербургском государственном университете (СПбГУ) в 1987 – 2000 годах. Там же (и в те же годы) были открыты неожиданные свойства эквивалентных преобразований. Эти открытия (и их следствия) один из исследователей назвал «одним из важнейших открытий конца двадцатого века, возможно, даже самым важным»!

Важность открытий, сделанных в СПбГУ, заключается в том, что эквивалентные преобразования (их называют еще равносильными преобразованиями) применяются практически во всех инженерных и экономических расчетах, изучаются в средней школе.

Даже сегодняшние «гуманитарии», наверное, помнят, как в средней школе им рассказывали о простейших эквивалентных (равносильных) преобразованиях:

1. перенос членов из левой части в правую и наоборот с изменением знака;
2. умножение всех членов на число, не равное нулю;
3. подстановка – т.е. замена любого члена на член, равный ему.

Основное свойство эквивалентных преобразований – они не изменяют решений уравнений. Но при этом очень долгое время (вплоть до 1987 года) никто не замечал, что эквивалентные преобразования могут изменять некоторые важные свойства решений. Одно из важнейших свойств – при малых изменениях исходных данных решение должно изменяться мало. Такое свойство решений называют иногда – корректностью, иногда – параметрической устойчивостью. Это свойство важно потому, что на практике все исходные данные проектирования и расчета известны всегда с ограниченной, конечной точностью, да еще к тому же часто немного изменяются с течением времени.

Если при изменении исходных данных расчета (например – диаметра круглой колонны) на 1% результат расчета (например – критическая нагрузка колонны) изменится в два раза, то такой расчет, разумеется, никакого практического смысла не имеет. Здание, построенное по такому нелепому расчету, разумеется, обязательно рухнет. Корректность решений для практики важна, очень важна. Поэтому корректность всегда тщательно проверяют. Но в 1987 году в СПбГУ было открыто, что существуют особые объекты, в математических моделях которых корректность изменяется при эквивалентных преобразованиях. Для таких особых объектов традиционные методы проверки корректности не достоверны и поэтому каждая встреча с особым объектом может обернуться аварией и даже катастрофой. Особые объекты были открыты так поздно потому, что они встречаются редко, но несмотря на свою редкость они очень опасны. Мы знаем, что и катастрофы происходят редко, не каждый день, но попасть в катастрофу никому не хочется.

Для того, чтобы катастроф было меньше и наша жизнь стала безопаснее, надо уметь еще на стадии расчета и проектирования найти и выделить «особые» объекты. Об интереснейшей истории открытия особых объектов и разработки методов их распознавания и выделения мы далее расскажем, а пока приведем совсем простой числовой пример, который сразу прояснит суть дела. Никаких знаний, кроме школьной алгебры, для понимания примера не нужно.

Рассмотрим систему двух алгебраических уравнений:

$$(2\lambda^2 + 2)x = 2y \quad (1)$$

$$(\lambda^2 + \lambda)x = y \quad (2)$$

с двумя переменными x и y , и параметром λ .

Поскольку уравнения (1) и (2) однородны, то они, разумеется, имеют нулевое решение $x = y = 0$. Однако при некоторых значениях параметра λ система, состоящая уравнений (1) и (2), имеет не нулевые решения. Значения параметра, при которых система однородных уравнений имеет не нулевые решения, называют собственными значениями (или собственными числами). Для системы (1) и (2) единственным собственным значением является $\lambda = 1$. Действительно, при подстановке в (1) и (2) значения $\lambda = 1$, система (1)-(2) переходит в систему:

$$4x = 2y \quad (3)$$

$$2x = y \quad (4)$$

и имеет, например, решения: $x = 1; y = 2$ или $x = 2; y = 4$ и многие другие. А вот при $\lambda \neq 1$ система (1)-(2) не нулевых решений не имеет. Это можно установить кропотливой проверкой, проверив все возможные значения параметра λ .

Заметим сразу, что задача вычисления собственных значений (разумеется, для систем гораздо более сложных, чем простейшая система (1) и (2)) имеет очень важное значение в технике. От величин собственных значений зависит устойчивость того или иного технического объекта, здания, сооружения, зависят частоты его колебаний и т.п.

Поэтому задаче вычисления собственных значений, различным методам их расчета, посвящены целые книги (например книга Х.Д. Икрамов. Несимметричная проблема собственных значений, издательство «Наука», 1991 г., 240 страниц, или

– Уилкинсон Д.Х. Алгебраическая проблема собственных значений, издательство «Наука», 1970 г., 564 страницы, многие другие). И все методы используют эквивалентные преобразования. А то, что может произойти при эквивалентных преобразованиях, мы покажем на простейшем примере системы (1)-(2).

Вместо громоздкого перебора всех возможных значений λ , собственное значение легко найти эквивалентным преобразованием – подстановкой. Подставив значение переменной Y из уравнений (2) в уравнение (1) мы получим:

$$(2\lambda^2 + 2)x = 2(\lambda^2 + \lambda)x \quad (5)$$

Приведя подобные члены, получим:

$$(2\lambda - 2)x = 0 \quad (6)$$

Из уравнения (6) сразу следует, что не нулевые решения для x возможны лишь если $\lambda = 1$.

Таким образом, эквивалентные преобразования позволили легко и просто найти (как и следовало ожидать) правильную величину собственных значений. Здесь все верно.

А теперь посмотрим, что получается при проверке корректности, при проверке зависимости собственных значений от малых изменений коэффициентов. После эквивалентных преобразований мы имеем дело с уравнением (6). В него входят два одинаковых коэффициента: двойка при λ и двойка как свободный член. Пусть свободный член изменился на 1% и стал равен 1,98. Тогда и собственное значение изменится на 1% и станет равным 1,01. То же самое произойдет, если на 1% изменится коэффициент при λ . Общий вывод: малым изменениям коэффициентов соответствуют малые изменения решения. Решение корректно.

А теперь (внимание!) исследуем корректность решения той же задачи до эквивалентных преобразований. Обратимся к исходным уравнениям (1) и (2) и посмотрим, что будет, если, например, коэффициент при λ^2 в уравнении (1) изменится на 1% и станет равным 1,98, а система (1)-(2) перейдет в систему:

$$(1,98\lambda^2 + 2)x = 2y \quad (7)$$

$$(\lambda^2 + \lambda) = y \quad (8)$$

Отыскивая собственные значения для системы (7)-(8), мы убедимся, что их два: $\lambda_1 = 0,99019$; $\lambda_2 = -100,99019$ (с точностью до пятого знака после запятой). Можно проверить, что у системы (7)-(8) и при $\lambda_1 = 0,99019$, и при $\lambda_2 = -100,99019$ действительно будут не нулевые решения x и y . Таким образом, для системы (1)-(2) решение задачи отыскания собственных значений – не корректно: уже при изменении одного из коэффициентов на 1% решение меняется коренным образом – вместо одного собственного значения появляется два, причем второе собственное значение резко отличается от первого (и даже имеет другой знак). Можно проверить, что если в системе (1)-(2) коэффициент при λ^2 в уравнении (1) изменить не на 1%, а на 0,1%, или даже на 0,01%, то все равно вместо одного собственного значения появятся два. Для системы (1)-(2) решение задачи о собственных значениях на самом деле не корректно – но мы не увидим этого, если будем исследовать корректность решения после эквивалентных преобразований системы, как это рекомендуют традиционные методы. Система

(1)-(2) является особой системой – системой, у которой корректность решения изменяется после эквивалентных преобразований.

Для простой системы (1)-(2) все ясно и понятно: в уравнениях (1) и (2) коэффициенты при λ^2 после эквивалентного преобразования взаимно сокращаются и исчезают, хотя именно их малые изменения в исходной системе приводят к большим изменениям собственных значений. В более сложных системах все сложнее, распутать причины и следствия очень не просто, но главное заключается в другом: даже на примере очень простой системы (1)-(2) мы показали, что эквивалентные преобразования могут изменять многие важные свойства математических моделей. Могут изменять корректность решения, могут изменять запасы устойчивости и т.д. Впервые все это было опубликовано в 1987 году, в книге [1] (номер в квадратных скобках соответствует номеру в списке литературы в конце брошюры), а более подробно – в книгах [2], [3].

5. Следствия. Методы предотвращения катастроф

Теперь рассмотрим – какие следствия вытекают из открытий, сделанных с СПбГУ. Прежде всего – сразу получаем простое и логичное объяснение тайны катастрофы аквапарка «Трансвааль». Вполне возможно, что купол аквапарка оказался особым объектом, математическая модель которого изменяет корректность решений при эквивалентных преобразованиях – подобно математической модели в виде системы (1)-(2), которую мы рассмотрели в предыдущем разделе. Купол аквапарка проектировал Н. Канчели примерно в 2000 году. Он проводил расчет критических нагрузок по преобразованной модели, поскольку в 2000 году все методики строительных расчетов рекомендовали поступать именно так. В 2000 году никто из строителей еще не подозревал о существовании особых объектов, не понимал истинных свойств эквивалентных преобразований. Поэтому Н. Канчели с чистой совестью правильно и добросовестно применял общепринятые тогда методы расчета, а руководитель Мосгосэкспертизы А. Воронин, проверяя его расчеты, подтвердил, что они сделаны правильно и в полном соответствии с общепринятыми нормами и правилами, существующими в 2000 году. А то, что для особых объектов эти общепринятые нормы и правила неизбежно ведут к катастрофами гибели людей – об этом в 2000 году никто из архитекторов и строителей еще не знал. Поэтому предъявление уголовных обвинений Н. Канчели и А. Воронину не поможет делу.

Ну хорошо, посадят их в тюрьму, и что – наша жизнь станет безопаснее? Нет, не станет. Если не уточнить методы и правила расчетов, то у другого

архитектора, который на свою беду встретится с «особым» объектом неизбежно все обрушится, и люди снова погибнут.

Для того, чтобы избежать катастроф, нужно в правила расчетов внести дополнения – дополнения, вытекающие из открытий, сделанных в СПбГУ. Тогда аварий и катастроф – по крайней мере, тех, которые возникают из-за неполноты привычных методов расчета – больше не будет. Усовершенствованные методы расчета, позволяющие избежать аварий и катастроф, известны. Они опубликованы в книгах [1], [2], [3]. Да, эти методы немного сложнее привычных, поскольку требуют небольшой дополнительной проверки – не изменилась ли корректность решения при использованных эквивалентных преобразованиях. Необходимость дополнительных проверок, небольшой дополнительной работы расчетчика привела к тому, что усовершенствованные методы расчета до сих пор применяются мало. Дополнительную работу обычно делать не хочется, а «особые» объекты встречаются редко, что и позволяет легкомысленно надеяться на то, что, что все пронесет.

Надо еще отметить, что на рубеже 2000 года, когда проектировался аквапарк «Трансвааль» усовершенствованные методы расчета в области строительства еще не были разработаны – разработка их началась с систем автоматики. Поэтому упреков в том, что усовершенствованные методы не использовали Н. Канчели и А. Воронин предъявить нельзя. К 2004 – 2005 годам архитекторы, строители и те, кто производит строительные расчеты уже могли бы пользоваться методами, изложенными в книгах [1], [2], [3] и страхующими от аварий, но они совсем не спешат этого делать.

Впрочем и в области автоматики, автоматического управления, где раньше всего вскрылась необходимость учитывать недавно открытые новые свойства эквивалентных преобразований, дело тоже обстоит не очень хорошо.

В последующих разделах мы расскажем, какими сложными путями проходил поиск истины (своеобразный «научный детектив») в автоматическом управлении.

6. Трагедия Александра Михайловича Лётова

Все началось с того, что в 1960 году член-корреспондент Академии наук СССР Александр Михайлович Лётов (1911 – 1974) предложил интересный и эффективный метод проектирования и расчета автоматических регуляторов для широкого круга объектов промышленности и транспорта. Этот метод (опубликованный в статье [4]) получил известность под названием «аналитическое конструирование оптимальных регуляторов», коротко – АКОР. Метод сразу получил широкое распространение, поскольку обеспечивал повышение качества работы регулируемых объектов, обеспечивал устойчивость, хорошие запасы устойчивости, хорошие переходные процессы и т.п.

Все это сперва было сперва тщательно просчитано, а затем подтвердилось и на практике. Началось победное шествие и широкое применение «аналитически сконструированных» оптимальных регуляторов А.М. Лётова.

А затем начались трагедии. Если очень коротко, то метод А.М. Лётова состоял в том, что в регуляторе формировались простые обратные связи по всем

переменным состоянием управляемого объекта, а коэффициенты усиления обратных связей рассчитывались по формулам, выведенным А.М. Лётовым.

Однако для многих объектов управления некоторые из переменных состояния не могут быть непосредственно измерены и введены в канал обратной связи «аналитически сконструированного» регулятора (так, например, у самолета непосредственно не измеряется такая важная переменная, как угол атаки). В этих случаях не измеряемую переменную заменяют на комбинацию измеряемых переменных и их производных, пользуясь, разумеется, только бесспорно эквивалентными преобразованиями. Так и делали. Сперва все шло хорошо, а затем начались аварии. Снабженные регуляторами А.М. Лётова самолеты падали, суда тонули, гибли люди. Причины аварий и катастроф долгое время были окутаны непроницаемой тайной, тем более, что часть самолетов, судов, генераторов с регуляторами Лётова продолжали прекрасно работать, но некоторые погибали в катастрофах без всяких видимых причин, хотя рассчитывались по, казалось бы, самым безупречным методикам.

Почему происходили эти частые и таинственные катастрофы? Тогда, в период 1960 – 1970 годов, когда использовались регуляторы А.М. Лётова, на это было особенно трудно ответить уже потому, что в те годы все сведения об авариях и катастрофах были строго секретны, о подробностях аварий знал очень узкий круг людей, и поэтому аварии обрастали самыми различными слухами и сплетнями. Во всяком случае по репутации «аналитического конструирования» и по репутации самого А.М.Лётова эти аварии и катастрофы нанесли жесточайший удар. Александр Михайлович Лётов был большим ученым и очень хорошим, очень отзывчивым человеком. Катастрофы, порожденные «аналитически сконструированными» регуляторами, он переживал очень тяжело. Он быстро исхудал, осунулся. А затем его настиг рак – болезнь, возникающая чаще всего на фоне стрессов и расстройств. А.М.Лётов скончался в 1974 году, в возрасте всего лишь 63 лет.

Причины аварий, происшедших при использовании «аналитически сконструированных» регуляторов были выяснены много позже: оказалось, что если в регуляторе использовались все переменные состояния, то система управления обладала хорошими запасами устойчивости и все было хорошо. Если же часть переменных была не измеряема и их – путем эквивалентных преобразований – заменяли на комбинации измеряемых, то запасы устойчивости резко снижались, что и становилось причиной последующих аварий и катастроф.

Таким образом, аварии и катастрофы, происходящие из-за незнания открытых позже свойств эквивалентных преобразований неоднократно происходили в 60-е годы XX века. Но их причины долго оставались не раскрытыми.

Казалось бы, истина поймана, вот она, у тебя в руках – раз эквивалентные преобразования изменяют такое важное свойство решений, как запасы устойчивости. То это значит, что они могут изменять и другие свойства решений. Следите за этими изменениями – и все прояснится, аварии будут побеждены. Но этого простого вывода в те годы не было сделано. Более того, когда в 1973 году Петр Владимирович Надеждин в статье [5] опубликовал пример, когда после

эквивалентных преобразований изменялась так называемая «грубость» системы, то даже этот пример остался без серьезного внимания. Пошли по другому пути – были найдены пути построения регуляторов, похожих на «аналитически сконструированные» регуляторы А.М.Лётова, но за счет небольшой модификации сохранявших хорошие запасы устойчивости. Частые аварии и катастрофы прекратились, все успокоилось, но это было напрасным: поскольку истинные причины аварий и катастроф не были раскрыты, они стали происходить в других местах, уже не за счет «аналитически сконструированных» регуляторов – примером может служить ужасная авария 22 марта 1994 года над Междуреченском, когда погибли все пассажиры и экипаж. Мы расскажем о ней в следующем разделе, а материал настоящего раздела лишний раз показывает, как трудно добраться до научной истины. То, что именно эквивалентные преобразования являются причиной аварий, поскольку они иногда изменяют свойства решений, и что для предотвращения аварий нужно изучать свойства эквивалентных преобразований – все это было установлено позже и впервые опубликовано в 1987 году, в книге [1].

В этой же книге, а затем и в публикациях [6], [2], [3] были подробно описаны методы дополнительных расчетов, страхующих от аварий, но пользоваться или проектные организации не спешат, а это означает, что причины техногенных аварий хотя и установлены, но пока еще не устранены. А это значит, что аварии и катастрофы, к сожалению, будут продолжаться.

7. Катастрофа аэробуса А-310 над Междуреченском и анализ ее причин

К 1994 году уже были исследованы характерные черты аварий и катастроф, происходящих по причине ошибок в проектировании, порожденных неполнотой привычных методов расчета. Вот эти характерные черты:

1. авария происходит неожиданно, без видимых причин, в самый непредсказуемый момент времени;

2. авария протекает очень быстро, стремительно; управляющие воздействия в системе управления сразу уходят в крайние, предельные значения и могут быстро вызвать необратимые последствия;

3. если аварийная система не разрушилась, а была вовремя отключена – вручную, или системой защиты, то при происходящей через некоторое время проверке системы она может оказаться вполне исправной; все эти своеобразные явления, позволяющие выделить аварии, произошедшие из-за несовершенства, неполноты привычных методов расчета, позволяющие выделить их из аварий, происходящих по другим причинам, подробно обоснованы и проанализированы в книге [2] на стр. 27–28 четвертого издания.

С учетом этих обстоятельств особое внимание привлекает авария аэробуса А-310 29 марта 1994 года над городом Междуреченском, когда погибли все пассажиры и экипаж. Сам аэробус А-310 был спроектирован и изготовлен франко-германской фирмой, но в том роковом полете шел под управлением российского экипажа. Поэтому аварию расследовала международная комиссия, и это позволило узнать об аварии, о том, как она протекала, немного больше, чем обычно. Когда аварии расследуют национальные комиссии, то, как правило, все засекречивается, а в заключении комиссии говорится чаще всего: «виноват человеческий фактор» - и все. Причины такой лаконичности и сокрытия истинных причин заключается в том, что производителям самолетов и авиационной техники очень не хочется признавать ошибки в проектировании и изготовлении самолетов, приведших к гибели людей. Влиятельные производители авиационной техники оказывают мощное воздействие на комиссии – и в результате чаще всего все списывается на «человеческий фактор», на ошибки пилотов, а истинные причины тщательно скрываются.

Про аварию над Междуреченском, благодаря расследованию международной комиссии, нам известно немного больше, тем более, что «черные ящики» погибшего самолета сохранились и были расшифрованы. Исследование записей «черных ящиков» показало, что авария произошла в то время, когда самолет шел под управлением автопилота, в автоматическом режиме. Без видимой причины автопилот стал давать неправильные команды и стали быстро нарастать опасные отклонения крена и тангажа самолета от их нормальных значений. Пока экипаж переходил на ручное управление, отклонения возросли настолько, что ввести их в нормальные рамки уже не было возможности. Аэробус упал и разбился. Все погибли.

Всего через несколько месяцев другой аэробус А-310 летел вблизи Бухареста на автопилоте, в автоматическом режиме. Точно так же, как и над Междуреченском, внезапно стали быстро нарастать отклонения крена и тангажа самолета от нормальных значений. Однако на этот раз пилот сумел быстро отключить автопилот, перешел на ручное управление и успешно выровнял

самолет. После благополучной посадки стали проверять автопилот и всю систему управления самолетом и ко всеобщему удивлению убедились, что она в полном порядке, работает нормально и устойчиво!

Сопоставляя все эти факты, можно сделать вывод о том, что система управления аэробуса А-310 была «особой» системой и в результате оказалась системой с малой областью устойчивости, совсем не соответствующей ее расчетному значению. Поэтому при малом, неизбежном на практике, дрейфе параметров она могла терять устойчивость. Одна потеря устойчивости 22 марта 1994 года закончилась гибелью самолета, экипажа и всех пассажиров, вторая потеря (вблизи Бухареста) благодаря бдительности пилота кончилась благополучно. Пока самолет садился в режиме ручного управления, тот же малый дрейф параметров перевел систему управления, (случайно), в безопасную область и при проверке она оказалась устойчивой (дело в том, что наземная проверка показывает только сам факт – устойчива система или нет; величину запасов устойчивости, а также являются они достаточными, или очень малыми – проверка самого самолета установить не может: необходима очень тщательная проверка всей его проектной документации по методике разработанной в СПбГУ и БГТУ «Военмех»).

Несмотря на всю ясность приведенных фактов, которые говорят о необходимости совершенствования проектирования и расчета самолетов для предупреждения аварий, о необходимости учета недавно открытых новых свойств эквивалентных преобразований, комиссия по расследованию катастрофы ухитрилась все запутать. Представители франко-германской фирмы, изготовившей аэробус, исследуя записи «черных ящиков» установили, что российский командир самолета грубо нарушил летные правила: он пустил своих детей в кабину пилотов и в момент аварии дети находились там. И хотя понятно, что если в момент аварии самолет шел под управлением автопилота, то присутствие детей в кабине пилотов не могло быть причиной аварии, франко-германской стороне в расследующей комиссии удалось сосредоточить все внимание на грубейшем нарушении полетных правил российским командиром самолета. В результате вина оказалась переложеной на Россию и причиной аварии опять (в который раз!) был объявлен «человеческий фактор», нарушение летных правил российским командиром воздушного корабля.

Настойчивость франко-германской стороны и ее заинтересованность в том или ином заключении комиссии понятна: виновная в аварии сторона должна выплатить огромную сумму (примерно 150 миллионов долларов) страховых сумм за самолет и жизни пассажиров. Франко-германская сторона в комиссии сумела настоять на виновности российского экипажа, а российская сторона, к сожалению, с ней согласилась. Огромную сумму (150 миллионов долларов) пришлось уплачивать из бюджета России. И это при том, что в 1994 году в комиссию по расследованию причин катастрофы была послана из Санкт-Петербургского университета докладная записка с подробным анализом истинных причин аварии, с заключением о том, что виновна франко-германская компания, проектирующая и изготавливающая аэробус и не обеспечившая при расчете достаточных запасов

устойчивости. Россия могла не платить 150 миллионов долларов, но она этой возможности не использовала. Докладная осталась без внимания, деньги уплатили.

Изложенный пример хорошо показывает – как расследуются аварии, какие мощные силы влияют на расследование и как трудно, очень трудно, добраться до истины – даже тогда, когда (как например, в аварии над Междуреченском) факты говорят сами за себя.

И, наконец, самое главное: до сих пор в практику проектно-конструкторских организаций очень медленно, входят усовершенствованные методы расчета, учитывающие коварные свойства эквивалентных преобразований (открытые в Санкт-Петербургском государственном университете) и, благодаря их учету, страхующие от аварий, порожденных неполнотой привычных методов расчета.

Неполнота привычных методов расчета не является, разумеется, единственной, или самой часто встречающейся причиной аварий и катастроф. Причин аварий много, со многими причинами трудно и очень дорого бороться. Но тем более странным выглядит нежелание властей России бороться даже с теми причинами аварий, предотвратить которые совсем легко и просто – надо всего лишь немного дополнить привычные методы расчета, дополнить их методикой выявления опасных «особых» объектов и систем.

Речь при этом не идет о коренном изменении привычных методов расчета. Достаточно всего лишь дополнить их небольшими дополнительными проверками – и даже это не делается. Но мириться с этим нельзя. Одно дело, когда авария или катастрофа происходит по неведению, или из-за пока еще непреодолимого несовершенства сегодняшней нашей техники. И совсем другое дело, когда причиной аварий и катастроф становятся инертность, лень, нежелание прислушаться к предупреждениям ученых и провести дополнительные проверки, которые уже предложены и описаны в научной литературе.

Еще большее удивление вызывает бездействие государственных контрольных органов, призванных следить за безопасностью воздушного транспорта.

8. Бездействие власти

Надо отметить, что капитаны морских и воздушных судов очень часто проявляли удивительную беспечность по отношению и к своей, и к чужой жизни. Капитаны были готовы выходить в море или подниматься в воздух на неисправных судах или воздушных аппаратах. Поэтому в еще 18 веке в Англии было создано первое контрольное агентство (агентство Ллойда), которое проверяло исправность всех судов, готовящихся выходить в море.

Без разрешения агентства Ллойда (которое выдавалось только после тщательного и досконального осмотра) судно просто не выпускали в море. С развитием авиации подобные контрольные органы появились и в ней. В России это был Госавианадзор, преобразованный не так давно в Федеральное агентство по надзору в сфере транспорта с отделениями на местах. Так, авиационную безопасность Северо-Запада обеспечивает Северо-Западное управление государственного авиационного надзора (руководитель – Ненюков П.В.). Так что все необходимые организации, следящие за безопасностью и наделенные большими правами, в России есть. Есть у них и право не пускать в небо любой не надежный самолет. Теперь посмотрим, как они работают, как используют свои большие права.

В 2002 – 2003 годах исследования Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ) по совершенствованию методов расчета были подхвачены Балтийским государственным техническим университетом (БГТУ), более известным под своим прежним названием «Военмех». В БГТУ работают опытные специалисты по авиационной технике, которые быстро поняли, какую

грозную опасность для жизней авиапассажиров несет неполнота привычных методов расчета авиатехники, не учитывающих новых свойств эквивалентных преобразований, открытых в СПбГУ. В «Военмехе» была быстро создана рабочая группа, готовая проверить техническую документацию самолетов, для начала – тех, которые эксплуатируются в авиапредприятии «Пулково», выявить среди авиатехники опасные «особые» системы и дать простые рекомендации по устранению опасностей и возможных аварий и катастроф (заметим, что главная трудность заключается в выявлении «особых» систем; если они выявлены, то дальше все просто).

Авиапредприятие «Пулково» не захотело принять рабочую группу из сотрудников «Военмеха» и СПбГУ; не захотело даже встретиться с ней. Вопросы безопасности пассажиров в этом авиапредприятии явно не на первом месте, хотя продавая (за очень хорошие деньги) билеты своим пассажирам предприятие обещает доставить пассажира к нужному месту назначения, а не на кладбище.

Рабочая группа «Военмеха» и СПбГУ в октябре 2004 года обратилась в Северо-Западное управление государственного авиационного надзора, представило все документы, доказывающие необходимость проверки технической документации авиапарка на возможность существования опасных «особых» объектов и просила воздействовать на авиапредприятие «Пулково», потребовать от него провести необходимые проверки. Вместо четкого требования завязалась лишь бесплодная переписка. Не помогло даже официальное письмо проректора «Военмеха» по научной работе О.А.Толпегина. С октября 2004 года по сегодняшний сентябрь 2005 г. прошло 11 месяцев. Прошло – и ничего не сделано! Вот это уже страшно: если государственная организация, главной задачей которой является обеспечение безопасности авиапассажиров, не желает эту задачу решать, не желает использовать свои права, то о какой безопасности может идти речь? Ведь самолет, не проверенный на существование в нем, среди его многочисленного и постоянно обновляемого оборудования опасных «особых» систем и устройств – это, фактически, самолет с возможно заложенной в нем миной (миной в виде «особой» системы, которая – как уже говорилось – может «рвануть» в любой момент). Причем ни авиапредприятия, ни государственный контрольный орган не хотят организовать простую проверку – заложена все же в самолет эта опасная «мина», или она не заложена.

Я вообще не представляю, во что превращается полет пассажира в этих условиях. Лететь – и знать, что самолет не проверен, что в любой самый непредвиденный момент времени «особая» система может потерять устойчивость, а самолет упадет и ты упадешь вместе с ним – от таких мыслей с ума можно сойти за время полета.

Для себя я решил вопрос просто: я дал твердый зарок – ни при каких обстоятельствах не летать самолетом – не летать до тех пор, пока не будут сделаны необходимые проверки, страхующие от аварий. Мне это можно, я всегда могу отказаться лететь и могу ехать поездом. А те, кто не может не летать? А летчики и стюардессы? С какими чувствами и мыслями летать им, летать на самолетах, которые отказались проверить, несмотря на обоснованные предупреждения двух виднейших университетов России?

Особенно непонятна позиция контролирующей организации – Северо-Западного управления государственного авианадзора, которая – вот уже скоро год – не желает выполнять свои обязанности по обеспечению безопасности авиапассажиров. Сравните: если звонит по телефону школьник и говорит: «в Балтийском вокзале заложена мина», то вокзал сразу закрывают и проверяют с собакой до тех пор, пока либо найдут бомбу, либо убедятся, что мины нет. Правильно делают. На опасность надо реагировать быстро. А когда два ведущих и знаменитых государственных университета России – Санкт-Петербургский и Балтийский технический – в официальной докладной, с подписью проректора и печатью – предупреждают: существует опасность для жизни пассажиров, надо срочно проверить техническую документацию – то в ответ на это уже скоро год, как идут отписки, а дела нет; инициативную рабочую группу к проверке не подпускают.

Заметим, что есть примеры и другого стиля работы: когда 02 августа 2005 года при вылете из Турку у самолета Президента России ИЛ-96 обнаружилась неисправность в тормозах, то уже через 20 дней, 22.08.05 Федеральное агентство по надзору в сфере транспорта запретило подниматься в небо всем самолетам типа ИЛ-96 – запретило «до выяснения причин» и до их устранения («Известия» от 23.08.05). Правильно запретило, очень правильно запретило.

Выходит, что когда речь идет о жизни Президента, то Федеральные агентства могут работать быстро, правильно и эффективно. Да, они могут очень хорошо работать. Но вот когда речь идет не о Президенте, а о жизнях рядовых авиапассажиров, то быстрота и эффективность сразу исчезают (хотя – заметим в скобках – исследования, проведенные в СПбГУ и «Военмехе» касаются и жизни Президента. Если среди многочисленного оборудования президентского самолета окажется хотя бы одна опасная «особая» система, которая может отказать в любой момент, то жизнь Президента – в опасности, а летает он много. Причем особо подчеркнем, что против «особых» систем не поможет самое тщательное обслуживание полета, самые лучшие летчики, самое тщательное обследование самого самолета. Выявить «особые» системы может только проверка технической документации, проверка на основе методики, которой не сегодняшний день владеют только в СПбГУ и «Военмехе». Если мы дорожим жизнью Президента России, то такую проверку нужно начинать немедленно).

Отметим еще одну причину, которая промелькнула в словах одного из чиновников, объяснявшего, почему самолеты типа ИЛ-96 сняли с полетов за 20 дней после первого предостережения об опасности, а на предостережения двух ведущих университетов России уже год как не реагируют. Чиновник сказал: «на счет ИЛ-96 нас практики предупреждали, в вы (университеты) – наука, к вам отношение другое».

Да, чиновник прав. В России до сих пор не изжита привычка пренебрежительного отношения к предсказаниям науки. В других странах такое отношение постепенно (не сразу), но изменилось. Вот два примера из английской истории.

В 1845 году английский математик и астроном Джон Адамс предсказал существование восьмой планеты Солнечной системы (до 1845 года было известно

7 планет) и после огромной вычислительной работы предсказал ее положение на небе. Оставалось навести на предсказанное место большой телескоп и увидеть планету (простым глазом и в малую трубу новая планета не видна).

Большой телескоп находился в Англии в ведении директора Королевской обсерватории Эри. Адамс пришел к нему 25 октября 1845 года, не застал его, но оставил записку, где указал небесные координаты новой планеты и просил Эри навести телескоп на указанное место. Вместо этого Эри ответил Адамсу письмом с дополнительными вопросами. Шла переписка. Время шло, телескоп Эри в указанную точку не наводил. А в это время французский астроном Урбен Леверье (не зная о работе Адамса) также вычислил небесные координаты новой планеты, но благоразумно послал свое предсказание не в родную Парижскую обсерваторию, а в Берлинскую. Он, возможно, чувствовал, что «нет пророка в своем отечестве» и лучше обратиться к чужим. В Берлинской обсерватории получили письмо Леверье 23 сентября 1846 года, и в тот же день (точнее, в тот же вечер, как только стемнело), навели телескоп в указанное место – и открыли восьмую планету, которую назвали Нептуном.

Вся слава и почет этого действительно замечательного открытия достались французской науке и, разумеется, лично Леверье. Англия и английская наука – по вине Эри – лишились заслуженной ими славы. Такое и в России не раз случалось и виновные оставались безнаказанными. А вот в Англии Эри крепко досталось – ему пришлось предстать 13 ноября 1846 года перед общим собранием Королевского общества (которое в Англии играет роль нашей Академии наук) и Эри выслушал от него суровое осуждение своего бездействия и невнимания к предсказаниям Адамса.

Другой поучительный случай был в 1870 году. Тогдашние «лорды Адмиралтейства» увлеклись постройкой низкобортных бронированных судов, не учитывая, что для таких судов привычные методы расчета устойчивости по крену уже недостаточны и нужно пользоваться более совершенными методами расчета. Знакомый с этими методами известный кораблестроитель Рид весной 1869 года в своем докладе в Английском обществе корабельных инженеров указал на опасность опрокидывания строящихся тогда судов типа «Кэптен» и настаивал на изменении их конструкции. «Лорды Адмиралтейства» пренебрегли предостережениями Рида, «Кэптен» был построен, ушел в свое первое плавание и во время него, 7 сентября 1870 года был опрокинут налетевшим шквалом, который не нанес вреда остальным десяти более старым высокобортным кораблям эскадры, в составе которой плавал «Кэптен». Из 550 человек его экипажа спаслось только 17 человек. Остальные погибли.

На этот раз был суд над виновными «лордами Адмиралтейства», а главное – Правительство Англии распорядилось, чтобы в главном и самом большом храме Лондона – соборе святого Павла – была вделана в стену бронзовая доска, на которой крупными буквами выгравировали приговор суда, выражавший суровое порицание «невежественному упрямству» тогдашних «лордов Адмиралтейства».

В России подобного приговора «невежественному упрямству» – т.е. собственно, пренебрежению к предостережению науки – не выносилось. Тем более приговора выгравированного «в назидание потомкам» на стене главного храма

столицы страны. Как видим, отношение к науке в России и Англии разное. А вот результат: в 60-е годы 20 века пытались реализовать идею использования для подводных лодок и их торпед перекиси водорода, которая легко отдает кислород и может использоваться для увеличения скорости. Для военных это было заманчиво и опыты начались в России и Англии. Но быстро выяснилось, что перекись водорода – это крайне опасный продукт. Она может разлагаться со взрывом при попадании в нее мельчайших примесей, а на подводных лодках, где царит теснота, уберечь ее от взрыва практически невозможно. Авария со взрывом произошла в Англии. Правительство опросило ученых, те подтвердили: перекись водорода на подводных лодках держать и использовать нельзя. Согласившись с мнением ученых, перекись водорода запретили к использованию на подводном флоте Англии.

В СССР примерно в то же время произошла очень похожая авария со взрывом перекиси водорода на подводной лодке. Но в СССР ученых не опрашивали, а страшную аварию просто засекретили, запретили о ней где-либо говорить. Я сам знаю о ней только потому, что при аварии погиб – в числе остальных – молодой офицер-подводник Николай Первухин, мне хорошо известный. Поэтому применение опаснейшей перекиси водорода в военно-морском флоте СССР и потом – России не было запрещено и в августе 2003 года произошло то, что рано или поздно неминуемо должно было произойти – на подводном ракетносце «Курск» взорвалась торпеда с перекисью водорода. Взрыв погубил сам подводный ракетносец, стоимость постройки которого была много больше миллиарда долларов, погубил и весь экипаж. Никто не спасся..

Но даже эта ужасная катастрофа мало чему научила. Много месяцев подряд во всех средствах массовой информации гуляла совершенно нелепая версия о том, что причиной взрыва стало столкновение «Курска» с таинственной «подводной лодкой НАТО» и если бы не клуб моряков – подводников в Петербурге, то жители России могли бы и не узнать, что истинной причиной гибели «Курска» был взрыв перекиси водорода.

До сегодняшнего дня мне не известно – запрещено применение опаснейшей перекиси водорода на подводном флоте России, или не запрещено. Если не запрещено, то надо ждать следующих неизбежных техногенных катастроф.

Эти примеры еще и еще раз показывают – к каким страшным последствиям приводит пренебрежение к предостережениям науки.

Если граждане России не хотят гибнуть в техногенных катастрофах, они должны уважать науку и слушать ее. И особенно это должны делать представители власти и депутаты: они летают чаще рядовых граждан, им и предстоит первыми гибнуть в авиакатастрофах, предотвращать которые не желают федеральные агентства и инспектора, призванные следить за безопасностью жизни людей. Депутатам надо следить за деятельностью органов власти (и особенно – контролирующих органов), требовать от них исполнения своих обязанностей. А гражданам России на выборах надо выбирать таких депутатов и такие политические партии, которые заботятся о жизни граждан, борются с причинами техногенных катастрофы требуют такой же борьбы от представителей власти.

ЧАСТЬ 2

9. Разъяснение загадок

В предыдущих разделах основной задачей автора было обеспечение доступности изложения. Не использовались никакие математические средства, кроме знакомых каждому по средней школе простейших алгебраических уравнений. При этом, естественно, не удавалось разъяснить некоторые тонкие вопросы: почему, например, аварии, причиной которых является встреча с «особым» объектом, обладают особенными чертами, описанными в параграфе 7 и позволяющими правильно определить причину аварии. Остались, возможно, не до конца понятными (а может быть и загадочными) некоторые другие вопросы.

В настоящей второй части мы разъясним эти загадки, но для понимания их от читателя потребуются – в отличие от первой части – знание математики в объеме технического вуза и, в частности, знакомство с простейшими линейными дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами и методами расчета устойчивости их решений.

Рассмотрим электропривод постоянного тока, математической моделью которого является простое дифференциальное уравнение первого порядка:

$$m \frac{d\omega}{dt} = i - k\omega - M_c, \quad (9)$$

где ω - частота вращения, i - ток якоря, который в регулируемых приводах является управляющим воздействием, M_c - момент сопротивления исполнительного механизма, m - механическая постоянная времени электропривода, численно равная времени его разгона от нулевой частоты вращения до номинальной при номинальном токе якоря и нулевом моменте сопротивления.

Обозначим через x_1, x_2 и x_3 отклонения частоты вращения, тока якоря и момента сопротивления M_c от их номинальных значений, а коэффициент k примем равным $k = 2$. Получим уравнение электропривода «в отклонениях»:

$$m\dot{x}_1 = -2x_1 + x_2 + x_3 \quad (10)$$

Если момент сопротивления используемого механизма является стационарным случайным процессом со спектром

$$S_\varphi = \frac{1}{(\alpha^2 + \omega^2)^2} \quad (11)$$

то для простейшего случая $\alpha = 1$ переменная x_3 и ее производная x_4 будут удовлетворять уравнениям:

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_3 &= x_4 \\ \dot{x}_4 &= -x_3 - 2x_4 \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Система трех дифференциальных уравнений (10)-(12) является математической моделью электропривода как объекта управления. Колебания частоты вращения можно уменьшить за счет регулятора с обратной связью. Пусть в этом регуляторе управляющее воздействие x_2 формируется в функции от остальных переменных по закону:

$$x_2 = -x_1 - 2x_3 - x_4 \quad (13)$$

Тогда система четырех уравнений (10), (12), (13) является математической моделью замкнутой системы управления. Уравнения (10)-(12) типичны для многих электроприводов, а формируя управляющее воздействие в виде (13) мы следуем известным рекомендациям А.М.Лётова. Для удобства дальнейших расчетов мы округлили параметры электропривода до целых чисел, но в целом система уравнений (10), (12), (13) отражает вполне типичную практическую ситуацию.

Исследуем устойчивость этой системы и влияние на устойчивость изменений параметра m - механической постоянной времени электропривода. Если текущее время t , входящее в уравнения (10), (12), (13) измерять в долях механической постоянной времени, то номинальное значение параметра m будет равно единице, но в ходе эксплуатации электропривода возможен, разумеется «дрейф» этого параметра и отклонение его от значения $m = 1$.

Устойчивость замкнутой системы зависит от корней характеристического полинома (т.е. от «собственных значений» системы), а характеристический полином системы (10), (12), (13) равен легко вычисляемому определителю:

$$\det = \begin{vmatrix} m\lambda + 2 & & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda & -1 & \\ 0 & 0 & 1 & \lambda + 2 & \\ 1 & 1 & 2 & 1 & \end{vmatrix} = \quad (14)$$

$$= m\lambda^3 + (3 + 2m)\lambda^2 + (6 + m)\lambda + 3 = (m\lambda + 3)(\lambda + 1)^2$$

Мы убеждаемся, что характеристический полином замкнутой системы имеет три корня (три «собственных значения»): $\lambda_1 = -\frac{3}{m}$; $\lambda_2 = \lambda_3 = -1$ (один из корней - кратный) и эти корни отрицательны для всех m в диапазоне $0 < m < \infty$.

Таким образом, замкнутая система устойчива и сохраняет устойчивость не только при малых, но и при больших отклонениях параметра m от номинального значения $m = 1$.

Решения системы уравнений (10), (12), (13) имеют вид

$$x_1(t) = C_1 e^{-\frac{3}{m}t} + (C_2 t + C_3) e^{-t}, \quad (15)$$

где C_1, C_2, C_3 - постоянные интегрирования. Для x_2, x_3, x_4 формулы аналогичны. Мы убеждаемся, что отклонение x быстро затухает с течением времени. Система устойчива для любых $m > 0$.

Однако момент сопротивления x_3 и особенно его производную x_4 очень трудно непосредственно измерить и ввести в канал обратной связи. Поэтому

целесообразно исключить из уравнения объекта управления и регулятора переменные x_3 и x_4 путем эквивалентных преобразований. Прделав их, придем к уравнениям, (где $D = \frac{d}{dt}$ является символом оператора дифференцирования):

$$[mD^3 + (2 + 2m)D^2 + (4 + m)D + 2]x_1 = (D + 1)^2 x_2 \quad (16)$$

$$[mD^2 + (2 + 2m)D + 5]x_1 = (D + 1)x_2 \quad (17)$$

- уравнение (16) является уравнением объекта управления, уравнение (17) – уравнением регулятора, который на этот раз для формирования управляющего воздействия x_2 использует легко доступную для непосредственного измерения переменную x_1 .

Для исследования устойчивости системы (16)-(17) достаточно найти корни ее характеристического полинома.

И вот здесь исследователей подстерегала трудность, которая надолго задержала правильный ответ о причинах техногенных катастроф, связанных с «аналитически сконструированными» регуляторами и укоротила жизнь А.М.Лётова: если вычислять характеристический полином системы (16)-(17) по общим математическим правилам, как определитель:

$$\det = \begin{vmatrix} m\lambda^3 + (2 + 2m)\lambda^2 + (4 + m)\lambda + 2 & -(\lambda + 1)^2 \\ m\lambda^2 + (2 + 2m)\lambda + 5 & -(\lambda + 1) \end{vmatrix} \quad (18)$$

то он, как легко проверить, будет равен определителю (14) и мы снова должны будем сделать вывод о том, что замкнутая система устойчива и сохраняет устойчивость при «дрейфе» параметра m .

Однако этот вывод будет ошибочен! Дело в том, что объект управления (электропривод) и регулятор – это разные (хотя и расположенные рядом) устройства и «дрейф» их параметров может идти независимо друг от друга, образуя самые причудливые комбинации. Рассмотрим простейший (но возможный) случай: параметры регулятора остались равными номинальным значениям (соответствующим $m = 1$), а в объекте управления механическая постоянная времени немного изменилась. Для анализа устойчивости этого случая надо вычислить определитель:

$$\det = \begin{vmatrix} m\lambda^3 + (2 + 2m)\lambda^2 + (4 + m)\lambda + 2 & -(\lambda + 1)^2 \\ \lambda^2 + 4\lambda + 5 & -(\lambda + 1) \end{vmatrix} = \quad (19)$$

$$= (1 - m)\lambda^4 + (4 - 3m)\lambda^3 + (8 - 3m)\lambda^2 + (8 - m)\lambda + 3$$

Пусть $m = 1 + \varepsilon$, где ε - малое число и можно пренебречь членами с $\varepsilon^2, \varepsilon^3$ и др. Тогда сразу видно, что при $\varepsilon > 0$ замкнутая система неустойчива, в решении системы, кроме членов, отраженных формулой (15), появляется очень быстро растущий четвертый член вида

$$C_4 e^{+\frac{t}{\varepsilon}} \quad (20)$$

а при $\varepsilon \leq 0$ устойчивость сохраняется. Исключение переменных x_3 и x_4 из уравнения (10), (12), (13) при правильном учете реальных связей между «дрейфом» параметров в технической системе является примером эквивалентного

преобразования, изменяющего свойство сохранения устойчивости при дрейфе параметров.

Формула (19) раскрывает еще одно опаснейшее и очень коварное свойство технических объектов, спроектированных по привычным методикам, без учета новых явлений, открытых в СПбГУ: при изготовлении любого технического устройства малые отклонения реальных параметров (а, значит, и коэффициентов математической модели) от расчетных значений неизбежны, но знак этих отклонений не предсказуем. Вполне может оказаться, что реальная величина параметра будет меньше расчетной, т.е. окажется, что $\varepsilon < 0$. Тогда изготовленное устройство окажется устойчивым и нормально работающим. Оно будет иметь малый запас устойчивости – но на испытаниях реального устройства запас устойчивости проверить чаще всего невозможно (обычно рекомендуемое «покачивание параметров» редко помогает – о причинах этого подробно рассказано в [2]). Поэтому изготовленное устройство будет признано хорошим и может быть установлено, например, на самолете как одна из его многочисленных систем. Устройство будет исправно работать не предсказуемое заранее время – до тех пор, пока при неизбежном в ходе эксплуатации «дрейфе» параметров устройство потеряет устойчивость, «пойдет в разнос» и вызовет аварию, которая может перерасти в катастрофу, с гибелью пассажиров и экипажа.

Подобные аварии происходят не каждый день, а несколько реже только потому, что «особые» системы и устройства, для которых привычные методы расчета дают неверные данные о запасах устойчивости, встречаются не очень часто. Но мириться с авариями нельзя, а предотвращать их можно только проверкой технической документации самолетов на основе методов, разработанных в СПбГУ и «Военмехе».

Формулы (19) и (20) иллюстрируют основные черты аварий, произошедших именно по причине неполноты привычных методов расчета, о которых уже говорилось в параграфе 7: благодаря наличию быстро растущего члена (20) в переходном процессе, авария развивается очень быстро; если же она не привела к гибели самолета, то через некоторое время малый «дрейф» параметров может привести к тому, что малое $\varepsilon > 0$ превратится в $\varepsilon < 0$ и устройство снова будет работать нормально (хотя малый запас устойчивости сохранится). Мы убеждаемся, что это те самые особенности, которые проявились у аварий над Междуреченском и Бухарестом, о которых говорилось в параграфе 7.

Мы убеждаемся, что научное исследование разъясняет загадочные особенности аварий, ранее казавшиеся очень странными. Заметим, что при исключении части переменных (широко используемом при «аналитическом конструировании» регуляторов) выход системы на границу устойчивости происходит при любых значениях коэффициентов. Это объясняет, почему в 60-е годы аварии с «аналитически сконструированными» регуляторами происходили так часто. Затем структуру регуляторов изменили и аварии стали реже, но не прекратились совсем. Для полного прекращения опасных аварий, связанных с неполнотой привычных методов расчета, нужно использовать дополнительные проверки, описанные в книгах [1], [2], [7].

10. Существуют ли в математике предрассудки?

Математика считается точной и доказательной наукой, которая опирается на обоснованные определения и строгие доказательства. Поэтому ее теоремы считаются безусловно верными и не подлежащими сомнению. Предрассудкам (т.е. привычным, но ложным представлением) в математике, конечно, не место. Однако проведем научное исследование.

Одной из важнейших теорем математики является теорема о непрерывной зависимости решений систем дифференциальных уравнений от их коэффициентов и параметров. Эта теорема лежит в основе всех инженерных расчетов. Действительно, если непрерывной зависимости решений от коэффициентов и параметров нет, то мы не можем быть уверены в том, что даже сколь угодно малые и поэтому неизбежные на практике отклонения действительных параметров рассчитываемого объекта от расчетных значений не приведут к коренным расхождениям между результатом расчета и реальностью, не можем быть уверены, например, в том, что здание, по расчету обязанное стоять долгие годы (как аквапарк «Трансвааль») неожиданно не обрушится на головы посетителей. Поскольку данная теорема математиками считается доказанной, инженеры верят математикам и опираются на нее в своих расчетах как на незыблемую скалу.

Однако рассмотрим следующую систему двух дифференциальных уравнений (где $D = \frac{d}{dt}$)

$$\begin{aligned} [mD^3 + (2 + 2m)D^2 + (4 + m)D + 2]x_1 - (D + 1)^2 x_2 &= 0 \\ (D + 1)x_2 - (D^2 + 4D + 5)x_1 &= 0 \end{aligned} \quad (21)$$

Эта система, как уже говорилось в предыдущем разделе, описывает процессы в системе, состоящей из электропривода постоянного тока и регулятора с постоянными коэффициентами. Характеристический полином этой системы равен определителю (19), а мы уже убедились в параграфе 9, что в точке $m = 1$ характер корней характеристического полинома и характер решений системы резко меняются. Если $m = 1 + \varepsilon$, где ε - малое число и $\varepsilon < 0$, то в решении присутствуют только экспоненциально убывающие члены, если же малое $\varepsilon > 0$, то в решении появляются стремительно растущие члены вида (20). Непрерывной зависимости решений от параметра m у системы (21) нет. При $m = 1$ эта зависимость терпит разрыв. Отметим, что подобных систем дифференциальных уравнений, не имеющих непрерывной зависимости решений от коэффициентов и параметров, довольно много. Примеры приведены в книге [2].

Из этих примеров следует, что одна из важнейших математических теорем не верна. Может ли такое быть? Многие математики заявляли – нет, такого быть не может! Теорема приводится во многих авторитетных учебниках, не могут все они ошибаться.

Да, теорема о непрерывной зависимости решений от параметров приведена – и причем с доказательством – во многих университетских учебниках. Примеры:

1. в учебнике для университетов: Степанов В.В. Курс дифференциальных уравнений. М., ГИТТЛ, 1953, 468 с., эта теорема рассмотрена на стр. 298-307.
2. в учебнике: Матвеев Н.М. Методы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений. М., Высшая школа, 1967, 564 с., теорема рассмотрена на стр. 259-267.
3. в учебнике: Арнольд В.И. Обыкновенные дифференциальные уравнения. М., Наука, 1975, 239 с., теорема рассмотрена на стр. 186-204.
4. в учебнике: Матвеев Н.М. Обыкновенные дифференциальные уравнения, СПб, Специальная литература, 1996, 371 с., теорема рассмотрена на стр. 313-316.

Но – обратите особое внимание – во всех учебниках она доказана лишь для двух частных случаев: для системы из n уравнений первого порядка и для одного уравнения n -ого порядка. Для всех других многочисленных систем – как, например, для системы (21), которая состоит из уравнения третьего порядка для переменной x_1 и уравнения первого порядка для x_2 - теорема не доказана. Да, почти любую систему, состоящую из уравнений различных порядков, можно путем эквивалентных преобразований свести к системе из n уравнений первого порядка, для которой теорема доказана. Но для того, чтобы из этого вытекала

верность теоремы для всех систем, необходимо доказать, что эквивалентные преобразования не меняют никаких свойств решений. А этого никто и никогда не доказывал (и не мог доказать – в книгах [1], [2], [3]) приводились все новые и новые примеры того, как эквивалентные преобразования меняли все новые и новые свойства решений – надо лишь внимательно исследовать; ищите и найдете).

Таким образом, мы убеждаемся, что одна из важнейших и известнейших математических теорем основана не на доказательстве, а на предрассудке – на привычном, но ложном убеждении большинства математиков в том, что эквивалентные преобразования якобы «ничего не меняют». Я опрашивал многих – и выпускников университетов, и их преподавателей: «как по Вашему – верна ли теорема о непрерывной зависимости для всех систем уравнений?» Все дружно отвечали: «да, верна. Верна потому, что для систем из n уравнений первого порядка в учебниках дано доказательство, а остальные системы приводятся к ним путем эквивалентных преобразований, которые «ничего не меняют»».

Мы убеждаемся, что предрассудки существуют и в математике и предрассудки далеко не безобидные, поскольку они оказываются потом причиной многих техногенных катастроф с гибелью людей. И когда в книгах [1], [2], [3] опровергаются некоторые привычные положения и методики, то это не означает, что опровергаются какие-либо доказанные теоремы. Нет, они не опровергаются, а просто показывается необоснованность ставших привычными предрассудков. И в этом нет ничего страшного.

Наоборот, устранение предрассудков очень полезно для науки России для ее граждан, поскольку позволит избавиться от некоторых источников техногенных катастроф. Вероятность аварий и катастроф станет меньше.

А теперь идет самое интересное: посмотрите внимательно – как, каким образом формулируется теорема о непрерывной зависимости решений от параметров во всех перечисленных мною учебниках – от В.В. Степанова до В.И. Арнольда. Ни в одном из них не сказано: «теорема верна для всех систем уравнений, поскольку для систем из n уравнений первого порядка доказательство приведено, а остальные системы приводятся к ней эквивалентными преобразованиями». Это положение не высказано, оно «домысливается» преподавателями, а за ними – и студентами, слушающими лекции. Почему избран такой странный стиль изложения с необходимостью «домысливания»? Здесь можно высказать только догадку, или – как говорят «детективы» - версию. Вот эта версия: уважаемые авторы учебников понимали желательность дать доказательство этой важнейшей теоремы для всех систем – а не только состоящих из n уравнений первого порядка. Они пытались найти такое доказательство, но у них ничего не получилось. Теперь мы знаем, что получиться и не могло, поскольку в общем случае теорема (как показано в [2]) – не верна. Тогда они предпочли формулировку с необходимостью «домысливания», рассуждая (возможно) следующим образом: если теорема в дальнейшем будет доказана для всех систем, то «домысливание» окажется правильным и все будет в порядке. Если же теорема в общем виде будет опровергнута, то мы, авторы учебников, чисты: у нас сформулировано лишь верное утверждение о системах, состоящих из n уравнений первого порядка, а за «домысливание» мы не отвечаем.

Хотя это только «версия», но возможно, что так все и было.

11. Опасные ошибки, обнаружившиеся в популярных пакетах

В последние годы для различных расчетов все шире используются популярные пакеты прикладных программ – пакеты MATLAB, Mathcad и многие другие. В ходе исследования проведенного в СПбГУ, в этих пакетах были обнаружены ошибки. Эти ошибки можно исправить и их очень нужно исправить, поскольку на основе этих пакетов производятся миллионы расчетов, в том числе и очень ответственных расчетов, поэтому цена ошибки может быть велика, ценой может стать техногенная катастрофа. Рассмотрим эти ошибки.

1. При численном решении систем дифференциальных уравнений первым этапом решения во всех этих пакетах является приведение исходной системы к системе n уравнений первого порядка путем эквивалентных преобразований. На втором этапе отыскивается решение преобразованной системы. Данный подход имеет под собой серьезные основания – он позволяет самые разнообразные системы уравнений решать одной программой. Если же первый этап пропустить, то пришлось бы создавать множество программ – потребовались бы например отдельные программы для системы, состоящей из одного уравнения третьего порядка и одного – первого порядка и для системы, состоящей из двух уравнений второго порядка и вообще потребовалось бы множество программ. Порядок, принятый в популярных пакетах, гораздо удобнее – но он приводит к ошибкам при встрече с «особыми» системами, например – с системой (21) при $m = 1$.

Пакет MATLAB приведет эту систему к системе уравнений первого порядка, выдаст ее решение и не заметит, что это решение не имеет смысла, поскольку даже сколь угодно малое, а значит – неизбежное на практике отклонение параметра m от расчетного значения $m = 1$ приведет к коренному расхождению между результатами расчета и реальным поведением объекта и это может стать причиной аварии и даже катастрофы.

Для того, чтобы не получилось подобных ошибок с возможными трагическими последствиями нужно популярные пакеты прикладных программ дополнить совсем небольшими вспомогательными программами, которые выделят и отсекут «особые» системы уравнений и выделяют соответствующие этим системам опасные объекты. Эти опасные объекты следует перепроектировать, изменить их структуру или параметры – изменить так, чтобы математическая модель проектируемого и рассчитываемого объекта перестала быть «особой». Тогда и аварий не будет. Все эти вопросы – и ошибки в пакетах, и методы предотвращения ошибок в расчетах – более подробно рассмотрены в книге [7].

2. Многочисленные расчетные алгоритмы, использующие цепочки эквивалентных преобразований, реализуемые в популярных прикладных программ, могут привести к ошибкам, если хотя бы одно из использованных преобразований изменит чувствительность решений к малым погрешностям округления. Более подробно о возникающих ошибках и несложных методах их предотвращения рассказано в работах [7], [8].

Заключение

Я надеюсь, что читатели поняли, какую важную роль играет наука в расследовании причин техногенных катастрофы в устранении этих причин. Если читателю что либо осталось непонятным, то он может обратиться к книгам [2], [3], [7], где все изложено подробно. Третье издание книги [2] имеется в Интернете на сайте www.petrov1930.narod.ru

Литература, на которую делались ссылки в тексте

1. Петров Ю.П. Синтез оптимальных систем управления при не полностью известных возмущающих силах. Издательство Ленинградского Университета, 1987, 289 стр.
2. Петров Ю.П., Петров Л.Ю. Неожиданное в математике и его связь с авариями и катастрофами последних лет. Первое издание – 1999 г. 108 стр., Четвертое издание, дополненное – 2005 г. 224 стр. Издательство «БХВ – Петербург»
3. Петров Ю.П., Сизиков В.С. Корректные, некорректные и промежуточные задачи с приложениями. Издательство «Политехника», Санкт-Петербург, 2003 г. 261 стр.
4. Летов А.М. «Аналитическое конструирование регуляторов» «Автоматика и телемеханика. 1960, №4, стр. 436-441, №5, стр. 561-568, №6, стр. 661-665.
5. Надеждин П.В. «О потере грубости при элементарных преобразованиях дифференциальных уравнений управляемых систем» «Автоматика и телемеханика», 1973, №1, стр. 185-187.
6. Петров Ю.П. «Устойчивость линейных систем при вариациях параметров» «Автоматика и телемеханика» 1994, №11, стр. 186-189.
7. Петров Ю.П. Новые главы теории управления и компьютерных вычислений. Издательство «БХВ – Петербург», 2004 г., 192 стр.
8. Чертков К.Г. «Исследования чувствительности к погрешностям округления собственных значений линейных систем» Тула, Известия Тульского Государственного Университета, 2002, стр. 138-140

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	2
ЧАСТЬ I	3
1. Катастрофа аквапарка «Трансвааль»	3
2. Расследование, проведенное органами юстиции	4
3. Исторический пример	6
4. Научное расследование причин катастроф. Открытие «особых» объектов и систем	8
5. Следствия. Методы предотвращения катастроф	11
6. Трагедия Александра Михайловича Лётова	12
7. Катастрофа автобуса А-310 над Междуреченском и анализ ее причин	14
8. Бездействие власти	17
	ЧАСТЬ II
	21
9. Разъяснение загадок	21
10. Существуют ли в математике предрассудки?	25
11. Опасные ошибки, обнаружившиеся в популярных пакетах прикладных программ (MATLAB, Mathcad и другие). Методы предотвращения ошибок	28
	Заключение
	29
Литература, на которую делались ссылки в тексте	30