

Ю. П. Петров

РАССЛЕДОВАНИЕ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ КАТАСТРОФ

НАУЧНЫЙ ДЕТЕКТИВ

**Катастрофы последнего
времени и их расследование**

**Научное расследование
причин катастроф**

**Методы предотвращения
катастроф**

**Материалы
и документы**



Юрий Петров

**РАССЛЕДОВАНИЕ
И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ
ТЕХНОГЕННЫХ
КАТАСТРОФ**

НАУЧНЫЙ ДЕТЕКТИВ

Санкт-Петербург

«БХВ-Петербург»

2007

УДК 681.3.06
ББК 32.973
ПЗ0

Петров Ю. П.

ПЗ0 Расследование и предупреждение техногенных катастроф. Научный детектив. — СПб.: БХВ-Петербург, 2007. — 112 с.: ил.

ISBN 5-9775-0037-8

В книге рассказывается о знаменитых авариях и катастрофах, происходивших как в прошлом, так и в последние годы (таких как гибель подводной лодки "Курск", обрушение аквапарка "Трансвааль", катастрофы пассажирских самолетов и др.). Рассказано о методах расследования (и особенно — научного расследования) причин техногенных катастроф и о нелегкой борьбе за их предотвращение.

Для широкого круга читателей

УДК 681.3.06
ББК 32.973

Группа подготовки издания:

Главный редактор	<i>Екатерина Кондукова</i>
Зам. главного редактора	<i>Татьяна Лапина</i>
Зав. редакцией	<i>Григорий Добин</i>
Редактор	<i>Татьяна Лапина</i>
Компьютерная верстка	<i>Натали Каравасовой</i>
Корректор	<i>Виктория Пиотровская</i>
Дизайн обложки	<i>Инны Тачиной</i>
Зав. производством	<i>Николай Тверских</i>

Лицензия ИД № 02429 от 24.07.00. Подписано в печать 30.10.06.

Формат 70×100¹/₁₆. Печать офсетная. Усл. печ. л. 9,03.

Тираж 1500 экз. Заказ №

"БХВ-Петербург", 194354, Санкт-Петербург, ул. Есенина, 5Б.

Санитарно-эпидемиологическое заключение на продукцию
№ 77.99.02.953.Д.006421.11.04 от 11.11.2004 г. выдано Федеральной службой
по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека.

Отпечатано с готовых диапозитивов
в ГУП "Типография "Наука"
199034, Санкт-Петербург, 9 линия, 12

ISBN 5-9775-0037-8

© Петров Ю. П., 2007
© Оформление, издательство "БХВ-Петербург", 2007

Оглавление

Предисловие.....	1
ЧАСТЬ I.....	3
§ 1. Катастрофа на Чернобыльской АЭС.....	5
§ 2. Катастрофа аквапарка «Трансвааль».....	8
§ 3. Расследование, проведенное органами юстиции.....	10
§ 4. Исторический пример.....	13
§ 5. Научное расследование причин катастроф. Открытие «особых» объектов и систем	18
§ 6. Следствия. Методы предотвращения катастроф.....	23
§ 7. Трагедия Александра Михайловича Лётова.....	27
§ 8. Катастрофа автобуса А-310 над Междуреченском и анализ ее причин.....	30
§ 9. Бездействие власти.....	35
ЧАСТЬ II	41
§ 10. Разъяснение загадок.....	43
§ 11. Существуют ли в математике предрассудки?	49

§ 12. Опасные ошибки, обнаруженные в популярных пакетах прикладных программ (MATLAB, Mathcad и других).	53
Методы предотвращения ошибок	53
ЧАСТЬ III.....	61
§ 13. Борьба за безопасность авиапассажиров и за предотвращение авиационных катастроф.....	63
§14. Документы	71
Пояснительная записка	73
Докладная	75
Обеспечена ли безопасность авиапассажиров?	79
Проект	89
Докладная	91
§ 15. Заключение	94
§ 16. Дополнение. Катастрофы последнего времени и их расследование	98
Список литературы	103

Предисловие

Человек всегда боялся природных катастроф — землетрясений, наводнений, бурь и ураганов. В последние десятилетия главной опасностью для человека стали аварии и катастрофы техногенные — т. е. порожденные техникой, окружающей человека.

Современная техника вездесуща, мощна и многообразна. Но тем страшнее последствия аварий, катастроф, причиной которых служат ошибки и неточности тех, кто создает современную технику, и тех, кто ее эксплуатирует.

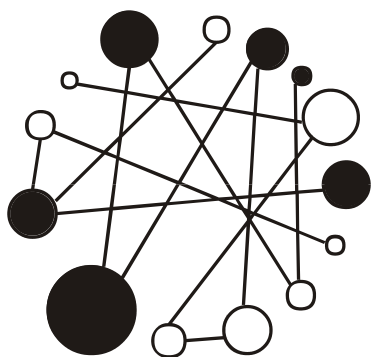
В отличие от природных катастроф, в отличие от катастроф, порожденных землетрясениями, наводнениями и другими грозными природными явлениями, техногенные катастрофы предотвратимы. Они возникают только там, где человек, создающий и эксплуатирующий технику, делает ошибки. Этих ошибок вполне можно избежать, но жизнь показывает, что ошибки множатся и число жертв техногенных катастроф с каждым годом, с каждым новым десятилетием не уменьшается, а растет. И происходит это от того, что причины аварий и катастроф далеко не всегда тщательно и добросовестно расследуются, и слишком мало делается для их предотвращения. В результате жизнь современного человека, постоянно находящегося в контакте с окружающей его техникой, находится в серьезной опасности.

В предлагаемой вниманию читателя книге рассказывается об интересной и драматической истории расследования ряда знаменитых техногенных катастроф — как тех, что происходили в прошлом, так и тех, память о которых еще свежа. Будет рассказано как о расследованиях, проводимых правоохранительными органами, прокурорами и следователями, так и о научных расследованиях. Основной упор в книге сделан на научных расследованиях, поэтому данную книгу можно рассматривать как «научный детектив». Детективы всегда привлекают внимание читателей. Действительно, что может быть интереснее, чем следить за «дуэлью умов», за состязанием следователя («детектива») и преступника. Я надеюсь доказать, что и научное расследование

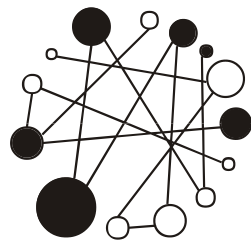
может быть не менее интересным и захватывающим, а что касается значимости, то на сегодняшний день вероятность погибнуть от техногенной аварии или катастрофы во много раз больше, чем вероятность погибнуть от руки преступника или террориста. И эта вероятность будет все время возрастать, потому что у нас в России нет уважения к науке и все еще очень мало делается для предотвращения техногенных аварий. В книге будет рассказано о борьбе (и борьбе не всегда успешной) по предотвращению техногенных аварий и катастроф. Читатель увидит, что эта борьба очень не легка и далеко не всегда заканчивается успехом. А не всегда заканчивается успехом потому, что очень трудно преодолеть людскую косность, преодолеть неуважение к науке, проявившееся в последнее десятилетие в нашей стране, преодолеть косность и безразличие к своей и чужой жизни наших граждан, давно отвыкших от активной гражданской позиции. Да, многие десятилетия в нашей стране активная позиция была опасна, очень опасна. Сейчас опасности нет — а привычка осталась. Зная эту привычку, чиновники уверены в своей безнаказанности и не хотят — как будет показано в книге — исполнять свои обязанности по предотвращению техногенных катастроф.

Уважаемый читатель! Я уверен, что ты дорожишь своей жизнью и жизнью своих детей. Прочитав книгу, ты лучше узнаешь, какие опасности угрожают твоей и их жизням и как можно эти опасности предотвратить.

Книга состоит из трех частей. Для понимания первой (основной) части не требуется знаний, выходящих за пределы средней школы. Небольшая вторая часть рассчитана на читателей, желающих более детально разобраться с проблемами расследования и предотвращения техногенных катастроф, поднятыми в части первой. В третьей части — с приложением всех документов — рассказано о конкретной истории борьбы за предотвращение авиационных катастроф, которую вели Санкт-Петербургский государственный университет и Балтийский государственный технический университет «Военмех».



ЧАСТЬ I



§ 1. Катастрофа на Чернобыльской АЭС

Наиболее известной из техногенных (т. е. «порожденных техникой») аварий и катастроф является произошедшая в 1986 году знаменитая катастрофа на Чернобыльской атомной электростанции, расположенной недалеко от Киева. В результате целой серии ошибок персонала, эксплуатировавшего станцию, взорвался один из ее реакторов мощностью в миллион киловатт.

В результате взрыва и пожара в воздух было выброшено несколько десятков тонн высокорadioактивных материалов, которые образовались в реакторе за время его работы. Часть этих материалов упала вблизи электростанции и сильно заразила и ее, и ее окрестности, а часть выброшенного материала расплылась в мельчайшую пыль и разнеслась ветрами на огромные расстояния. Уже через несколько дней радиация была обнаружена в Швеции и Норвегии, потом она вместе с атмосферными потоками пересекла Атлантический океан, достигла Гренландии, Канады и США. Затем радиоактивная пыль стала «вымываться» из атмосферы дождями и оседать на землю — оседать очень неравномерно. Образовались опасные «радиоактивные пятна» во многих областях Украины, Белоруссии и юга России. Население, проживавшее в этих «радиоактивных пятнах», стали переселять в более безопасные места. Огромный труд был затрачен на уменьшение уровня радиации вокруг атомной электростанции. Над разрушенным взрывом реактором был создан непроницаемый бетонный «саркофаг», зараженная радиацией земля вокруг атомной станции была снята и отвезена в отдаленные хранилища.

Всего над ликвидацией последствий Чернобыльской катастрофы работало 400 тысяч человек «ликвидаторов» — солдат и гражданских специалистов, призванных из запаса. Многие из них в ходе работы получили опасные дозы радиации и стали инвалидами, многие умерли. Точных и бесспорных цифр пострадавших и погибших нет до сих пор. Разные лица и организации называют разные цифры. И это не случайно.

Действительно, наиболее характерной чертой Чернобыльской катастрофы — как, впрочем, и всех других аварий и катастроф, происходивших в СССР, примерно до 1990 года была необычайная секретность. По законам СССР все сведения об авариях — и катастрофах являлись государственной тайной, и за разглашение ее можно было поплатиться многими годами тюрьмы.

Высшее руководство СССР вообще собиралось скрыть Чернобыльскую катастрофу и ничего о ней не говорить. И только необычайный масштаб катастрофы, а главное — перелетевшие границы СССР облака радиоактивной пыли, замеренные приборами чужих государств, заставили частично приоткрыть завесу секретности. Но полного, гласного, откровенного обсуждения не произошло. Часть важных сведений скрывалась, часть — преувеличивалась средствами массовой информации и порождала у населения страх, стресс и паническую боязнь радиации. Как потом было подсчитано, от стрессов и порожденных стрессами болезней умерло больше людей, чем непосредственно от радиации.

Подводя итог, можно сказать, что главной опасностью для граждан Советского Союза была не радиация, а секретность. Последствия всеобщей, всеобъемлющей секретности, процветавшей в СССР, преодолеваются медленно. Только в 2005 году вышла, например, книга Владислава Ларина «Русские атомные акулы», издательство «КМК». На 380 страницах большого формата В. Ларин рассказывает о десятках аварий, происходивших в 1955—1990 годах с атомными силовыми установками подводных лодок Советского Союза. Поскольку в те годы было построено более 250 атомных подводных лодок, а большинство лодок имело по два реактора, то реакторов было много, очень много было и аварий. Одна из аварий была очень похожа на Чернобыльскую — сначала потеря управления реактором, затем — его взрыв с большим выбросом радиации. Но, поскольку реактор подводной лодки примерно в 20 раз меньше Чернобыльского реактора, то радиоактивная пыль не разлетелась так далеко, и аварию — несмотря на большое число жертв — удалось скрыть и на много лет засекретить. А если вместо засекречивания ее бы подробно проанализировали, то и Чернобыльской катастрофы — очень похожей — могло бы не быть.

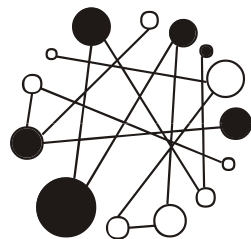
Иногда говорят — а так ли уж опасна секретность? Ведь лица, стоящие у власти, доступ к секретным документам имеют, а простым людям надо ли знать? Спокойнее спать будут.

Но вот эпизод из грозного 1941 года. Идет месяц октябрь, немецкая армия прорвала наш фронт и быстро движется на Москву. Срочно нужны резервы. В Генеральный штаб прибывает представитель от Карелии. «Да, мы можем выделить для обороны Москвы хорошую боевую дивизию. Без нее мы справимся,

берите!» Начальник Генерального штаба маршал Шапошников устало вздыхает: «Единственная железная дорога в Карелию недавно перерезана финской армией, а походным порядком дивизию передвигать бесполезно — она безнадежно опоздает». Представитель Карелии удивленно отвечает: «Еще два года назад мы построили железную дорогу Сорока — Обозерская. По ней можно в кратчайший срок перебросить нашу дивизию под Москву. Да, дорога секретная, но в Генеральный штаб мы еще два года назад все доложили». Этот эпизод не случаен. Надо помнить, что секретные сведения всегда менее легко доступны, чем открытые, и в результате — как показывает рассказанный эпизод — даже начальник Генерального штаба может не знать о них или забыть. Немцы, кстати, об этой дороге знали, да и невозможно скрыть железную дорогу длиной более 200 километров. Так что излишняя секретность вредила прежде всего нам, а не врагу.

После 1990 года всеилие секретности уменьшилось, но остались другие причины, затрудняющие беспристрастное расследование аварий и катастроф. Почти при любом расследовании те, кто проектировал потерпевший аварию объект, стараются переложить вину на тех, кто его эксплуатировал, эксплуатировавшие — на проектировщиков, а все вместе очень любят объявить причиной «человеческий фактор». Особенно часто это происходит в авиации и на флоте, и особенно — когда пилот или капитан гибнут. Тогда их с особым удовольствием объявляют виновниками аварии. Все эти причины затрудняют расследование, а пока остается не выясненной причина аварии, она легко может повториться вновь и вновь.

В следующем разделе будет рассказано о катастрофе, которая по ряду причин расследовалась долго и относительно тщательно.



§ 2. Катастрофа аквапарка «Трансвааль»

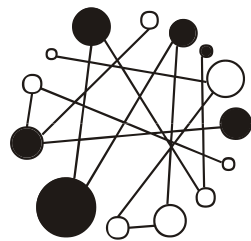
14 февраля 2004 года Москва была потрясена ужасной катастрофой: обрушилась крыша аквапарка (водного парка) «Трансвааль». Погибло 27 человек, в том числе дети, 113 человек получили различные травмы.

Аквапарк «Трансвааль», расположенный на окраине Москвы, был одним из любимых 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 мхурую 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 о юстиции, и о науке.



§ 3. 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 ни 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 чересчур!

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. Взял 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

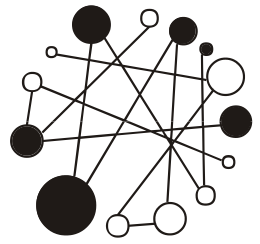
руководителю Московской государственной экспертизы Анатолию Воронину (газета «Известия», 29.06.05). Его обвинили в том, что он в 2001 году дал разрешение на замену первоначально намечавшейся алюминиевой крыши аквапарка на ребристую железобетонную и эта замена стала (по мнению следствия) причиной аварии. 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 опытный 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.

Вот одна из последних новостей: 05 августа 2006 года было объявлено, что Н. В. Канчели амнистирован — в связи с амнистией, объявленной Государственной Думой.

Н. В. Канчели подпал под амнистию как гражданин, достигший пенсионного возраста. Но амнистия — это не реабилитация, и поэтому в расследовании катастрофы аквапарка «Трансвааль» окончательная и бесспорная точка еще не проставлена.

Возможно, поможет прояснить причины странностей исторический пример, который мы сейчас расскажем. Со дня описанных в нем 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 судить только по аналогии.



§ 4. Исторический пример

Рассказ об одном из научных исследований 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 удалось. 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 обра-

зование), 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 опынейший 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.

Перед тем как перейти к изложению современных научных методов расследования, напомним еще один интересный исторический пример — научное расследование, которое в 1935 году произвел известный американский ученый-физик Роберт Вуд (1868—1955), почетный член Академии наук СССР с 1930 года. Началось это расследование с таинственного и трагичного несчастного случая, а следствия проведенного Вудом научного расследования оказались очень велики.

Зимой 1935 года в Балтиморе (город в США) молодая девушка Эмилия Бриско подошла к топящейся печке и открыла ее дверцу, чтобы посмотреть, хорошо ли горит. Затем вся семья услышала звук, похожий на слабый выстрел и мисс Бриско воскликнула: «Меня что-то укололо!» Когда к ней подбежали, она стояла перед открытой дверцей печки и в ужасе повторяла: «Это было вроде сильного укуса. Что-то ударило меня вот здесь!» На теле было видно лишь маленькое красное пятнышко. Все удивились, собирались помазать его йодом и вызвать врача. Но к общему ужасу девушка упала и через три минуты умерла.

Вскрытие показало, что внутренние ткани груди были сильно разорваны, оказалась перерезанной большая артерия — и все это сделал вонзившийся

в грудь совсем маленький кусочек меди — размером не больше виноградного зернышка. Но для того, чтобы столь мизерный кусочек металла мог пробить кожу, мышцы и артерию, он должен был обладать огромной скоростью — не меньше 1800 метров в секунду. Какая же сила разогнала его до такой скорости, если даже лучший порох в сильной винтовке с длинным стволом не разгоняет пулю до скорости больше 800 метров в секунду? Все это долгое время было загадкой, и Р. Вуд разгадал ее не сразу. Он обратил внимание на то, что практики-взрывники стали делать на медном торце детонатора, подрывающего динамитный патрон, небольшое углубление в виде маленькой полусферы, которое сразу усиливало резкость взрыва динамита. Причин такого эффекта практики-взрывники не понимали, но эффект был полезен, и им пользовались.

За исследование причины эффекта взялся Р. Вуд. Он обнаружил, что при подрыве взрывчатого вещества детонатора оно сжимает медную оболочку к центру полусферы и металл, оказавшийся в центре углубления, вылетает наружу в виде очень тонкой струи с огромной скоростью. Эта струя пронизывает динамитный патрон на всю его длину, вызывая резкий и эффективный взрыв. Эта же струя погубила мисс Бриско, а потом застыла в ее груди в виде маленького медного зернышка. А роковой детонатор в печку попал случайно, вместе с засыпанным в нее углем.

Когда стали исследовать подробнее, то оказалось, что в те годы в США за год происходило от трехсот до четырехсот несчастных случаев с детонаторами, из которых многие — со смертельным исходом. После исследований и предостережений Р. Вуда причину несчастных случаев поняли, приняли меры, число пострадавших сильно сократилось. Сотни человеческих жизней были спасены. Следует ли упоминать, что предостережения ученого были выслушаны внимательно и меры были приняты незамедлительно? Для культурной страны иначе и быть не может. В России, к сожалению, пока еще все совсем не так. Предостережений ученых не слушают.

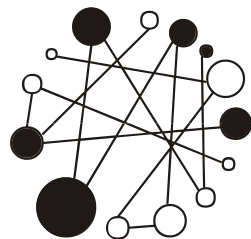
Но этим дело не ограничилось. После расследования Р. Вуда явление выброса при взрыве летящей с огромной скоростью струи получило название «кумулятивного эффекта», стало интенсивно исследоваться и получать практическое применение. После начала в 1939 году Второй мировой войны «кумулятивный эффект» получил военное применение и послужил основой для самого эффективного противотанкового оружия пехоты американской армии — знаменитой «базуки». По сути дела «базука» — это просто небольшой реактивный гранатомет, выстреливающий на дальность до 450 метров четырехкилограммовую гранату с зарядом особой формы, создающей кумулятивный эффект. Благодаря ему граната легко прожигала танковую броню,

и когда в марте 1943 года высадившаяся в Северной Африке американская армия встретилась с немецкими танками, успех был на ее стороне.

Если бы исследования «кумулятивного эффекта» были бы развернуты в СССР, то в 1941 году немецкие танки были встречены не бутылками с бензином, а эффективным оружием, и начало Великой Отечественной войны было бы совсем иным.

Все рассмотренные примеры показывают, что для расследования и предотвращения техногенных несчастных случаев, а особенно — аварий и катастроф — плодотворны прежде всего научные методы.

К научному расследованию причин недавних техногенных аварий и катастроф мы перейдем в следующем разделе.



§ 5. Научное расследование 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 из 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 и 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.

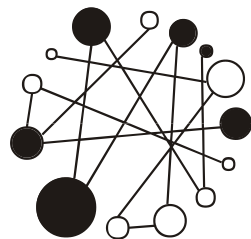
А теперь (внимание!) исследуем корректность решения той же задачи до эквивалентных преобразований. Обратимся к исходным уравнениям (1) и (2) и посмотрим, что будет, если, например, коэффициент при λ^2 в уравнении (1) изменится на 1% и станет равным 1,98, а система (1)-(2) перейдет в систему:

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

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

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].



§ 6. 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 катастрофам и 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] (применительно к задачам строительной механики — в статье [12]). 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 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.

Не спешат они и проверить еще раз расчеты уже возведенных зданий и сооружений. Между тем — пользуясь методикой, изложенной в уже упомянутых книгах — можно было проверить — нет ли среди возведенных зданий «особых» объектов, для которых расчеты запасов устойчивости, выполненные традиционными методами, ненадежны. Если бы «особые» объекты были выявлены, то можно было принять срочные меры. Но этого не было сделано, несмотря на то, что книги [1, 2, 3] были изданы довольно большими тиражами и вполне доступны для инженеров.

В результате в первом квартале 2006 года произошла целая серия аварий и катастроф:

1. 03 января 2006 года в Германии, в земле Бавария рухнула крыша катка. Погибло 11 человек.
2. 27 января 2006 года в Польше в городе Катовицы обрушилась крыша универсама, погибло 67 человек.
3. 23 февраля 2006 года в Москве обрушилась крыша Басманного рынка, погибло 56 человек.
4. 20 марта 2006 года рухнула крыша недостроенного торгового центра в Ярославле.
5. 31 марта 2006 года рухнула крыша построенного в 2005 году катка «Охтпарк» во Всеволожском районе Ленинградской области.

В качестве основной причины всех пяти перечисленных аварий выдвигалось скопление снега на крышах, которые рухнули под его тяжестью. Действительно, во второй половине зимы 2005—2006 годов снега было больше, чем в предыдущие годы. Но «больше» не означает — «катастрофически больше». Крыши зданий и сооружений, подверженных действию снега, рассчитываются на экстремальные снеговые нагрузки, рассчитываются на такое большое количество снега, которое выпадает один раз в 50—100 лет. А такого необычно большого, чрезвычайного, выпадения снега в 2006 году заведомо не было. Снега выпало много, но в пределах расчетных снеговых нагрузок — тех нагрузок, на которые здания были рассчитаны. А раз они рухнули, то это означает, что истинная прочность и устойчивость зданий оказалась много меньше расчетной — т. е. расчеты оказались не верны, хотя и производились грамотными инженерами. Очень мала вероятность того, что во всех пяти перечисленных случаях аварий инженеры допустили в расчетах элементарные ошибки, или же строители и те, кто эксплуатировал здания, далеко отступили от проектных решений.

Наиболее вероятное объяснение серии аварий 2006 года состоит в неполноте традиционных методов расчета, не учитывающих недавно открытых в СПбГУ новых свойств эквивалентных преобразований, описанных в книгах [1, 2, 3]. Это привело к тому, что истинная прочность зданий оказалась существенно ниже расчетной, и в результате снегопада 2006 года — снегопады большие, но совсем не экстремальные, не опасные при правильном расчете — привели к целой серии аварий и катастроф.

И совсем не случайным является то, что аварии затронули здания и сооружения, спроектированные и построенные в последние десятилетия. Дело в том, что в прежнее время, когда расчеты проводились вручную, интуиция опытных инженеров частично восполняла недостатки расчетных алгоритмов, не учитывающих новых свойств эквивалентных преобразований, недавно открытых в СПбГУ. Интуиция, опирающаяся на многолетний опыт работы, часто предостерегала инженеров об опасных свойствах «особых» объектов, хотя формально по расчету все было хорошо.

В последние десятилетия большинство расчетов выполняется с помощью компьютеров, с помощью быстродействующей вычислительной техники. В целом такой подход прогрессивен, и его нужно приветствовать. Но в то же время необходимо учитывать, что компьютер — в отличие от инженера — интуицией не обладает и точно выполняет то, что заложено в него программистом. И если заложенный алгоритм расчета не совершенен, то уже ничто не сможет спасти от расчетной ошибки, а значит — и от возможности аварии и катастрофы.

Поэтому при переводе расчетов на компьютеры нужно было заново и тщательно проверить все расчетные алгоритмы. Этого сделано не было. А между тем то, что было еще допустимо и работало при ручном счете, может оказаться очень опасным при переходе на компьютеры. Об этом забыли, и может быть именно это стало причиной части последних аварий.

Надо вообще отметить, что в математике мало внимания уделяется влиянию неизбежной неточности и погрешностей в исходных данных на точность результатов расчета. Ведь почти все исходные данные получаются на основе измерений, а все измерительные приборы имеют конечную точность, и малые погрешности неизбежны. Эти малые погрешности могут (хотя и не всегда!) вырасти в большие, крупные погрешности конечных результатов — особенно в свете недавно открытых в СПбГУ новых и неожиданных свойств эквивалентных преобразований, широко используемых при расчетах. С учетом этих новых свойств желательно проверить и усовершенствовать расчетные алгоритмы.

Но на первом этапе, не дожидаясь общего совершенствования методов расчета, необходимо выявить и указать опасные «особые» объекты. Методы их выделения известны, описаны в книгах [1, 2, 3], но все еще мало применяются — и в области строительных конструкций, и в области автоматики, автоматического управления, где исследования опасных свойств эквивалентных преобразований начались раньше всего, а ведь выделение «особых» объектов сразу уменьшило бы вероятность аварий.

В последующих разделах будет рассказано, какими сложными путями происходил поиск истины (своеобразный «научный детектив») в автоматическом управлении, где исследования начались раньше, чем в других областях техники.