

## *Глава 2*

# *Авария – от начала до восстановления*

### **Аварийный толчок и развитие**

Аварии вызывается каким-то начальным толчком и развивается из него.

Им может оказаться природный катаклизм, стихийное бедствие: землетрясение (ударная нагрузка, сильная вибрация), извержение вулкана (лава, пепел), цунами (высокие волны, опрокидывающие корабли и заливающие сушу). В ряду стихийных бедствий и наводнение; оно возникает не столь внезапно, но иногда все равно приобретает характер катастрофы. Специфическую опасность представляет обширная гроза. От удара молнии могут погибнуть люди, загореться незащищённое здание. Последовательные удары молнии в ряд важных элементов энергосистемы, прежде всего – в воздушные линии электропередачи, могут привести к прекращению электроснабжения многих её потребителей и даже к ее коллапсу (пример – уже упомянутая авария 13 июля 1977 года в Нью-Йорке, вызванная ударами молний в множество важнейших линий).

Среди природных явлений возможны более мягкие, но всё равно неприемлемые для технической системы. Имеются в виду те природные условия, которые выходят за рамки, на которые рассчитана техническая система её создателями, например, слишком высокая или низкая температура, сильные электромагнитные помехи. Ещё пример: гололёд, в особенности сопровождаемый сильным ветром, приводит к обледенению проводов воздушных линий электропередачи, они раскачиваются, возникает «пляска проводов», они схлёстываются, обрываются, возникают короткие замыкания, линии автоматически отключаются.

Эти природные явления многократно описаны и сами по себе здесь не рассматриваются, хотя принимаем во внимание, что спусковым механизмом техногенной аварии может явиться природное явление. Но

приведёт ли оно к аварии, насколько эта авария разовьётся широко и глубоко – предмет нашего рассмотрения.

Поразительный пример перехода стихийного бедствия в техногенную аварию и аварии в экологическую катастрофу – то, что произошло в марте 2011 года в Японии на нескольких блоках прибрежной атомной электростанции Фукусима-1 в результате сильнейшего близкого землетрясения и последовавшего цунами с необычайно высокой волной. Об этой аварии известно очень много, а здесь важно отметить лишь одно характерное для многих аварий обстоятельство: то основное оборудование, которое создаёт прямую ядерную опасность, выдержало удары стихии, а вот вспомогательному оборудованию, видимо, было уделено меньше внимания, к нему были предъявлены менее жёсткие требования, чем к основному. Это оборудование обслуживает всю технологию выработки электроэнергии на станции. В данном случае все электродвигатели и системы управления потеряли электропитание, резервные дизельные двигатели проработали слишком короткое время, и, главное, через атомный котёл прекратила циркулировать вода, та вода, которая, при нормальной работе, нагреваясь ядерными стержнями, тем самым охлаждает их. В условиях возникшей радиации это, казалось бы, вспомогательное оборудование долго не могло быть восстановлено, а без него, однако, основное функционировать не может, – и возник перегрев ядерных стержней, превративший аварию в катастрофу: выброс радиоактивного пара, заражение морской воды, в спешке применённой для охлаждения, и т.д.

Этот случай показателен не только пугающими неприятностями, но и тем, какие разносторонние меры были приняты для локализации аварии и каким умением, самообладанием и упорством обладали люди, которые боролись с развитием аварии.

Для котла, работавшего на органическом топливе, исключительно важна бесперебойная подача воды. Для более опасного атомного котла вода ещё необходимей.

Это давно известно, а в подтверждение приятно сослаться на книгу, одним из соавторов которой был мой отец, о чём можно прочитать в [1, стр. 20].)

На Фукусима-1 наверняка было осуществлено гораздо более совершенное питание водой, чем рекомендовалось раньше и принято теперь для не атомных электростанций, но сила стихии оказалась недооценённой при создании системы питания, и произошла катастрофа.

Ближе к нашей теме другие спусковые явления. Среди них прежде всего нужно отметить необычные или совсем недопустимые способы использования оборудования, не предусмотренные изготовителем, использование оборудования в непредусмотренных обстоятельствах. Например, ток короткого замыкания, которое произошло на некотором элементе электрической сети, оказался больше того, который был способен разорвать высоковольтный выключатель этого элемента, и он не справился с отключением.

Затем, повреждение оборудования может произойти из-за потери надёжности какой-то из его составных частей. Несколько упрощая, различают две причины ненадёжности: первая – дефект изготовления, который обычно проявляется в начале использования, вторая – приближение к негодности в процессе старения оборудования. Например, если изолирующие свойства минерального масла, залитого в высоковольтный трансформатор, слишком долго не проверять и масло, потерявшее часть своих свойств, не заменять, то в этом трансформаторе вполне может возникнуть короткое замыкание между витками обмотки, затем горение масла внутри или разлитого масла снаружи – последнее в случае разрыва оболочки трансформатора.

И наконец, поводом для аварии может явиться ошибка персонала, использующего оборудование. Пример ошибки: оператор допустил ремонтную бригаду работать на высоковольтном оборудовании, с которого не позаботился снять высокое напряжение, и в результате произошло короткое замыкание (и, возможно, погибли люди).

Итак, кратко отметим главные спусковые явления аварии в технической системе:

- внешние условия, на которые не рассчитано оборудование системы,
- ненадежность оборудования из-за дефекта или старения какой-то его части,
- ошибка персонала,
- стихийное бедствие.

В большинстве случаев даже сложно развивающуюся аварию вызывает всего один такой толчок, но бывает, что авария возникает как следствие нескольких следующих друг за другом повреждений однотипного оборудования, вызванных необычно плохими природными условиями. Например, густая электрическая сеть переносит довольно спокойно последовательное отключение одной, двух и даже несколь-

ких линий электропередачи, происходящих из-за жары, ударов молнии или налипшего снега, но отключение ещё одной линии может запустить громадную аварию – потерю питания потребителей электроэнергии от большей части этой сети или даже от всей сети. Три такого рода аварии, две в Северной Америке и одна в Москве, уже упомянуты в предыдущей главе.

Для протекания дальнейшего аварийного процесса, следующего за первоначальным толчком, не столь важны конкретные обстоятельства самого толчка, сколь важен его содержательный результат. Например, не важно, из-за чего возникла связь провода с поверхностью земли и отключение линии: в результате дуги, вызванной ударом молнии, из-за провисания провода на жаре или из-за его обрыва под тяжестью налипшего снега. Не столь важно, на каком участке линии электропередачи провод упал на землю, в начале или в конце линии, и какой именно упал из трёх её проводов или упали сразу все три провода. Может не играть роли, что, скажем, ничего этого не было, а линию ошибочно отключил оператор. Важнее всего этого другое – линия оказалась отключённой, электроэнергия больше не может передаваться по ней, и её функцию должны взять на себя какие-то другие элементы энергосистемы. Но они и до того могли быть сильно загруженными, и поэтому резервной возможности передать дополнительную электроэнергию может и не оказаться. Тогда аварийный процесс развивается.

Говоря о начале аварии нельзя не упомянуть, что первоначальный толчок не всегда является неожиданным. Во многих случаях разумная осторожность и деятельность операторов в той обстановке, которая складывалась непосредственно перед аварией, могла бы предотвратить её или, по крайней мере, значительно ослабить её последствия. Способность уклониться от аварии очень важна, и в последнем разделе следующей главы мы обратимся к ней подробнее.

### **Случайное и неслучайное развитие аварии**

Каждая из аварий уникальна, но у больших аварий есть общая черта: каждая из них – результат сложной последовательности неблагоприятных и, реже, благоприятных событий.

В конце прошлого века электроэнергетикам нравился термин «каскадная авария», который подчёркивал, что при нормальной оснащён-

ности энергосистемы большая авария происходит не из-за одного какого-либо повреждения, для её развития требуется сочетание нескольких отказов оборудования или автоматики. Сочетание, как подчёркивалось, представьте себе, случайное!

Хотя обобщённые рассуждения относительно обусловленности и случайности в изложении некоторых авторов вполне заслуживают внимания, избежать их в достаточной мере поможет обращение к некоторым простым вещам.

Объясняя всё случайностями, упускалось из вида, что одна неприятность может непрекаемо тянуть за собой следующую. Очень часто в рамках уже затронутых аварией технологий неприятности причинно связаны между собой, так что каждая следующая происходит как следствие предыдущих. Причины многих аварийных событий удаётся обнаружить в более ранних событиях и обстоятельствах, казалось бы, очень отдалённых от случившегося. Например, в ходе аварии действие некоторого элемента объекта поставило бы хорошую преграду развитию аварии, но возникли такие условия, на работу при которых этот элемент не рассчитан, что он отказывается действовать и этим способствует дальнейшему ухудшению ситуации.

Но, конечно, возможно и иное, более близкое к случайностям. Помните у А.Блока: «Нас всех подстерегает случай». Попробуем упомянуть две такие возможности, которые возникают во время аварийного процесса как бы случайно. Во-первых, событие может быть подготовлено каким-то предыдущим обстоятельством, обычно – спящей неисправностью, на которую наталкивается аварийный процесс, и тогда она пробуждается и влияет на дальнейший ход аварии. Во-вторых, как раз на необходимость функционировать во время аварии может прийти отказ элемента объекта из-за усталости материала.

Иногда кажется, что большая авария возникла в результате какого-то мистического стечения несчастных обстоятельств, которое невозможно интерпретировать на рациональном уровне. Хотя нельзя исключить возможности хаотического, спонтанно возникающего нагромождения обстоятельств, усугубляющих аварийный процесс, опыт подсказывает, что такое случается редко. Чаще к мистическому толкованию обращаются, когда не имеют физической или интеллектуальной возможности, ленятся или просто не желают вникнуть во взаимозависимость, часто даже предопределённость двигающих развитие аварии фактов.

За подкреплением соображений о роли закономерности и случайности обратимся к событиям, описанным в романе М.Ю. Лермонтова «Герой нашего времени». Этот роман, увлекательный и вместе с тем поразительно глубокий, завершается третьей частью записок главного его героя Печорина, эта часть названа «Фаталист». В ней молодые офицеры спорят о явлении, волнующем их среди опасностей завоевания Кавказа, – о предопределении. Рассказывается о непростой драме, подобной развивающейся аварии. Эта авария не техногенная, конечно, а человеческая, но, как оказывается в финале, она имела и технический аспект.

Вспомним схему повести. Отстаивая на пари наличие предопределения в жизни человека, поручик Вулич ставит опасный эксперимент: нажимает курок пистолета, приставленного ко лбу, и – счастливая осечка. Но предопределению его смерти ещё предстояло проявиться: в ту же ночь его зарубил шашкой случайно встречный пьяный казак. События развиваются: чтобы скрутить этого вооружённого убийцу, на него в одиночку через окно бросается противник в состоявшемся пари – Печорин, пуля солдата удачно пролетает мимо, и казака вяжут.

Об этих событиях Печорин рассказывает умудрённому опытом войны и службы офицеру, к которому прикомандирован служить – Максиму Максимычу. Его суждение, точнее написанное Лермонтовым пером Печорина, невозможно заменить пересказом. Цитируем:

«... я рассказал Максиму Максимычу все, что случилось со мной и чему я был свидетель, и пожелал узнать его мнение насчёт предопределения. Он сначала не понимал этого слова, но я объяснил его как мог, и тогда он сказал, значительно покачав головою:

– Да-с, конечно-с! Это штука довольно мудрёная!.. Впрочем, эти азиатские курки часто осекаются, если дурно смазаны или не довольно крепко прижмёшь пальцем. Признаюсь, не люблю я также винтовок черкесских; они как-то нашему брату неприличны: приклад маленький – того и гляди нос обожжёт... Зато уж шашки у них – просто моё почтение!

Потом он примолвил, несколько подумав:

– Да, жаль беднягу... Чёрт же его дёрнул ночью с пьяным разговаривать!.. Впрочем, видно, уж так у него было на роду написано!..

Больше я от него ничего не мог добиться: он вообще не любит метафизических прений».

Этими простыми ироничными словами Лермонтов закончил и записки Печорина и, вместе с ними, – весь роман о герое своего времени. Автор и за Печорина писал отчётливо и лаконично, надо думать, он считал этот текст важным.

А в интересах нашей темы важно то, что ответ Максима Максимыча разделён на две части: первый эпизод он сводит только к ненадёжности пистолета, а второй объясняет легкомысленной разговорчивостью Вулича и только тут допускает ещё и предопределение. Впрочем, мистическое предопределение, если и имело место, то сказалось не в том, что Вулич был зарублен казаком, а в другом: «уж так у него было на роду написано», что «черт же его дёрнул ночью с пьяным разговаривать».

Теперь осмелимся уточнить слова «азиатские курки часто осекаются». Для этого годится маленький примерный расчёт той вероятности, которую имело начало человеческой аварии – осечка пистолета, приставленного ко лбу рукой фаталиста.

Вероятность дурной смазки пистолета, висевшего до этого случая на стене без дела, оценим в 40%, а вероятность слабого прижима курка в боевых условиях, которые имел в виду Максим Максимыч, – в 30%. При таких данных боевой выстрел состоялся бы с вероятностью

$$(1 - 0,4) (1 - 0,3) = 0,42.$$

Но пистолет направлен не на врага, а у своего виска палец прижимает курок, наверное, не так уверенно, как в бою, и самоубийство успешно свершилось бы с вероятностью

$$(1 - 0,4) (1 - 0,5) = 0,3.$$

Статистически это значит: среди попыток самоубийства не 42 из 100 окажутся успешными, а только 30. Но ещё важнее другое: будет ли как раз данная попытка среди этих 30 или из оставшихся 70! А это как раз известно не полностью, только ясно, что вероятность неуспешности приблизительно в 2 с половиной раза больше, чем успешности. На этот раз Вуличу попался один из семидесяти случаев.

Как видим, не так мало узнал по поводу предопределения Печорин от Максим Максимыча. Автор же романа, жизнь которого скоро после создания романа оборвал пистолетный выстрел, напряжённо размышляя о том же, имел в виду и более широкую общественную тему о судьбе и воле.

Из опыта анализа разнообразных аварий (посмотрим хотя бы [1]), кажется возможным почерпнуть главное. Чтобы снизить вероятность

больших аварий в будущем, нужно признать, что большая авария – следствие сочетания многих не всегда очевидных обстоятельств (хотя бывает, что некоторые лица и организации играют в большой аварии выдающуюся роль). Анализируя аварию, каждый раз приходится обращать внимание не только на непосредственные поводы и причины, которые легко обнаруживаются на поверхности явления. Словом, вспомним возглас Козьмы Прутков: «Зри в корень!»

Необходимо в сложившихся вокруг опасного объекта условиях выявлять основные предпосылки аварии, их анализировать и вырабатывать предложения по изменению именно этих условий. Но это-то задевает множество серьёзных интересов, как раз поэтому является главной трудностью и, следовательно, главной задачей.

### Аварийные стадии

Авария проходит несколько типичных стадий. За спусковым толчком (или несколькими, как упомянуто выше, последовательными толчками) следует аварийный *переходный процесс*, в ходе которого авария может получить сколь угодно широкое развитие. Затем наступает сравнительно спокойное *послеаварийное состояние* объекта, которое перетекает в *восстановительный период*.

*Переходный процесс* может продолжаться всего одну секунду или пару минут, как это бывает в энергосистемах, и в этом случае операторы не успевают вмешаться в него, он протекает только под управлением различных автоматических систем, под управлением в той или иной мере успешным, или, наоборот, при бездействии этих систем.

Возможно и совершенно иное. Может пройти несколько часов от повреждения судна до того, как оно затонет. Аналогично – авария на атомной станции. Авария в энергосистеме, наступившая быстро, часто приводит к длительному горению изолирующего масла внутри оборудования. Если же этим маслом заполнена не металлическая, а фаянсовая оболочка высоковольтного аппарата (в такую среду погружены обмотки высоковольтных измерительных трансформаторов), то возможен взрывной разрыв этой оболочки. Разлив горящего масла и разлетание в стороны осколков фаянса приводят к повреждению соседнего оборудования. Такие случаи предшествовали уже упомянутой аварии в Москве.



Возможно существенное усугубление, развитие и расширение переходного процесса из-за дополнительных внешних воздействий, ошибок персонала, а также из-за внутренних неисправностей, которые ходом процесса выявляются в оборудовании, вовлечённом в процесс.

Во время длительного переходного процесса роль команды судна, операторов огромна. В дело вступают и ремонтные бригады, пожарные расчёты, команды спасателей, оснащённые различным оборудованием, в том числе не относящимся к основной технологии аварийного объекта. Суммируя все это, можно сказать, что во время такого процесса ведётся борьба персонала за поддержание жизни аварийного объекта. Если объект создан так, что его устройство допускает такую борьбу и необходимые для этого средства предусмотрены, то такой объект обладает бесценным свойством, называемым *живучесть*.

Результатом переходного процесса является *послеаварийное состояние* объекта. В нем объект функционирует в разной степени полноценно. К этому состоянию могут привести целенаправленные действия автоматики и персонала во время переходного процесса или, наоборот, хаотичная последовательность повреждений и разрушений вплоть до полного уничтожения объекта (самолёт, судно, здание).

Иногда это состояние реально не является установившимся, стабильным, не исключено, что оно выделяется среди других как промежуточное, квазиустановившееся состояние, в котором какая-то характерная часть процесса уже завершилась или близка к завершению, а другая ещё не проявилась существенно. Например, судно уже затонуло, а люди находятся на подручных спасательных средствах и нуждаются в срочной помощи, должны подойти спасательные суда, и люди должны быть на них подняты.

Наконец, наступает *восстановительный период*. Если объект не разрушен и не может быть быстро заменён другим, его функционирование требуется восстановить.

Может быть, требуется немедленно поднять затонувшее судно. Или требуется снова запустить аварийно остановившуюся электростанцию, без участия которой невозможно подать питание потребителям, а для этого нужно подать ей откуда-то напряжение. Или, что самое важное, нужно срочно подать напряжение на подстанции потребителей электроэнергии. Небоскрёбы в Нью-Йорке, которые были разрушены 11 сентября 2001 года, решили не восстанавливать, но куда деться от необходимости срочно разобрать завалы, обнаружить и похоронить тела людей.

Все эти восстановительные действия связаны обычно с преодолением немалых технических, организационных и финансовых трудностей, требуют организационно-технического обеспечения, которое должно быть создано заблаговременно.

Как видим, переходный процесс, послеаварийное состояние и восстановительный период не всегда удаётся чётко разграничить, но полезно иметь в виду эту последовательность и то, что на этих стадиях предъявляются разные требования к оборудованию объекта и к действиям персонала.