

СМЕРЧ-ТОРНАДО

Знает ли читатель, что такое смерч-торнадо?

Здесь нужно сказать несколько слов по поводу терминологии. В советской научной литературе употребляется термин «смерч» применительно к двум разным физическим процессам, которые имеют, правда, некоторое сходство. Первый – это процесс, вызываемый восходящими потоками воздуха над сильно нагретой поверхностью Земли. Некоторая начальная циркуляция воздуха на периферии смерча приводит к заметному вращению вблизи центра, создавая общее винтовое течение, направленное вверх. При этом воздух захватывает с Земли пыль, что и обусловило его английское название *dust devil* (пыльный дьявол).

«Пыльный дьявол», несмотря на свое грозное имя, представляет собой безобидное явление, которое имеет хорошее физическое и математическое описание. Этого не скажешь о другом смерче, который в западной литературе называется «торнадо». О нем-то и пойдет речь ниже.

Торнадо зарождается из материнского или смерчевого облака, спускается вниз до Земли в виде длинного хобота, внутри которого воздух совершает быстрое вращательное движение со скоростью, иногда достигающей скорости звука.

Материнское облако, представляющее собой маленький тропический ураган, как и настоящий ураган, имеет так называемый глаз, в котором стоит мертвая тишина, и обладает спиральным строением. Если смерчевое облако имеет большие размеры, оно практически ложится на Землю, и мало отличается от циклона. Очень часто циклон приводит к появлению торнадо.

Средние размеры смерчевого облака невелики: в поперечнике 5–10 км, высота 4–5 км. Расстояние между Землей и верхним краем облака порядка нескольких сот метров, реже больше.

В смерчевом облаке, как правило, наблюдается горизонтальное вихревое облако с наклонным или вертикальным столбом самого смерча-торнадо.

Детальное описание внутренней полости смерча дал один фермер из штата Канзас. Стоя во входе в убежище, он наблюдал за приближающимся по равнине смерчем. Вблизи от убежища конец воронки смерча поднялся над землей и прошел над фермером. «Большой лохматый конец воронки повис прямо над моей головой. Кругом все неподвижно. Из конца воронки шел скрипящий, шипящий звук. Я взглянул вверх и, к своему удивлению, увидел само сердце смерча. В его середине была полость диаметром 30–70 м, шедшая кверху на расстояние около километра. Стены полости были образованы вращающимися облаками, а сама она была освещена непрерывным блеском молний, зигзагом перескакивавших с одной стены на другую. Полость была совершенно пустой, и только туманные образования двигались вверх и вниз. Смерч двигался медленно, и у меня было время хорошо увидеть все внутри и снаружи».

Внутренняя полость смерча, как это показали многочисленные наблюдения и измерения, обладает резко пониженным давлением. Поэтому, когда она соприкасается с запертым домом с закрытыми окнами, дом буквально взрывается, и целые стены вываливаются наружу.

Резко ограниченные почти гладкие плотные стенки воронок представляют одно из важнейших и своеобразных свойств смерча. По-видимому, именно этим свойством смерча объясняются некоторые его проявления.

В Канзасе, этой стране смерчей, 9 октября 1913 г. смерч прошел по небольшому саду. Он вырвал с корнем большую яблоню и разорвал ее на отдельные куски. В метре от яблони стоял улей с пчелами, – он остался невредим.

Фермер ехал по проселочной дороге в телеге, запряженной двумя лошадьми. День был душный, жаркий, надвигалась гроза. Лошади шли шагом и фермер задремал. Проснулся он, когда раздался страшный грохот, налетел ужасный вихрь. Через несколько секунд вихрь ушел вперед, все прояснилось; стало тихо и солнечно. Телега и фермер на ней остались на месте, но оглобля и две лошади исчезли. Они были унесены смерчем.

В штате Небраска на ферме в коровнике сидела хозяйка и доила корову. Вдруг коровник и корова поднялись в воздух и улетели. Хозяйка осталась сидеть на стуле, рядом с ней ведро с молоком.

В штате Оклахома четырехкомнатный двухэтажный деревянный дом был унесен смерчем вместе с семьей фермера. Дом был разломан на мелкие куски, вся семья убита. В дом вела невысокая трехступенчатая лестница. Рядом с ней к дому была прислонена скамейка. И лестница, и скамейка остались на месте. Мало этого: недалеко от лестницы стоял старенький фордик и под деревом на столе горевшая керосиновая лампа. У автомашины смерч вырвал два задних колеса, но кузов остался. Керосиновая лампа продолжала гореть, как будто рядом никакого бешеного вихря и не было.

В СССР во время смерча 23 августа 1953 г. в г. Ростове (Ярославской области) во дворе дома № 37 по Февральской улице у колодца снесло деревянный сруб, а стоявшее рядом ведро и деревянная кадка остались на месте.

Скорости движения воздуха в смерче столь велики, что ни один из существующих приборов для измерения скоростей не выдерживает, ломается, а чаще всего исчезает бесследно. Однако специалисты довольно точно высчитывали эти скорости по косвенным измерениям.

Далласский смерч 2 апреля 1957 г., пересекая железную дорогу, опрокинул несколько груженных, очень тяжелых вагонов. По их весу и форме специалисты определили, что скорость ветра достигала 210–225 км/ч, а порывами до 350 км/ч. Немного дальше от дороги была разрушена громадная и прочная подставка для объявлений: в этом месте скорость достигала 480 км/ч.

Американский метеоролог Файнли, детально изучивший многие сотни смерчей, еще в 1884 г. приводил цифру 1300 км/ч. Эту цифру он получил на основании следующего зарегистрированного факта: мелкая галька, увлекаемая смерчем, пробивала оконные стекла так же, как револьверные пули, – образуя круглые отверстия в целом стекле.

Знаменитый в Америке Ирвингский смерч, который появился 30 мая 1879 г. в штате Канзас, среди многих разрушений уничтожил новый железный мост длиной 75 м. Подняв громадное стальное сооружение, воронка в воздухе изогнула и закрутила его с невероятной силой. Вся структура моста превратилась в плотный сверток диаметром 1,5–2 м.

Перечисленные примеры свидетельствуют о сверхзвуковой скорости движения воздуха в воронке (1200 км/ч).

О большой скорости смерча свидетельствуют другие многочисленные факты.



Рис. 29



Рис. 30

После смерча стена одного деревянного дома оказалась проткнутой насквозь доской. Имеется много зарегистрированных случаев, когда соломинки протыкали толстые доски, щепки протыкали деревья (см. сделанный с фотографии рис. 29), а сосновая палка пробила лист железа толщиной около сантиметра.

Точные измерения скорости вращения редки и дают разные результаты. Американский исследователь Брукс (Brooks, 1951) в своем обзоре смерчей называет максимальную скорость 720 км/ч. В более поздней работе (Abdullah, 1955) на основании кинограмм определяется скорость 1200 км/ч, равная скорости звука и выше. Интересны случаи, когда материнское облако опускается на Землю, воронка отсутствует совсем и облако медленно ползет по Земле.

Формы смерчей очень разнообразны, но при всем этом разнообразии можно выделить устойчивые особенности: четкая граница между смерчем и неподвижной атмосферой, что сильно отличает смерч от других воздушных образований; значительная длина и малый диаметр; преимущественно вертикальное положение. Тонкие изогнутые формы обычно характеризуют конечный период существования смерча.

Колонноподобные и воронкообразные смерчи наиболее многочисленны и типичны. Хотя и реже, но бывают смерчи с очень копоткой колонкой, когда материнское облако практически катится по земле. Такой смерч отличается от циклона разве что размером, но в отличие от циклона обладает большой плотностью энергии (см. рис. 30).

Раньше считалось, что смерч является чем-то обособленным, существующим независимо от материнского облака. Сейчас доказано, что смерч и облако представляют элементы единого вихревого движения.

Когда воронка касается Земли, у ее подножья почти всегда образуется облако или столб пыли или водяных брызг. Этот столб называют каскадом. Один из наблюдателей отметил, что пыль и мелкие предметы в каскаде поднимаются совершенно так же, как и при ударе воды из шланга при поливке улицы. Иногда каскад поднимается на несколько сот метров, как на рис. 31. Только наличие внешнего вихревого течения может объяснить подъем воды в каскаде. Скорость перемещения и время существования смерчей весьма отличны от поведения материнского облака. Средняя скорость перемещения смерча равняется 40–60 км/ч. Время существования смерчей, зарегистрированных в Соединенных Штатах, колеблется от нескольких минут до 7 часов.



Рис. 31

Змееподобные смерчи обладают наименьшей шириной, иногда несколько метров. Средняя ширина воронкообразных смерчей равняется 350–400 м, а высота достигает несколько сот метров, иногда 1,5 км.

Интересно влияние смерчей на небольшие водные массы. Описывается ряд случаев, когда смерч высасывал до дна колодцы глубиной около 10 м, небольшие озера и болота осушались полностью. Их вода вместе с фауной и флорой поднимались в смерчевое облако и в горизонтальном вихре переносились на десятки километров и больше.

Пересекая большие реки или озера, смерч-торнадо образует в толще воды глубокую траншею. Именно такую картину наблюдали свидетели московского смерча 1904 года.

Своеобразной особенностью смерчей является их «прыгание». Пройдя некоторое расстояние по Земле, они поднимаются и перемещаются по воздуху, не касаясь Земли и не вызывая движения воздуха на поверхности. Именно в такие моменты проводились наблюдения и фотографирование внутренней полости смерча. Затем смерчи снова опускаются и продолжают движение, оставляя после себя пунктирную линию, образованную разрушениями.

Наиболее тщательная регистрация и изучение смерчей проводится в Соединенных Штатах. За период с 1916 по 1950 годы наблюдалось 5204 смерча. От них погибло 7961 человек.

Материальные убытки составляют 0,5 миллиарда долларов. В более позднем обзоре проводятся данные вплоть до 1961 г. Количество зарегистрированных смерчей равняется 11053. Среднегодовое количество смерчей в период с 1953 по 1963 годы равняется 595. Однако в 1957 г. их было 864, а в 1965 г. – 927.

В странах, лежащих в более высоких широтах, в том числе в европейских и СССР, смерчи образуются реже, обладают меньшей разрушительной силой и регистрация их осуществляется не столь тщательно, как в США.

Даже из приведенных выше описаний можно видеть, что некоторые физические эффекты, сопровождающие торнадо, не укладываются в привычные представления механики жидкости и газа.

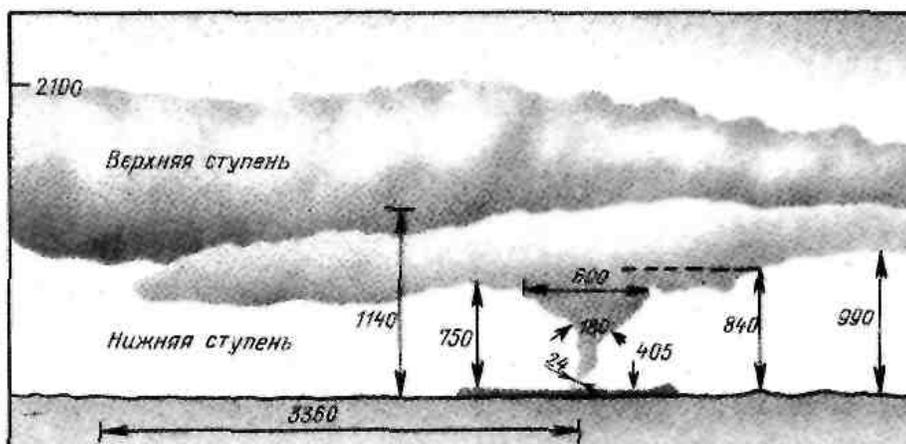


Рис. 32

Действительно, каков механизм вращения воздушного столба с большой скоростью? Почему хобот спускается вниз, с силой ударяется о землю и воду и в то же время сосет эту же воду вверх? Почему существует резкая граница между вращающейся и неподвижной массой воздуха? Почему смерч «прыгает»?

Качественное объяснение этих эффектов на основе известных нам законов гидродинамики кажется совершенно необходимым для душевного комфорта всякого специалиста. Человеку, далекому от науки, по-видимому, следует объяснить, что душевный комфорт ученого является таким же побудительным мотивом научных исследований, как и потребности практики. Кстати, о последних. Выявление механизма торнадо, быть может, позволит найти средства воздействия для уменьшения его разрушительного действия. Искусственно созданный управляемый воздушный вихрь, способный всасывать и транспортировать сыпучие материалы, по-видимому, мог бы найти применение и в человеческой практике.

Попытаемся разобраться в механизме смерча-торнадо. Для этого обратимся к рис. 32, который мы взяли из книги Д. В. Наливкина.

Материальным и энергетическим источником смерча является смерчевое или, как его еще называют, материнское облако. Как и всякое облако, оно возникает благодаря восходящему потоку, который поднимает теплый влажный воздух. Отличие состоит лишь в том, что смерчевое облако обязательно вращается. Центральная часть его движется вверх, доходит до инверсионного слоя и растекается по горизонтали. Благодаря охлаждению и конденсации влаги плотность воздушных масс быстро увеличивается, и они начинают опускаться вниз. Так возникает нисходящий поток, который, встречаясь с восходящим, образует вращающиеся кучевые облака. Движение и форма смерчевого облака таковы, что некоторые исследователи называют их маленькими ураганами.

Вращающаяся тороидальная масса воздуха обладает достаточной устойчивостью, чтобы сохранять свою форму и положение. Однако обильная конденсация влаги может настолько увеличить плотность, что из облака начнут «проливаться» огромные струи. Естественно, что эти струи, как материальные носители завихренности, будут вращаться теперь уже вокруг вертикальной оси. Так возникает воронка смерча. В соответствии с законом сохранения момента количества движения окружная скорость в воронке растет по мере течения воздуха из ее широкой части в узкую обратно пропорционально диаметру. В соответствии с рис. 31, если скорость вращения в облаке равнялась 10 м/с, то у основания воронки она могла достигать 240 м/с. Таким образом, экстенсивный источник энергии восходящих потоков благодаря воронке вызывает интенсивное вращение некоторой части исходной массы.

Большая центробежная сила уравнивается разрежением воздуха, возникающим на оси смерча. Это условие естественным образом выполняется на всей длине смерча, кроме его конца, если он не лежит на земле. А как выполняются условия равновесия на нижнем конце воронки, почему она удлиняется?

Чтобы ответить на этот и другие вопросы, мы должны привлечь к рассмотрению один интересный факт, наблюдаемый в вихревых камерах. Такие камеры подвергаются интенсивному исследованию по причине особого практического интереса. На их основе делаются циклонные топки, центробежные сепараторы, вихревые холодильники и т.д. Условия движения в вихревой камере весьма близки к тем условиям, которые нас интересуют.

Подробные исследования структуры течения в вихревой камере позволили установить, что весь поток воздуха образован тонкими вихревыми нитями, вытянутыми вдоль основного

течения. Однородной изотропной среде, какой является воздух, структурные образования в виде вихревых нитей придают новые неожиданные свойства.

Всем хорошо известно, что вращающееся тело обладает свойством сохранять направление оси вращения и препятствовать силам, которые пытаются наклонить, ось. На этом принципе основаны гироскопические компасы, датчики угловых перемещений и детские волчки.

Вихревая нить представляет собой вытянутый объем быстровращающейся массы воздуха. Каждый отрезок нити можно рассматривать как маленький гироскоп, оба конца оси которого гибко соединены с осями смежных гироскопов.

Такая схема позволяет объяснить наблюдаемое поведение одиночной вихревой нити, когда она под действием боковых сил приобретает винтовую геометрию и вращается как твердое целое. Две или больше вихревых нитей благодаря взаимодействию вращаются вокруг общей оси – водят хоровод.

Подробные вычисления показывают, что воздушный столб, образованный набором отдельных вихрей, обладает упругостью и ведет себя как резиновый жгут. Момент, приложенный к одному концу, благодаря закрутке передается без изменения на другой конец, угловая скорость тоже сохраняется. Граница раздела между быстро вращающейся массой смерча и неподвижной окружающей средой, обычно неустойчивая, будет сохраняться.

Сделав предположение, что столб смерча-торнадо состоит из набора вихревых нитей, мы можем дать объяснение некоторым его физическим особенностям, которые не поддавались объяснению. Хотя мы ограничились рассмотрением смерча-торнадо, есть необходимость коснуться, и смерча – пыльного дьявола. Дело в том, что исследователи торнадо неоднократно наблюдали, как навстречу опускающейся воронке, видимой благодаря конденсированной влаге материнского облака, поднимался от земли другой смерч – пыльный дьявол, видимый благодаря захваченной им пыли. Тем более такой смерч должен возникать при периодических отрывах торнадо от земли. Весь тот механизм торнадо, который мы описали выше, сохраняется и при наличии пыльного дьявола. Постоянное или периодическое присутствие пыльного дьявола в нижней части торнадо, по-видимому, является типичным состоянием. Именно этим можно объяснить каскад и чехол из пыли, в который иногда одевается столб. Некоторые изменения окружной и радиальной скоростей вблизи торнадо находятся в противоречии с другими данными о скачке окружной скорости, но хорошо объясняются, если принять, что нижняя часть была дополнена пыльным дьяволом.

Итак, мы нашли объяснение почти всем видимым проявлениям торнадо, используя известные нам законы гидромеханики. Мы говорим «почти», так как совершенно не остановились на термодинамических, электростатических и других возможных процессах, сопровождающих торнадо. Более того, мы молчаливо предполагали, что неучтенные процессы не влияют на сделанные выводы.

Теперь самое время обратиться к возможному практическому применению наших знаний. Для людей, которые живут в зоне возникновения смерчей и подвергаются их разрушительному действию, по-видимому, самым главным практическим результатом было бы предотвращение или уничтожение торнадо.

Поскольку материальным и энергетическим источником торнадо является смерчевое облако, то его уничтожение предотвратило бы и возникновение смерча.

Обработка смерчевого облака подходящим реагентом, вызывающим конденсацию влаги и выпадение дождя, обеспечит достижение цели. Потребность в обработке больших объемов

облаков, потенциальных родоначальников смерча, может оказаться существенным недостатком предлагаемого способа. Поэтому следует рассмотреть возможность воздействия на смерч после его формирования.

Из рассмотренного описания видно, что воронка смерча, через которую осуществляется передача энергии смерчевого облака, является самой нагруженной частью смерча.

Разрушение воронки смерча приведет к ликвидации крутящего момента и к остановке и исчезновению вихря. Такое разрушение можно обеспечить путем нарушения равновесия между центробежными силами и градиентом давления. Для этого достаточно в центре воронки выпустить какое-то количество массы, тепла и радиального импульса путем сжигания топлива или взрыва. Для доставки топлива и взрывчатого вещества в устье воронки можно воспользоваться транспортирующей способностью смерча. Он сам всосет и поднимет нужное вещество, нам достаточно только осуществить дистанционное воспламенение или взрыв.

Физическая реализация механизма торнадо в малых масштабах позволила бы, по-видимому, сконструировать новый тип пылесоса, погрузочное и разгрузочное устройство для сыпучих материалов, хлопоуборочную машину большой производительности и тому подобные машины.

Даже одного рассмотренного смерча-торнадо достаточно, чтобы убедиться в бесконечном разнообразии физических эффектов в природе.

В.И. Меркулов, «Гидродинамика знакомая и незнакомая» – М.: Наука, стр.59–67, 1989