

Второе открытие КАВИТАЦИИ

ЮТ 1985 №4

Таинственный киногерой



В конце XIX века английский военно-морской флот должны были пополнить два совершенных для того времени корабля. "Дерингу" и "Турбинии" оставалось пройти последнее испытание - на быстроходность, которая, кстати, выдвигалась конструкторами как главное их преимущество. Увы, расчетной скорости достичь не удалось. Детальное исследование возможных причин неудачи показало: гребные винты на быстром ходу очень интенсивно изнашиваются, покрываясь выбоинами, кавернами, а виной всему - многочисленные паровоздушные пузырьки, возникающие на лопастях.

При таких обстоятельствах техника впервые познакомилась с кавитацией. Именно техника. Потому что науке это явление было известно уже двадцать

лет. Его теоретически предсказал английский физик О. Рейнольдс. И будь конструкторы внимательнее к фундаментальным исследованиям своего соотечественника, возможно, не случилось бы конфуза.

Да, теоретик мог бы предостеречь инженеров от чрезмерных надежд. Но не более того. Если бы его спросили: как построить действительно сверхбыстроходный корабль, обойдя каким-либо образом кавитацию, у учёного вряд ли нашёлся бы ответ.

И по сей день, спустя больше века как открыта кавитация, наука, исследующая это явление, в долгу перед техникой. Даже сделать точный расчёт того порога, за которым наступает разрушительная для машины или конструкции кавитация, не всегда возможно. По прежнему крошит, изъясляет она металл гребных винтов, лопасти насосов и турбин, бетонные тела плотин, каналов, шлюзов.

Еще труднее - а заманчивые мысли об этом родились не вчера - превратить разрушительные силы кавитации и сделать их союзниками.

Почему пасует перед самыми главными секретами кавитации могучая современная наука?

Вначале давайте вспомним то, что она знает об этом явлении достаточно определённо. Кавитационные пузырьки возникают в жидкости, если в ней создать пониженное давление. Это бывает, например, при обтекании с большой скоростью какого-либо твердого тела или, что по сути, равнозначно, когда само тело быстро движется в жидкости. Звуковые и ультразвуковые волны, проходя через жидкость, так же создают области пониженного давления, вызывают кавитацию. Живут кавитационные пузырьки очень недолго. С огромной быстротой, за ничтожные доли секунды они схлопываются. Это схлопывание, подобно взрыву, порождает ударную волну. Пусть это всего лишь микровзрывы. В краткие мгновения их происходит сотни, тысячи. Они накладываются друг на друга, умножая свои силы. В разных точках жидкости температура мгновенно подскакивает до тысяч градусов, давление - до многих десятков атмосфер. У пузырьков могут возникать тончайшие лучи-жала, действующие на твердую поверхность подобно разящему броню кумулятивному снаряду! Вот откуда невероятные силы у невесомых пузырьков.

Чаще всего, к сожалению, эти силы разрушительные. Только в немногих случаях они начинают сегодня работать с пользой - например, очищают поверхность деталей, помогают выявить природный рисунок у отделочных камней, перемешивают "несовместимые" жидкости вроде бензина и воды. Чтобы лучше бороться с вредной, разрушительной кавитацией и полнее использовать её на благо, есть только один путь - глубже проникнуть в её тайны.

В чём отличие кавитационного пузырька от обычного? Что происходит внутри? По каким законам идет в нем превращение энергии? Знай сегодня ученые ответы на эти вопросы, глядишь, завтра реальными бы стали и сверхбыстроходные корабли. Но пока есть только многочисленные, спорящие между собой гипотезы. И, значит, инженер не в силах с нужной точностью рассчитать новую конструкцию или машину, в которой хотел бы запрячь силы кавитации.

Сколь недостаточны пока знания об этом явлении, говорит такой пример. Почти полвека назад открыли сонолюминисценцию - свечение жидкостей под действием ультразвука, а также

звукохимические реакции, идущие только при облучении реагентов звуком. Оба этих явления очень энергоёмки, и вызвать их способна только кавитация. Эффекты и стали своеобразным тестом на кавитацию. Однако механизм, природа их до сих пор остается загадкой.

Почему же кавитация столь неприступна? Какие преграды стоят на пути к ее тайнам? Чтобы яснее представить происходящие с кавитационным пузырьком превращения, надо первым делом внимательно проследить за тем, как он рождается, движется, исчезает, словом, за всеми этапами его жизни.

Кавитационный пузырёк стал одним из главных героев научного кино. В десятках лабораторий мира он отснят на бесчисленных метрах киноплёнки. Но увы, за мгновениями его жизни не успевает даже сверхскоростная киносъёмка. Наш киногерой живёт всего лишь сотысячные или даже миллионные доли секунды! Надо ещё учесть: размеры пузырьков составляют сотые, тысячные доли миллиметра. Наконец, кавитация - это не один и даже не тысяча рождающихся в одно мгновение пузырьков. В одне кубическом сантиметре так называемого кавитационного поля их пульсирует сразу около миллиарда! Не случайно одним из первых героев голографического кино, едва появилось оно в лабораторном, экспериментальном варианте, опять-таки стал кавитационный пузырек... А загадок не убавлялось.

Ежи в пробирке

В науке часто бывает так: для решения какой-либо сложной проблемы, над которой многие годы бьются лучшие умы, вооруженные самой совершенной техникой, не хватает какой-то очень простой идеи, какого-нибудь элементарного, почти школьного опыта. В проблеме кавитации этот, возможно, решающий шаг посчастливилось сделать ученым сектора химической физики из Всесоюзного научно-исследовательского института органического синтеза.

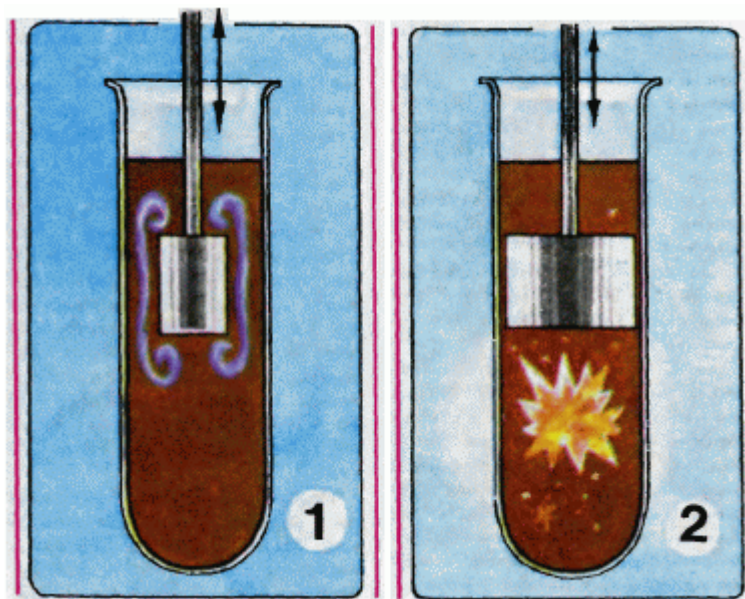
В то время как одни исследователи уповали на все более совершенную аппаратуру, новейшие методы решения необычайно сложных систем дифференциальных уравнений движения пузырьков, специалисты ВНИИОСа искали нелобовое, обходное решение. В чем состоял задуманный ими маневр? Рассуждали примерно так. Толком разглядеть кавитационные пузырьки мешает их мизерность и крайне малое время жизни. Зависит это от частоты колебаний, которыми возбуждают кавитацию. Сумей исследователи получить кавитацию, скажем, при частотах 10-100 Гц - пузырьки согласно расчетам могли бы жить уже десятые доли секунды и иметь размеры до сантиметра. Вот тогда мы бы увидели своего киногероя действительно крупным планом.

Неужели эта нехитрая идея никому прежде не приходила в голову? Разумеется, приходила. Попыток было много. Статья с результатами последней из них, которую предприняли

американские исследователи, лежала на столе заведующего сектором М. А. Маргулиса. И в ней ничего утешительного. В который раз получено подтверждение привычной точки зрения: кавитация - явление пороговое, то есть возникает начиная с определенной частоты, и частота эта исчисляется, увы, килогерцами... И все-таки что-то заставило воспроизвести заведомо неудачный опыт. К этому подталкивали и хорошая злость на неподдающуюся проблему, и исследовательский азарт, упорство, интуиция.

Проделать эксперимент американцев не составляло особого труда. Схема его была проста: колеблющийся стержень опускают в сосуд с жидкостью, а спектрометр, если возникнет кавитация, должен зарегистрировать свечение. Все сделали как надо - ничего похожего на кавитацию. Попробовали увеличить амплитуду колебаний стержня, - мол, возбуждение станет интенсивнее. Сверхчувствительный спектрометр "молчит". Бурление, турбулентность в жидкости усиливается, но растяжения нет как нет. Жидкость как бы слишком эластична, она хотя и завихряется, но все же успевает обтекать небыстро колеблющийся стержень. А ведь надо, чтобы она воспринимала колебания стержня словно удары. Как этого достичь?

Достаточно было исключить обтекание колеблющегося стержня, и низкочастотная кавитация открыта



Новый эксперимент поставили с аппаратурой, какая, наверное, найдется даже в школьном кабинете физики: пробирка, штатив, выточенный из оргстекла стержень, 25-ваттный динамик, старенький ламповый усилитель... Единственная его тонкость - колеблющийся стержень в виде поршня изготовили так, что зазор со стенками пробирки составлял всего десятую долю миллиметра. При этом жидкость уже не могла столь легко, как прежде, обтекать стержень.

Звуковой генератор включен на частоте 90 Гц. О том, что происходило дальше, М. А. Маргулис рассказывает:

- С минуту ничего особенного мы не замечали. Затем на небольшом участке у стенки пробирки, заполненной жидкостью, под колеблющимся поршнем возникли мелкие сферические пузырьки. Число их быстро нарастало. Они образовывали крупный сгусток, внешне напоминающий ежа. Этот еж заметно пульсировал. Стали постепенно прибавлять частоту. При 200 Гц и выше можно было создать уже двух и даже больше необыкновенных ежей. Они рождались в разных частях пробирки. Время от времени они устремлялись друг к другу, сливались и тут же с треском разлетались. Сразу же бросалось в глаза, что ежи не похожи на конгломераты - скопления отдельных пульсирующих пузырьков, а представляют собой крупные, причудливой формы пузырьки...

Но не все успевал схватывать невооруженный взгляд. Ученые воспользовались привычным своим инструментом - скоростной киносъемкой. Прокрутили отснятый ролик, но... никаких ежей не обнаружили. Протуберанцы, довольно толстые отростки, затейливо изогнутые щупальца, которые словно бы выстреливались из тела крупного пузырька, никак не походили на иголки симпатичного обитателя леса. И ученые дали этому необычному созданию более прозаическое имя - большой деформированный пузырек (сокращенно БДП). На экране удалось разглядеть, как от БДП отрывались, а затем устремлялись обратно мелкие прозрачные пузырьки сферической формы.

Что это было? Кавитация, порождающая тысячеградусные температуры, колоссальные давления? Или, быть может, какое-то новое, впервые наблюдаемое явление? Для проверки, как мы уже знаем, есть особые тесты, своеобразные лакмусовые бумажки, выявляющие кавитацию - звукохимические реакции и свечение жидкостей.

Разрушая преграды

В первом же проверочном эксперименте низкочастотный звук легко запустил цепную реакцию превращения малеиновой кислоты в фумаровую. Сомнения еще оставались - реакция эта хотя и слывет у химиков сложной и капризной, но для инициирования требует сравнительно небольшой энергии. Но когда в лабораторной пробирке двухвалентное железо превратилось в трехвалентное, когда молекулы воды стали расщепляться в ней, словно орехи под ударом молотка, двух мнений быть уже не могло - возбуждена самая настоящая кавитация. Сами исследователи поначалу с трудом верили своим же результатам. Однако многократные проверки подтверждали: звукохимические реакции можно вести уже при частоте звука в 7 Гц, а некоторые растворы начинали светиться при 30 Гц.

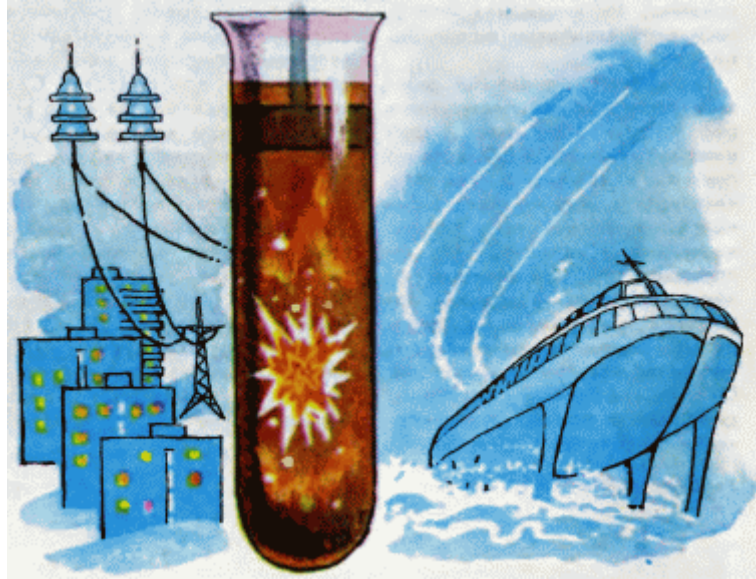
Мы ведем рассказ об открытии, которое можно назвать горячим. Исследования низкочастотной кавитации еще только начались.

Однако уже с первых дней они приносят интереснейшие результаты. Например, едва ученые увидели БДП своими глазами и убедились, что они кавитируют, как рухнула одна из самых авторитетных теорий кавитации. Считалось, что на поверхности рождающегося кавитационного пузырька возникают разноименные заряды. В определенный момент наступает электронный пробой. Отсюда - большое энерговыделение, свечение, инициирование труднейших химических реакций. Единственное условие для такого хода вещей - кавитационный пузырек должен быть... безукоризненно правильной линзообразной формы. На экране же, как мы знаем, исследователи увидели скорее какое-то фантастической формы растение.

"Досталось" не только электрической, но и другой - тепловой теории кавитации. Она гласила: в процессе быстрого сжатия и схлопывания кавитационного пузырька парогазовая смесь нагревается до тысячеградусных температур. При этом она, естественно, начинает светиться подобно нити накаливания обычной электролампочки, а плазменная температура расщепляет молекулы, инициирует самые невероятные химические реакции. Однако теперь в результате тщательнейших исследований установлено: сонолюминесценция - это такое же холодное свечение, как у мерцающих в ночи светляков.

Почти каждый новый эксперимент показывал привычную уже кавитацию с неожиданной стороны, открывал необыкновенные ее способности. Скажем, разрушительная сила высокочастотной кавитации была хорошо известна. Гладкую поверхность металлов она в считанные минуты могла превратить в шероховатую, выкрашивая довольно крупные частицы. Низкочастотная кавитация оказалась, напротив, орудием тонким, деликатным. Ей не составляло труда сгладить, отполировать самую шершавую поверхность, выкалывая лишь микроскопические частички металла.

Низкочастотная кавитация легко и быстро готовила эмульсии из несмешивающихся в обычных условиях жидкостей, дробила погруженные в жидкость гранулы твердого вещества, запускала самые энергоемкие химические реакции... Конечно, все это умеет и ультразвуковая, высокочастотная кавитация. Но чтобы создать ее, как известно, необходима особая аппаратура, генераторы. Теперь же подключай источник колебаний в сеть, какая питает домашний радиоприемник, и все полезные способности кавитации - к твоим услугам. Допустим, надо с предельной тщательностью и быстротой перемешивать вещества в химическом реакторе емкостью в несколько железнодорожных цистерн. Задача эта - самая рядовая, обычная для химической, фармацевтической, микробиологической промышленности. Традиционное решение: в качестве мешалки берут нечто вроде пропеллера или винтового шнека, изготовленные из самых



дорогих, химически стойких сплавов. А можно вмонтировать в реактор несложный источник колебаний, включить его в розетку обычной сети - эффект, как свидетельствуют расчеты, будет еще лучший.

Вряд ли кто сможет сегодня предсказать разнообразные практические приложения "второго" открытия кавитации. Пока оно лишь расчищает дорогу для более глубокого понимания этого интереснейшего явления, опрокидывает барьеры, многие десятилетия стоявшие на пути исследователей. Понимание подлинного механизма кавитации, как и

откуда возникают ее необычайные силы, еще впереди. А за ним, как всегда бывает в науке, - новые возможности для инженера, конструктора, технолога, которые сегодня невозможно и предвидеть.

Л. ГАЛАМАГА, инженер-физик
Рисунки А. МАТРОСОВА

[BACK](#)

