**Кавитация.**

**Кавита́ция** (от [лат.](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA) cavita — пустота) — процесс образования и последующего схлопывания пузырьков в потоке жидкости, сопровождающийся шумом и гидравлическими ударами, образование в жидкости полостей (кавитационных пузырьков, или пустот), которые могут содержать разреженный пар. Кавитация возникает в результате местного понижения давления в жидкости, которое может происходить либо при увеличении её [скорости](https://yandex.ru/turbo?text=https%3A//ru.wikipedia.org/wiki/%25D0%25A1%25D0%25BA%25D0%25BE%25D1%2580%25D0%25BE%25D1%2581%25D1%2582%25D1%258C&parent-reqid=1551784510653640-1125562987033807952198187-man1-4455) (гидродинамическая кавитация), либо при прохождении [акустической волны](https://yandex.ru/turbo?text=https%3A//ru.wikipedia.org/wiki/%25D0%2590%25D0%25BA%25D1%2583%25D1%2581%25D1%2582%25D0%25B8%25D1%2587%25D0%25B5%25D1%2581%25D0%25BA%25D0%25B0%25D1%258F_%25D0%25B2%25D0%25BE%25D0%25BB%25D0%25BD%25D0%25B0&parent-reqid=1551784510653640-1125562987033807952198187-man1-4455) большой интенсивности во время полупериода разрежения (акустическая кавитация), существуют и другие причины возникновения эффекта. Перемещаясь с потоком в область с более высоким давлением или во время полупериода сжатия, кавитационный пузырёк схлопывается, излучая при этом [ударную волну](https://yandex.ru/turbo?text=https%3A//ru.wikipedia.org/wiki/%25D0%25A3%25D0%25B4%25D0%25B0%25D1%2580%25D0%25BD%25D0%25B0%25D1%258F_%25D0%25B2%25D0%25BE%25D0%25BB%25D0%25BD%25D0%25B0&parent-reqid=1551784510653640-1125562987033807952198187-man1-4455). В своей основе кавитация имеет тот же механизм действия, что и ударная волна в воздухе возникающая в момент преодоления твердым телом [звукового барьера](https://yandex.ru/turbo?text=https%3A//ru.wikipedia.org/wiki/%25D0%2597%25D0%25B2%25D1%2583%25D0%25BA%25D0%25BE%25D0%25B2%25D0%25BE%25D0%25B9_%25D0%25B1%25D0%25B0%25D1%2580%25D1%258C%25D0%25B5%25D1%2580&parent-reqid=1551784510653640-1125562987033807952198187-man1-4455).

Явление кавитации носит локальный характер и возникает только там, где есть условия. Перемещаться в среде возникновения не может. Кавитация разрушает поверхность [гребных винтов](https://yandex.ru/turbo?text=https%3A//ru.wikipedia.org/wiki/%25D0%2593%25D1%2580%25D0%25B5%25D0%25B1%25D0%25BD%25D0%25BE%25D0%25B9_%25D0%25B2%25D0%25B8%25D0%25BD%25D1%2582&parent-reqid=1551784510653640-1125562987033807952198187-man1-4455), [гидротурбин](https://yandex.ru/turbo?text=https%3A//ru.wikipedia.org/wiki/%25D0%2593%25D0%25B8%25D0%25B4%25D1%2580%25D0%25BE%25D1%2582%25D1%2583%25D1%2580%25D0%25B1%25D0%25B8%25D0%25BD%25D0%25B0&parent-reqid=1551784510653640-1125562987033807952198187-man1-4455), акустических излучателей, деталей [амортизаторов](https://yandex.ru/turbo?text=https%3A//ru.wikipedia.org/wiki/%25D0%2590%25D0%25BC%25D0%25BE%25D1%2580%25D1%2582%25D0%25B8%25D0%25B7%25D0%25B0%25D1%2582%25D0%25BE%25D1%2580&parent-reqid=1551784510653640-1125562987033807952198187-man1-4455), [гидромуфт](https://yandex.ru/turbo?text=https%3A//ru.wikipedia.org/wiki/%25D0%2593%25D0%25B8%25D0%25B4%25D1%2580%25D0%25BE%25D0%25BC%25D1%2583%25D1%2584%25D1%2582%25D0%25B0&parent-reqid=1551784510653640-1125562987033807952198187-man1-4455) и др. Кавитация также приносит пользу — её применяют в промышленности, медицине, военной технике и других смежных областей.

 **Вредные последствия**

Химическая агрессивность газов в пузырьках, имеющих к тому же высокую температуру, вызывает эрозию материалов, с которыми соприкасается жидкость, в которой развивается кавитация. Эта эрозия и составляет один из факторов вредного воздействия кавитации. Второй фактор обусловлен большими забросами давления, возникающими при схлопывании пузырьков и воздействующими на поверхности указанных материалов.

Кавитационная эрозия металлов вызывает разрушение [гребных винтов](https://yandex.ru/turbo?text=https%3A//ru.wikipedia.org/wiki/%25D0%2593%25D1%2580%25D0%25B5%25D0%25B1%25D0%25BD%25D0%25BE%25D0%25B9_%25D0%25B2%25D0%25B8%25D0%25BD%25D1%2582&parent-reqid=1551784727976476-424803829867796572147192-man1-5980) судов, рабочих органов насосов, гидротурбин и т. п., кавитация также является причиной шума, вибрации и снижения эффективности работы гидроагрегатов.

**Кавитационные повреждения гребного винта**

Схлопывание кавитационных пузырей приводит к тому, что энергия окружающей жидкости сосредотачивается в очень небольших объёмах. Тем самым, образуются места повышенной температуры и возникают ударные волны, которые являются источниками шума и приводят к эрозии металла. Шум, создаваемый кавитацией, является особой проблемой на подводных лодках, так как снижает их скрытность. Эксперименты показали, что вредному, разрушительному воздействию кавитации подвергаются даже химически инертные к кислороду вещества ([золото](https://yandex.ru/turbo?text=https%3A//ru.wikipedia.org/wiki/%25D0%2597%25D0%25BE%25D0%25BB%25D0%25BE%25D1%2582%25D0%25BE&parent-reqid=1551784727976476-424803829867796572147192-man1-5980), [стекло](https://yandex.ru/turbo?text=https%3A//ru.wikipedia.org/wiki/%25D0%25A1%25D1%2582%25D0%25B5%25D0%25BA%25D0%25BB%25D0%25BE&parent-reqid=1551784727976476-424803829867796572147192-man1-5980) и др.), хотя и намного более медленному. Это доказывает, что помимо фактора химической агрессивности газов, находящихся в пузырьках, важным является также фактор забросов давления, возникающих при схлопывании пузырьков. Кавитация ведёт к большому износу рабочих органов и может значительно сократить срок службы винта и насоса. В [метрологии](https://yandex.ru/turbo?text=https%3A//ru.wikipedia.org/wiki/%25D0%259C%25D0%25B5%25D1%2582%25D1%2580%25D0%25BE%25D0%25BB%25D0%25BE%25D0%25B3%25D0%25B8%25D1%258F&parent-reqid=1551784727976476-424803829867796572147192-man1-5980), при использовании ультразвуковых [расходомеров](https://yandex.ru/turbo?text=https%3A//ru.wikipedia.org/wiki/%25D0%25A0%25D0%25B0%25D1%2581%25D1%2585%25D0%25BE%25D0%25B4%25D0%25BE%25D0%25BC%25D0%25B5%25D1%2580&parent-reqid=1551784727976476-424803829867796572147192-man1-5980), кавитационные пузыри модулируют волны в широком спектре, в том числе и на частотах излучаемых расходомером, что приводит к искажению его показаний.

**Полезные воздействия**

Хотя кавитация нежелательна во многих случаях, есть исключения. Например, сверхкавитационные торпеды, используемые военными, обволакиваются в большие кавитационные пузыри. Существенно уменьшая контакт с водой, эти торпеды могут передвигаться значительно быстрее, чем обыкновенные торпеды. Так сверхкавитационная торпеда «[Шквал](https://yandex.ru/turbo?text=https%3A//ru.wikipedia.org/wiki/%25D0%25A8%25D0%25BA%25D0%25B2%25D0%25B0%25D0%25BB_%28%25D1%2581%25D0%25BA%25D0%25BE%25D1%2580%25D0%25BE%25D1%2581%25D1%2582%25D0%25BD%25D0%25B0%25D1%258F_%25D0%25BF%25D0%25BE%25D0%25B4%25D0%25B2%25D0%25BE%25D0%25B4%25D0%25BD%25D0%25B0%25D1%258F_%25D1%2580%25D0%25B0%25D0%25BA%25D0%25B5%25D1%2582%25D0%25B0%29&parent-reqid=1551784727976476-424803829867796572147192-man1-5980)», в зависимости от плотности водной среды, развивает скорость до 370 км/ч.

Кавитация используется при [ультразвуковой очистке](https://yandex.ru/turbo?text=https%3A//ru.wikipedia.org/wiki/%25D0%25A3%25D0%25BB%25D1%258C%25D1%2582%25D1%2580%25D0%25B0%25D0%25B7%25D0%25B2%25D1%2583%25D0%25BA%25D0%25BE%25D0%25B2%25D0%25B0%25D1%258F_%25D0%25BE%25D1%2587%25D0%25B8%25D1%2581%25D1%2582%25D0%25BA%25D0%25B0&parent-reqid=1551784727976476-424803829867796572147192-man1-5980) поверхностей твёрдых тел. Специальные устройства создают кавитацию, используя звуковые волны в жидкости. Кавитационные пузыри, схлопываясь, порождают ударные волны, которые разрушают частицы загрязнений или отделяют их от поверхности. Таким образом, снижается потребность в опасных и вредных для здоровья чистящих веществах во многих промышленных и коммерческих процессах, где требуется очистка как этап производства.

В промышленности кавитация часто используется для [гомогенизации](https://yandex.ru/turbo?text=https%3A//ru.wikipedia.org/wiki/%25D0%2593%25D0%25BE%25D0%25BC%25D0%25BE%25D0%25B3%25D0%25B5%25D0%25BD%25D0%25B8%25D0%25B7%25D0%25B0%25D1%2586%25D0%25B8%25D1%258F&parent-reqid=1551784727976476-424803829867796572147192-man1-5980)(смешивания) и отсадки взвешенных частиц в коллоидном жидкостном составе, например, смеси красок или молоке. Многие промышленные смесители основаны на этом принципе. Обычно это достигается благодаря конструкции гидротурбин или путём пропускания смеси через кольцевидное отверстие, которое имеет узкий вход и значительно больший по размеру выход: вынужденное уменьшение давления приводит к кавитации, поскольку жидкость стремится в сторону большего объёма. Этот метод может управляться гидравлическими устройствами, которые контролируют размер входного отверстия, что позволяет регулировать процесс работы в различных средах. Внешняя сторона смесительных клапанов, по которой кавитационные пузыри перемещаются в противоположную сторону, чтобы вызвать [имплозию](https://yandex.ru/turbo?text=https%3A//ru.wikipedia.org/wiki/%25D0%2598%25D0%25BC%25D0%25BF%25D0%25BB%25D0%25BE%25D0%25B7%25D0%25B8%25D1%258F&parent-reqid=1551784727976476-424803829867796572147192-man1-5980) (внутренний взрыв), подвергается огромному давлению и часто выполняется из сверхпрочных или жестких материалов, например, из нержавеющей стали, [стеллита](https://yandex.ru/turbo?text=https%3A//ru.wikipedia.org/wiki/%25D0%25A1%25D1%2582%25D0%25B5%25D0%25BB%25D0%25BB%25D0%25B8%25D1%2582&parent-reqid=1551784727976476-424803829867796572147192-man1-5980) или даже поликристаллического алмаза (PCD)

Кавитацию используют для обработки топлива. Во время обработки топливо дополнительно очищается (при проведении химического анализа сразу обнаруживается существенное уменьшение количества фактических смол), и перераспределяется соотношение фракций (в сторону более лёгких). Эти изменения, если топливо сразу поступает к потребителю, повышают его качество и калорийность, как следствие, достигается более полное сгорание и уменьшение массовой доли загрязняющих веществ. Сейчас до сих пор проходят исследования по влиянию кавитации на топливо. Их проводят частные компании и институты, например Российский государственный университет нефти и газа им. И. М. Губкина.

Также были разработаны кавитационные водные устройства очистки, в которых граничные условия кавитации могут уничтожить загрязняющие вещества и органические молекулы. Спектральный анализ света, испускаемого в результате сонохимической реакции, показывает химические и плазменные базовые механизмы энергетической передачи. Свет, испускаемый кавитационными пузырями, называется [сонолюминесценцией](https://yandex.ru/turbo?text=https%3A//ru.wikipedia.org/wiki/%25D0%25A1%25D0%25BE%25D0%25BD%25D0%25BE%25D0%25BB%25D1%258E%25D0%25BC%25D0%25B8%25D0%25BD%25D0%25B5%25D1%2581%25D1%2586%25D0%25B5%25D0%25BD%25D1%2586%25D0%25B8%25D1%258F&parent-reqid=1551784727976476-424803829867796572147192-man1-5980" \t "_self).

Кавитационные процессы имеют высокую разрушительную силу, которую используют для дробления твёрдых веществ, которые находятся в жидкости. Одним из применений таких процессов является измельчение твёрдых включений в тяжёлых топливах, что используется для обработки котельного топлива с целью увеличения калорийности его горения.

Кавитационные устройства снижают вязкость углеводородного топлива, что позволяет снизить необходимый нагрев и увеличить дисперсность распыления топлива.

Кавитационные устройства используются для создания водно-мазутных и водно-топливных эмульсий и смесей, которые часто используются для повышения эффективности горения или утилизации обводнённых видов топлива.

**Лопастные насосы ,и винтов судов.**

В местах контакта жидкости с быстро движущимися твёрдыми объектами (рабочие органы насосов, турбин, гребные винты судов, подводные крылья и т. д.) происходит локальное изменение давления. Если давление в какой-то точке падает ниже давления насыщенного пара, происходит нарушение целостности среды. Или, проще говоря, жидкость закипает. Затем, когда жидкость попадает в область с более высоким давлением, происходит «схлопывание» пузырьков пара, что сопровождается шумом, а также появлением микроскопических областей с очень высоким давлением (при соударении стенок пузырьков). Это приводит к разрушению поверхности твёрдых объектов. Их как бы «разъедает». Если зона пониженного давления оказывается достаточно обширной, возникает кавитационная каверна — полость, заполненная паром. В результате нормальная работа лопастей нарушается и возможен даже полный срыв работы насоса. Любопытно, но есть примеры, когда кавитационная каверна специально закладывается при расчёте насоса. В тех случаях, когда избежать кавитации невозможно, такое решение позволяет избежать разрушительного влияния кавитации на рабочие органы насоса. Режим, при котором наблюдается устойчивая кавитационная каверна, называют «режимом суперкавитации».

**Лопастные насосы. Кавитация на стороне всасывания**

Как правило, зона кавитации наблюдается вблизи зоны всасывания, где жидкость встречается с лопастями насоса. Вероятность возникновения кавитации тем выше,

1. чем ниже давление на входе в насос;
2. чем выше скорость движения рабочих органов относительно жидкости;
3. чем более неравномерно обтекание жидкостью твёрдого тела (высокий угол атаки лопасти, наличие изломов, неровностей поверхности и т. п.)

**Центробежные насосы . Кавитация в уплотнении рабочего колеса.**

У классических центробежных насосов часть жидкости из области высокого давления проходит через щель между рабочим колесом и корпусом насоса в зону низкого давления. Когда насос работает с существенным отклонением от расчётного режима в сторону повышения давления нагнетания, расход утечек через уплотнение между рабочим колесом и корпусом возрастает (из-за увеличения перепада давления между полостями всасывания и нагнетания). Из-за высокой скорости жидкости в уплотнении возможно появление кавитационных явлений, что может привести к разрушению рабочего колеса и корпуса насоса. Как правило, в бытовых и промышленных случаях режим кавитации в рабочем колесе насоса возможен при резком падении давления в системе отопления или водоснабжения: например, при разрыве трубопровода, калорифера или радиатора. При резком падении давления в зоне рабочего колеса насоса образуется вакуум, вода при низком давлении начинает вскипать. При этом напор резко падает. Режим кавитации приводит к эрозии рабочего колеса насоса, и насос выходит из строя.

**Кавитация в двигателях.**

Некоторые большие по размеру дизельные двигатели страдают от кавитации из-за высокого сжатия и малогабаритных стенок цилиндра. В результате в стенках цилиндра образовываются отверстия, которые приводят к тому, что охлаждающая жидкость начинает попадать в цилиндры двигателя. Предотвратить нежелательные явления возможно при помощи химических добавок в охлаждающую жидкость, которые образуют защитный слой на наружных (внешних) стенках гильзового типа цилиндра . Этот слой будет подвержен той же кавитации, но он может самостоятельно восстанавливаться

**Предотвращение последствий**

Наилучшим методом предотвращения вредных последствий кавитации для деталей машин считается изменение их конструкции таким образом, чтобы предотвратить образование полостей либо предотвратить разрушение этих полостей возле поверхности детали. При невозможности изменения конструкции могут применяться [защитные покрытия](https://yandex.ru/turbo?text=https%3A//ru.wikipedia.org/wiki/%25D0%259F%25D0%25BE%25D0%25BA%25D1%2580%25D1%258B%25D1%2582%25D0%25B8%25D0%25B5_%28%25D0%25BC%25D0%25B0%25D1%2582%25D0%25B5%25D1%2580%25D0%25B8%25D0%25B0%25D0%25BB%29&parent-reqid=1551784727976476-424803829867796572147192-man1-5980), например, [газотермическое напыление](https://yandex.ru/turbo?text=https%3A//ru.wikipedia.org/wiki/%25D0%2593%25D0%25B0%25D0%25B7%25D0%25BE%25D1%2582%25D0%25B5%25D1%2580%25D0%25BC%25D0%25B8%25D1%2587%25D0%25B5%25D1%2581%25D0%25BA%25D0%25BE%25D0%25B5_%25D0%25BD%25D0%25B0%25D0%25BF%25D1%258B%25D0%25BB%25D0%25B5%25D0%25BD%25D0%25B8%25D0%25B5&parent-reqid=1551784727976476-424803829867796572147192-man1-5980" \t "_self)[сплавов](https://yandex.ru/turbo?text=https%3A//ru.wikipedia.org/wiki/%25D0%25A1%25D0%25BF%25D0%25BB%25D0%25B0%25D0%25B2&parent-reqid=1551784727976476-424803829867796572147192-man1-5980) на основе кобальта.

В системах [гидропривода](https://yandex.ru/turbo?text=https%3A//ru.wikipedia.org/wiki/%25D0%2593%25D0%25B8%25D0%25B4%25D1%2580%25D0%25BE%25D0%25BF%25D1%2580%25D0%25B8%25D0%25B2%25D0%25BE%25D0%25B4&parent-reqid=1551784727976476-424803829867796572147192-man1-5980) часто используют системы подпитки. Они, упрощённо говоря, представляют собой дополнительный насос, жидкость от которого начинает поступать через специальный клапан в гидросистему, когда в последней давление падает ниже допустимого значения. Если давление в гидросистеме не опускается ниже допустимого, жидкость от дополнительного насоса идёт на слив в бак. Системы подпитки установлены, например, во многих [экскаваторах](https://yandex.ru/turbo?text=https%3A//ru.wikipedia.org/wiki/%25D0%25AD%25D0%25BA%25D1%2581%25D0%25BA%25D0%25B0%25D0%25B2%25D0%25B0%25D1%2582%25D0%25BE%25D1%2580&parent-reqid=1551784727976476-424803829867796572147192-man1-5980).

**Другие области применения.**

Кавитация применяется для стабилизации игольчатых пуль подводных боеприпасов (например, боеприпасы автомата [АПС](https://yandex.ru/turbo?text=https%3A//ru.wikipedia.org/wiki/%25D0%2590%25D0%259F%25D0%25A1_%28%25D0%25BF%25D0%25BE%25D0%25B4%25D0%25B2%25D0%25BE%25D0%25B4%25D0%25BD%25D1%258B%25D0%25B9_%25D0%25B0%25D0%25B2%25D1%2582%25D0%25BE%25D0%25BC%25D0%25B0%25D1%2582%29&parent-reqid=1551784727976476-424803829867796572147192-man1-5980) или патроны 5.54x39 ПСП для автомата [АДС](https://yandex.ru/turbo?text=https%3A//ru.wikipedia.org/wiki/%25D0%2590%25D0%25B2%25D1%2582%25D0%25BE%25D0%25BC%25D0%25B0%25D1%2582_%25D0%25B4%25D0%25B2%25D1%2583%25D1%2585%25D1%2581%25D1%2580%25D0%25B5%25D0%25B4%25D0%25BD%25D1%258B%25D0%25B9_%25D1%2581%25D0%25BF%25D0%25B5%25D1%2586%25D0%25B8%25D0%25B0%25D0%25BB%25D1%258C%25D0%25BD%25D1%258B%25D0%25B9&parent-reqid=1551784727976476-424803829867796572147192-man1-5980)), для увеличения скорости торпед ([Шквал](https://yandex.ru/turbo?text=https%3A//ru.wikipedia.org/wiki/%25D0%25A8%25D0%25BA%25D0%25B2%25D0%25B0%25D0%25BB_%28%25D1%2581%25D0%25BA%25D0%25BE%25D1%2580%25D0%25BE%25D1%2581%25D1%2582%25D0%25BD%25D0%25B0%25D1%258F_%25D0%25BF%25D0%25BE%25D0%25B4%25D0%25B2%25D0%25BE%25D0%25B4%25D0%25BD%25D0%25B0%25D1%258F_%25D1%2580%25D0%25B0%25D0%25BA%25D0%25B5%25D1%2582%25D0%25B0%29&parent-reqid=1551784727976476-424803829867796572147192-man1-5980) и [Барракуда](https://yandex.ru/turbo?text=https%3A//ru.wikipedia.org/wiki/%25D0%2591%25D0%25B0%25D1%2580%25D1%2580%25D0%25B0%25D0%25BA%25D1%2583%25D0%25B4%25D0%25B0_%28%25D1%2582%25D0%25BE%25D1%2580%25D0%25BF%25D0%25B5%25D0%25B4%25D0%25B0%29&parent-reqid=1551784727976476-424803829867796572147192-man1-5980)).

Кавитация может быть использована для измельчения разных материалов (в том числе [руд](https://yandex.ru/turbo?text=https%3A//ru.wikipedia.org/wiki/%25D0%25A0%25D1%2583%25D0%25B4%25D0%25B0&parent-reqid=1551784727976476-424803829867796572147192-man1-5980)). Для этих процессов выпускается промышленное оборудование, в котором кавитацию получают при помощи силового ультразвука.