

*Зейлерт Андрей Владимирович*  
*Студент 2 курса магистратуры*  
*департамент «Морской техники и транспорта»*  
*Дальневосточный Федеральный университет*  
*Россия, г. Владивосток*

*Богаутдинов Данил Витальевич*  
*Студент 2 курса магистратуры*  
*департамент «Морской техники и транспорта»*  
*Дальневосточный Федеральный университет*  
*Россия, г. Владивосток*

## **ПОДВОДНЫЙ ШУМ МОРСКИХ СУДОВ: ИСТОЧНИКИ, МЕХАНИЗМЫ И ПУТИ СНИЖЕНИЯ**

***Аннотация:** Статья посвящена исследованию подводного шума, создаваемого морскими судами, с акцентом на его основные источники: шум машин, шум гребного винта и кавитацию. Обсуждаются механизмы генерации звука, включая влияние скорости судна и конструктивные особенности винтов. Рассматриваются различные типы кавитации, их влияние на уровень шума и методы снижения кавитационного эффекта через оптимизацию конструкции винтов. Статья подчеркивает важность снижения подводного шума для защиты морской экосистемы и повышения эффективности судов.*

***Ключевые слова:** подводный шум, морские суда, шум машин, шум гребного винта, кавитация, снижение шума.*

***Annotation:** The article is devoted to the study of underwater noise generated by marine vessels, with an emphasis on its main sources: machine noise, propeller noise and cavitation. The mechanisms of sound generation are discussed, including the influence of the ship's speed and the design features of the propellers. Various types of*

*cavitation, their influence on the noise level and methods of reducing the cavitation effect through optimization of the screw design are considered. The article highlights the importance of reducing underwater noise to protect the marine ecosystem and improve the efficiency of ships.*

**Keywords:** *underwater noise, marine vessels, machine noise, propeller noise, cavitation, noise reduction.*

## **Введение**

Подводный шум, создаваемый морскими судами, представляет собой значительную проблему как для морской экосистемы, так и для навигационной безопасности. Основными источниками этого шума являются работающие машины судна, гребные винты и явления кавитации. Понимание механизмов генерации звука и факторов, влияющих на его уровень, имеет решающее значение для разработки эффективных технологий снижения шума. В данной статье рассматриваются основные компоненты подводного шума, их вклад в общую акустическую сигнатуру судна и современные подходы к минимизации негативного воздействия на морскую среду.

### **Источник подводного шума от морских судов**

Общий подводный излучаемый шум судна разделяется на шум машин, шум гребного винта и потока, а также кавитацию. Вклад каждого компонента зависит от скорости судна. Исследования показали, что шум машин доминирует на низких скоростях, а кавитация - на высоких. Шум винта разделяют на кавитирующий и некавитирующий, причем кавитационный шум доминирует на высоких скоростях. Низкочастотный тональный шум возникает из-за вращения винта через поле следа. Кавитация винта является основным источником шума на высоких скоростях. Пленочная и пузырьковая кавитация возникают при падении давления на лопасти винта. Поток воздуха над корпусом и выступами также производит шум на более высоких скоростях.

## Пленочная, пузырьковая и облачная кавитация

Хотя кавитация в виде листа, пузырька и облака — это разные явления, в их происхождении есть общие черты, поэтому полезно рассматривать их вместе при рассмотрении конструкций и технологий для уменьшения их присутствия. Усилия по уменьшению этих типов кавитации были сосредоточены на соотношении площади лопасти винта и конструкции сечения. Увеличение соотношения площади лопасти позволяет лопастям винта иметь меньшую нагрузку на единицу площади при сохранении общей тяги. Это, в свою очередь, приводит к более высокому минимальному давлению на стороне всасывания, тем самым уменьшая склонность к кавитации.

Для проектирования секций предпочтительнее с точки зрения кавитации проектировать секции, которые имеют более равномерное распределение давления по длине хорды, например, секции с закругленной спинкой. Профили секций крыла, такие как 4-значная серия НАСА, имеют очень благоприятное отношение подъемной силы к лобовому сопротивлению, но они также имеют очень неравномерное распределение давления, при этом большая часть подъемной силы создается вскоре после передней кромки. Проектируя секции с более равномерным распределением давления, можно создавать ту же величину подъемной силы по длине хорды, но иметь более высокое минимальное давление, что может смягчить или, по крайней мере, снизить уровни кавитации для данной скорости. В настоящее время это обычная практика проектирования для современных винтов.

Применительно к управлению потоком на корме судна вихревые генераторы могут использоваться для передачи импульса к верхней части плоскости винта, увеличивая осевую скорость и уменьшая разделение потока. Размещение вихревого генератора на корпусе выше по потоку от винта уменьшает разделение потока в верхней мертвой точке, что приводит к уменьшению амплитуды колебаний давления на гармониках скорости

вращения лопастей. В сочетании с винтом с высоким перекосом, такая технология имеет потенциал для значительного снижения низкочастотного шума винта, а также кавитации.

### **Концевая вихревая кавитация**

Концевая вихревая кавитация привлекла большое внимание, поскольку это часто первый тип кавитации, появляющийся на современном винте. Это связано с улучшением конструкции секции винта за последние десятилетия, что привело к задержке начала кавитации листа, и теперь чаще всего концевая вихревая кавитация появляется первой. В результате были проведены обширные исследования по пониманию, прогнозированию и подавлению концевой вихревой кавитации. Обычные методы проектирования для задержки начала концевой вихревой кавитации часто основаны на разгрузке кончика, что снижает перепад давления между двумя сторонами винта вблизи кончика, тем самым снижая силу концевого вихря. Это имеет тенденцию снижать эффективность винта, поскольку отношение подъемной силы к лобовому сопротивлению поверхности винта вблизи кончика уменьшается. Было показано, что новые конструкции винта, такие как винт с укороченным и нагруженным кончиком, уменьшают наличие кавитации вихрем кончика, и теперь они установлены на ряде судов.

Также был предложен ряд активных и пассивных методов, как для подавления концевой вихревой кавитации, так и для снижения производимого шума. Одним из таких активных методов является впрыскивание воды или полимерного раствора в вихревое ядро, что увеличивает радиус ядра и, следовательно, увеличивает давление в вихревом ядре. Использование полимерного впрыскивания для крыльев и винтов впервые было использовано в попытке уменьшить сопротивление, но впоследствии было обнаружено, что оно может быть успешным для задержки начала концевой вихревой кавитации.

Альтернативный, но связанный метод заключается в прикреплении гибкого волокна к кончику, который втягивается в вихревое ядро. Исследования по впрыску воды и полимера показали, что результаты сильно зависят от местоположения инъекционного порта. Это приводит к проблемам с повторяемостью и потенциально ограничивает условия, при которых этот метод будет эффективным.

Наряду с активными методами были разработаны также пассивные методы для уменьшения или подавления концевой вихревой кавитации. Было показано как экспериментально, так и численно, что шероховатость поверхности может использоваться для подавления кавитации. Эти исследования показали, что шероховатость изменяет процесс сворачивания вихря, что приводит к более слабому формированию вихря с более высоким давлением в сердечнике, чем наблюдается для гладкой лопасти. Очевидно, что здесь существует компромисс между подавлением вихря и эффективностью винта, которая ухудшается из-за наличия шероховатости поверхности.

### **Снижение шума за счет снижения нагрузки на винт**

Чем больше загружен винт, тем больше он производит шума из-за более низкого давления на задней стороне лопасти и увеличения кавитации. Более высокая загрузка повышает перепад давления, создавая сильные вихри и шум дипольного типа, обусловленный колебаниями давления. Уменьшение скорости вращения винта рассматривается как способ снижения шума, и энергосберегающие устройства, которые обеспечивают дополнительную тягу или повышают эффективность, могут помочь. Однако снижение тяги за счет уменьшения шага может привести к увеличению уровня шума из-за кавитации. Новые устройства, такие как роторы Флеттнера и воздушные змеи, могут снижать нагрузку на винт, что, в свою очередь, уменьшит кавитацию и шум. Эффективные устройства, как предвихревые статоры и каналы, также могут снизить шум, но стоит учитывать, что они могут генерировать

собственный шум. Важен комплексный подход к оценке их влияния на уровень шума.

### **Заключение**

Исследование подводного шума морских судов показывает, что различные источники звука имеют свои уникальные характеристики и зависят от множества факторов, включая скорость судна и конструктивные особенности винтов. Кавитация является одним из основных источников шума на высоких скоростях, что требует внимания со стороны проектировщиков и инженеров. Оптимизация конструкции винтов и использование современных технологий могут значительно снизить уровень подводного шума и его негативное воздействие на морскую жизнь. Будущие исследования должны сосредоточиться на разработке более эффективных методов снижения шума и улучшении экологической устойчивости морского транспорта.

### **Список источников**

1. Кузнецов В. А. Подводный шум и его влияние на морскую экосистему. М.: Научный мир, 2015.
2. Соловьев А. И., Петров Н. В. Шумовые характеристики морских судов и их влияние на морскую фауну. Журнал прикладной акустики, 2018. – 45-52 с.
3. Романов Д. С. Акустика подводного пространства: теория и практика. СПб.: Издательство Политехнического университета 2019.
4. Федоров Е. А., Иванов И. П. Кавитация и ее влияние на подводный шум судов. Технические науки и технологии, 2020. – 78-85 с.
5. Васильев А. Ю. Современные методы снижения подводного шума судов. Морская техника и технологии, 2021. – 30-37 с.