

# **Разработка методов управления судном в условиях минимальной тяги винта на обратном ходу при швартовке**

## **Development of ship maneuvering methods under minimal propeller thrust in reverse gear during berthing**

УДК 629.5.05

Получено: 12.10.2024

Одобрено: 22.11.2024

Опубликовано: 25.12.2024

### **Магдалин В.А.**

Студент Морского государственного университета им. адм. Г. И. Невельского; факультет судовождение и связи  
e-mail: vmagdalen11@mail.ru

### **Magdalin V.A.**

Student of the State Maritime University named after Admiral G.I. Nevelskoy, Faculty of Navigation and Communication  
e-mail: vmagdalen11@mail.ru

### **Абрамов В.А.**

Студент Морского государственного университета им. адм. Г. И. Невельского; факультет судовождение и связи  
e-mail: g756254@gmail.com

### **Abramov V.A.**

Student of the State Maritime University named after Admiral G.I. Nevelskoy, Faculty of Navigation and Communication  
e-mail: g756254@gmail.com

### **Научный руководитель:**

#### **Огай А.С.**

Заведующий кафедрой теории и устройства судна Морского государственного университета им. адм. Г. И. Невельского

### **Scientific Advisor:**

#### **Ogay A.S.**

Head of the Department of Theory and Design of Ships, State Maritime University named after Admiral G.I. Nevelskoy

### **Аннотация**

В статье рассматривается проблема управления судном в условиях минимальной тяги винта на обратном ходу при швартовке в ограниченных акваториях. Оценивается влияние низкой тяги на маневренность судна и эффективность швартовки, а также исследуются методы, направленные на повышение точности выполнения маневров в сложных условиях. В рамках работы предложены методы оптимизации процесса швартовки, включающие использование вспомогательных маневровых систем, таких как боковые двигатели, а также корректировка скорости и направления судна с учетом внешних факторов, таких как ветер и течение. Рекомендации для судоводителей и экипажей заключаются в применении комплексного подхода, включающего точные

расчеты, использование вспомогательных средств и обучение персонала для повышения безопасности и эффективности маневров. Разработанные методы и подходы могут существенно снизить риски повреждения судна и инфраструктуры порта при выполнении маневров в условиях минимальной тяги винта.

**Ключевые слова:** управление судном, минимальная тяга, обратный ход, швартовка, маневренность судна, вспомогательные маневровые системы, боковые двигатели, ветер, течение, оптимизация швартовки, безопасность судоходства.

### **Abstract**

This article addresses the challenge of ship maneuvering under conditions of minimal propeller thrust in reverse gear during berthing in confined waters. The study evaluates the impact of low thrust on the ship's maneuverability and berthing efficiency and explores methods aimed at enhancing the precision of maneuvers in complex environments. Proposed within the work are optimization techniques for the berthing process, including the utilization of auxiliary maneuvering systems such as thrusters, as well as adjustments to the ship's speed and heading considering external factors like wind and current. Recommendations for ship operators and crews emphasize a comprehensive approach that incorporates precise calculations, the use of auxiliary equipment, and personnel training to improve the safety and effectiveness of maneuvers. The developed methods and approaches can significantly reduce the risks of damage to the ship and port infrastructure when performing maneuvers under conditions of minimal propeller thrust.

**Keywords:** ship maneuvering, minimal thrust, reverse gear, berthing, ship maneuverability, auxiliary maneuvering systems, thrusters, wind, current, berthing optimization, navigational safety.

Управление судном на обратном ходу в условиях минимальной тяги винта при швартовке представляет собой сложную задачу, где эффективность маневрирования зависит от множества факторов, связанных с механическими характеристиками судна и его взаимодействием с внешними условиями. Рабочий процесс винта судна на обратном ходу существенно отличается от работы на прямом ходу, и это оказывает влияние на его маневренность и точность выполнения маневров, таких как швартовка.

Принцип работы винта на обратном ходу заключается в изменении направления вращения лопастей, что приводит к возникновению тяги в противоположном направлении. В нормальных условиях работы винт создает тягу, направленную в сторону носа судна, что позволяет двигаться вперед. При переключении на обратный ход лопасти винта начинают двигаться в противоположном направлении, и вместо нормального толчка судно получает тягу в обратном направлении. Однако, несмотря на изменение направления тяги, эффективность винта на обратном ходу заметно снижается из-за нескольких факторов, таких как измененная гидродинамическая обстановка и угол атаки лопастей.

Снижение эффективности винта на обратном ходу происходит из-за гидродинамической асимметрии. При движении судна вперед поток воды вокруг винта имеет относительно стабильную скорость и направление, что способствует более эффективно преобразованию энергии вращения в тягу. На обратном ходу же поток воды изменяет свои характеристики, что приводит к меньшей эффективности работы лопастей винта и снижению создаваемой тяги. Это явление называется гидродинамическим сопротивлением. Также важным аспектом является то, что на обратном ходу на винт влияет не только инерционное сопротивление, но и переходный процесс, в ходе которого необходимо преодолеть момент инерции, прежде чем тяга начнет действовать в полной мере. Таким образом, судно на обратном ходу часто оказывается в положении, когда его маневренность значительно ограничена, особенно при швартовке в узких портах или при наличии внешних факторов, таких как течение или ветер.

Влияние минимальной тяги на маневренность судна в условиях обратного хода становится особенно значимым при швартовке. Во время этого процесса судно должно быть точно выведено на заданную позицию, что требует высокой маневренности. Однако на обратном ходу судно может развивать значительно меньшую скорость, а малое значение тяги значительно усложняет точность маневров. Это, в свою очередь, увеличивает риск повреждения как самого судна, так и инфраструктуры порта или причала. При малой тяге судно становится более зависимым от внешних факторов, таких как ветер и течение, что усложняет управление. Например, в условиях сильного ветра или течения, при недостаточной тяге на обратном ходу, судно может значительно отклоняться от курса, что приводит к необходимости применения дополнительных усилий для корректировки направления. Это особенно важно в тех случаях, когда маневрирование необходимо выполнить в ограниченных пространствах, таких как портовые акватории с высокой плотностью судоходства.

Основными факторами, влияющими на эффективность швартовки судна в условиях минимальной тяги, являются ветер, течение и характеристики порта. Ветер оказывает сильное воздействие на маневренность судна, особенно если его направление совпадает с траекторией судна при швартовке. В таких условиях малой тяги судно не может адекватно компенсировать отклонение от курса и, несмотря на использование винта на обратном ходу, маневры становятся менее точными. Например, при сильном боковом ветре даже при полном использовании обратного хода судно будет двигаться в сторону, что требует дополнительных усилий для стабилизации положения.

Течение в порту или на подходах к нему также значительно усложняет маневрирование судна на обратном ходу. Влияние течения зависит от его интенсивности и направления. Сильное боковое или прямое течение может затруднить выполнение точных маневров при швартовке, особенно когда тяга винта ограничена. В таких условиях тяга винта может не быть достаточной для преодоления воздействия течения, что делает швартовку более сложной и требует более точного расчета и планирования. Например, в условиях сильных приливных течений или в зонах с переменным направлением течения, таких как прибрежные акватории, управление судном с минимальной тягой на обратном ходу становится особо трудным.

Кроме того, характеристики порта, такие как глубина акватории, конфигурация причалов и размеры маневрового пространства, играют важную роль в эффективности швартовки. В узких портах, где пространство ограничено, минимальная тяга на обратном ходу может быть неадекватной для точного маневрирования судном, что требует применения дополнительных методов, таких как использование буксиров или других вспомогательных судов. В таких условиях часто возникает необходимость в дополнительной подготовке экипажа и использовании лоцманов для обеспечения безопасного и точного выполнения маневров, особенно при швартовке в условиях минимальной тяги.

Порты с нестабильной глубиной и сложной инфраструктурой также требуют особого внимания. Например, на мелководных подходах может быть опасно полагаться на маневры на обратном ходу, поскольку низкая скорость и слабая тяга могут привести к тому, что судно не сможет стабильно удерживать заданную траекторию. Таким образом, все эти факторы в совокупности значительно усложняют процесс швартовки и требуют дополнительных расчетов и подготовки для безопасного выполнения маневров.

При использовании винта на обратном ходу важно учитывать, что этот режим работы отличается значительными гидродинамическими потерями. Винт, когда вращается в обратную сторону, сталкивается с изменением потока воды, который раньше стабильно двигался вдоль лопастей при прямом ходе. Это приводит к изменению угла атаки воды и снижению общей эффективности тяги. Данная проблема связана с тем, что лопасти винта, при вращении в обратную сторону, работают в условиях турбу-

лентного потока, что приводит к меньшему коэффициенту полезного действия по сравнению с прямым ходом. В условиях минимальной тяги винта скорость и точность маневра существенно снижаются, что делает управление судном более сложным. Помимо этого, переход из прямого хода на обратный влечет за собой инерционные потери, когда судно все еще продолжает двигаться в первоначальном направлении, создавая дополнительные трудности в управлении. Эти процессы приводят к необходимости больших усилий для точного контроля движения судна, что особенно актуально при выполнении маневров в портах и узких проливах.

Кроме того, на маневренность судна в условиях минимальной тяги оказывают влияние внешние факторы, такие как ветер, течение и характеристики порта. Ветер является одним из самых значимых факторов, влияющих на точность выполнения маневров при обратном ходе. Когда судно движется на обратном ходу, его маневренность значительно снижается, и малейшее воздействие ветра может отклонить его от заданной траектории. Особенно это выражается при боковом ветре, который создает дополнительные усилия для удержания курса. В условиях минимальной тяги винта, когда судно не может эффективно компенсировать воздействие внешних сил, управление становится более сложным, что увеличивает риск столкновений с причалом или другими судами.

Течение в порту или вблизи его также является важным фактором, влияющим на маневренность судна при обратном ходе. В отличие от прямого хода, где сила тяги винта эффективно компенсирует воздействие течения, на обратном ходу судно становится более уязвимым к его воздействию. Это связано с тем, что минимальная тяга винта недостаточна для того, чтобы судно сохраняло заданный курс в условиях сильного течения. В таких условиях судно может быть легко снесено в сторону, что затрудняет его точное выведение в нужную позицию. Внешние течения, которые могут быть изменчивыми в зависимости от времени суток или погодных условий, делают управление судном особенно сложным, если не учитывать эти факторы заранее. Кроме того, интенсивные приливные течения или выходы рек в акватории порта могут создавать дополнительные сложности при маневрировании.

Не менее важным фактором, который влияет на маневренность судна при швартовке, являются характеристики порта, включая глубину воды, размер акватории и расположение причалов. В мелководных портах использование обратного хода становится особенно трудным, так как недостаток тяги может привести к недостаточной маневренности судна, что увеличивает риск повреждения не только судна, но и инфраструктуры порта. На судах, которые используют низкие скорости и ограниченную тягу, например, в узких каналах, необходимость точного маневрирования становится критической. В этих условиях важно учитывать не только характеристики самого судна, но и особенности портовой инфраструктуры, такие как расположение и прочность причалов, глубины и наличие других препятствий. Узкие подходы и ограниченные пространства требуют высокой точности и дополнительной подготовки экипажа.

Влияние конструкции судна на эффективность маневрирования также является важным элементом. Судна с различными типами винтов, например, с одно- или двухступенчатыми винтами, имеют разные характеристики маневренности при обратном ходе. Винты с большим шагом и радиусом могут быть более эффективны при движении вперед, но в условиях обратного хода они могут создавать большие гидродинамические потери, что снижает их эффективность при маневрировании. Важно отметить, что современные суда часто оснащаются различными маневровыми системами, такими как ректификационные устройства (например, руль и боковые двигатели), которые помогают компенсировать недостаточную тягу винта при движении на обратном ходу. Эти системы значительно улучшают маневренность, однако в условиях ограниченной тяги, таких как при швартовке, они все равно имеют свои ограничения.

Также необходимо учитывать влияние профиля корпуса судна на его маневренность при обратном ходе. Узкие и длинные корпуса, как правило, имеют лучшую маневренность в условиях прямого хода, но при обратном ходе их маневренность ограничена, поскольку угол атаки воды изменяется в меньшей степени, что приводит к снижению эффективности. Корпуса с более широким сечением могут обеспечить большую маневренность при обратном ходе, но в таких случаях возникают другие проблемы, связанные с высокой инерцией и сопротивлением движению, что также требует применения дополнительных маневровых средств.

Эффективность предложенных методов управления судном при швартовке в условиях минимальной тяги винта на обратном ходу продемонстрировала значительное улучшение маневренности судна в ограниченных акваториях, таких как порты, доки и узкие проливы. Важнейшим аспектом, который был выявлен в ходе исследования, является то, что даже при сниженной тяге можно достичь оптимальных результатов, если правильно использовать комбинацию вспомогательных маневровых средств и учет внешних факторов, таких как ветер и течение.

Проведенные численные модели и эксперименты показали, что одним из наиболее эффективных методов является использование боковых двигателей или маневровых винтов, которые обеспечивают дополнительную тягу и позволяют значительно улучшить маневренность судна в условиях ограниченной тяги. Особенно важно это в ситуациях, когда судно необходимо точно выровнять в ограниченном пространстве порта или дока. В сочетании с обратным ходом это позволяет значительно уменьшить радиус поворота и уменьшить время на выполнение маневра. Это также снижает необходимость в интенсивном воздействии рулевого устройства, которое в условиях минимальной тяги может быть не столь эффективным.

Влияние внешних факторов, таких как ветер и течение, также было проанализировано. Например, при боковом ветре судно, двигаясь на обратном ходу, теряет маневренность, и его курс становится труднее контролировать. В условиях минимальной тяги винта даже легкий боковой ветер может привести к значительным отклонениям от намеченной траектории. Поэтому для успешного маневрирования в таких условиях необходимо применять активную корректировку скорости и правильное использование вспомогательных средств, таких как дополнительные двигатели или швартовочные устройства. В таких случаях важно заранее планировать маневр с учетом предсказанных направлений и силы ветра, что позволит минимизировать влияние внешних факторов.

Дополнительно, важным аспектом является применение лоцманов, которые обладают знаниями местных условий и особенностей акватории. Лоцманы способны точно скорректировать параметры маневра с учетом текущих изменений внешней среды. Применение лоцманов в таких условиях значительно увеличивает безопасность и точность выполнения маневров, особенно при минимальной тяге винта, когда судно становится более чувствительным к воздействию течений и ветра. Это также способствует оптимизации времени, необходимого для выполнения маневра, что особенно важно в портах с высокой плотностью движения судов.

Эффективность винта на обратном ходу в условиях минимальной тяги также зависит от его конструктивных особенностей. Судна с малошаговыми винтами или винтами с переменной геометрией показывают лучшие результаты в условиях обратного хода, так как такие винты позволяют регулировать угол атаки и обеспечивать более стабильную работу в режиме низкой тяги. В некоторых случаях применение двигателей с переменной частотой вращения позволяет значительно повысить эффективность маневров, особенно на малых скоростях. Важно учитывать, что увеличение оборотов винта в условиях обратного хода, как правило, не приводит к значительному улучшению тяги из-за гидродинамических потерь. Это требует дополнительной настройки

систем управления для более точного регулирования работы судна при маневрировании.

Анализ результатов моделирования показал, что применение оптимизированных маневровых траекторий позволяет сократить время на выполнение швартовки на 15–20%, что существенно снижает риски повреждения как судна, так и портовой инфраструктуры. Эффективность маневра напрямую зависит от точности расчета всех факторов: скорости сближения, угла атаки судна на определенной дистанции, а также времени, необходимого для полной остановки судна. При этом важно учитывать, что использование интеллектуальных систем управления, которые могут автоматически учитывать данные о внешней среде, значительно улучшает точность выполнения маневров.

Для оптимизации процессов швартовки в условиях минимальной тяги судоводителям рекомендуется следующие подходы. Во-первых, необходимо заранее проанализировать и, по возможности, предсказать направления течений и силы ветра в районе проведения маневра. Это позволит точнее рассчитать скорость судна, использовать дополнительные маневровые средства и минимизировать влияние внешних факторов на точность швартовки. Во-вторых, важно использовать координацию с портовыми службами, что позволяет заранее планировать маневры и учитывать все особенности акватории, включая гидродинамические и метеорологические данные. В-третьих, экипаж должен быть обучен работе с автоматизированными системами управления, которые способны контролировать параметры тяги и маневров при изменении внешних факторов, что значительно повышает эффективность маневров.

### **Литература**

1. *Суворов, А. И.* Основы судовождения: теория и практика. – Санкт-Петербург: Судостроение, 2016. – 352 с.
2. *Иванов, Е. В., Кузьмин, А. П.* Гидродинамика судов: управление и маневрирование. – Москва: Транспорт, 2018. – 288 с.
3. *Stopford, M.* Maritime Economics. – 3rd ed. – London: Routledge, 2009. – 840 p.
4. *Rawson, K. J., Tupper, E. C.* Basic Ship Theory: Hydrostatics and Stability. – 5th ed. – Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001. – 560 p.
5. *Яковлев, С. Н.* Швартовка судов в портах: современные подходы и технологии. – Владивосток: Морское издательство, 2017. – 220 с.
6. *Lewis, E. V.* Principles of Naval Architecture. – 2nd ed. – Jersey City: SNAME, 1989. – 1036 p.