

Особенности и способы автоматизированной борьбы с обрастанием корпусов рыбопромысловых судов

DOI

В.А. Пелешенко –

к.т.н., MRINA,

Доцент Департамента анализа
данных и машинного обучения
Финансового университета
при Правительстве Российской
Федерации

@ vitaliy.peleshenko@yandex.ru

Ключевые слова:

обрастание,
рыбопромысловые суда,
система очистки

Keywords:

fouling, fishing vessels,
cleaning system

FEATURES AND METHODS OF AUTOMATED CONTROL OF FOULING
OF HULLS OF FISHING VESSELS

V.A. Peleshenko – Ph.D., MRINA, C.Eng., Associate Professor, Department of data analysis and machine learning of the Financial University under the Government of the Russian Federation

The article is devoted to the problems of fouling of fishing vessels. The analysis of the stages of fouling, as well as the effect of fouling on hydrodynamic and operational parameters is presented. The features of the automated system for combating fouling of ship hulls are described.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время при ведении рыбного промысла основополагающим фактором является рентабельность эксплуатации рыбопромыслового флота. Достичь ее можно за счёт увеличения выловов при помощи более совершенного рыбопромыслового оборудования в совокупности со снижением затрат на эксплуатацию флота. Основной статьей эксплуатационных затрат является потребляемое топливо, которое, в свою очередь, зависит от характеристик судовой энергетической установки и гидродинамических свойств корпусов судов. Истощение прибрежных запасов гидробионтов переместило районы промысла в отдаленные акватории, что увеличило длину переходов при выполнении рабочих рей-

сов. Снижение концентрации гидробионтов также увеличивает время траления. Таким образом, необходимы большие затраты энергетических и, следовательно, топливных ресурсов. Срок эксплуатации судов составляет около 30 лет. Внести какие-то существенные изменения в конструкцию корпуса судна и оборудования машинного отделения, с целью снижения топливных затрат, практически невозможно. Однако одним из существенных факторов, влияющих на гидродинамические показатели, являются объемы присоединенных масс при движении судна. При тралении и переходах помимо энергии, затраченной на перемещение судна и трала, также затрачивается энергия на перемещение тонн жидкости, движу-

щется вместе с судном. Это сложный гидродинамический процесс. От части он определен формой корпуса судна, но более существенным фактором, который оказывает влияние на этот процесс, является шероховатость поверхности подводной части корпуса судна. Главной причиной шероховатости подводной части корпуса судна и его неоднородности обтекания является обрастание подводной части корпуса судна морскими микроорганизмами [1]. Моряки и докеры, как правило, на своем профессиональном языке выделяют трех вредителей: черные ракушки, белые ракушки и водоросли. С точки зрения гидробиологии, только известных видов микроорганизмов с уникальной спецификой для различных районов промыслов, вызывающих обрастание, насчитывается более двух тысяч. Издревле для очистки судов применялись механические способы. Согласно корабельной культуре, происходит ежедневная очистка палуб, надстроек и внутренних помещений. Подводная часть судна является труднодоступной для очистки. Для того, чтобы провести снятие обрастания необходимо поставить судно в док и поднять корпус из-под воды. Эта процедура дорогостоящая. Также это выводит судно из режима эксплуатации на длительный период времени, что приводит к дополнительным затратам. Очистка происходит раз в два года, в случае освидетельствования судна Морскими регистрами при измерении толщин обшивки, к которой невозможно добраться, если не очистить корпус от обрастаний. Решением вышеизложенных проблем является включение в общесудовое оборудование судна системы непрерывной роботизированной подводной очистки, что позволит существенно улучшить гидродинамические показатели, сократить потребление топлива и повысить рентабельность промысла. Эта статья посвящена проблемам обрастания и разработке автоматической системы борьбы с данным явлением.

ОСОБЕННОСТИ ОБРАСТАНИЯ РЫБОПРОМЫСЛОВЫХ СУДОВ

Согласно проведенным исследованиям было выявлено, что даже незначительное обрастание судна приводит к существенному изменению линий тока жидкости вокруг подводной части корпуса. При проектировании судна обводы корпуса тщательно подбираются совместно с пропульсивной установкой, включающей гребной винт и главный двигатель. Вместе они образуют единую систему, в которой судостроители находят идеальный баланс, позволяющий добиться максимальной энергоэффективности. Изменение обтекания из-за обрастания провоцирует снижение эффективности гребных винтов, вследствие чего происходит снижение частоты вращения от 3% до 6%. Для поддержания заданной скорости двигателю приходится работать на более высоких оборотах, что увеличивает потребление топлива от 10% до 15%. При сильных обрастаниях гидродинамическое сопротивление судна может увеличиться до 30%. В данном случае компенсация за счет увеличения частоты двигателя уже не позволяет сохранить скорость судна, и скоростные показа-

тели судна начинают отклоняться от его проектных значений. В среднем, при нахождении в умеренно теплых водах, каждый день судно теряет 0,25% скоростных характеристик. В тропических водах эта цифра достигает 0,5%. Таким образом, ежедневная потеря скорости достигает в среднем от 0,02 до 0,06 узла, что негативно сказывается на длине перехода и осуществлении промысла.

При сильных обрастаниях компенсационная мощность двигателя может возрастать до 20%, а удельный расход топлива до 40% [2]. Работа двигателя в перегруженных режимах негативно сказывается на пропульсивных характеристиках судна, приводит к снижению его ресурса, частым поломкам и частым ремонтам, во время которых невозможна эксплуатация судна.

На рисунке 1 представлены стадии процесса обрастания корпуса судов.

Начинается обрастание с того, что на чистый корпус судна оседают микроскопические бактерии, которые прилепляются к обшивке и начинают быстро размножаться. Это приводит к образованию на корпусе пленки, которая служит основой для образования более крупных структур. Далее на корпусе начинают развиваться водоросли, а затем моллюски и мидии. Корпус судна начинает служить транспортом для колоний различных видов микроорганизмов. Вместе с тем, экосистемы в районах промысла очень хрупкие. При длинных переходах рыбопромысловые суда заносят в районы промысла инвазивные виды, которые могут представлять угрозу для популяции добываемых гидробионтов. И если сбор балластных вод, которые также выступают источником переноса инвазивных морских видов, с 2004 г. регулируется международной конвенцией [3], то правового регулирования очистки корпуса и сброс, налипших на него, водных микроорганизмов без переноса их в новые акватории на текущий момент, нет как на законодательном, так и на техническом уровне [4]). Решением этой проблемы может стать обязательное внедрение в общесудовое оборудование специализированных технических средств, позволяющих осуществлять данную процедуру. Ввиду труднодоступности очищаемых поверхностей, находящихся в подводной части, и необходимости осуществления очистки непрерывным способом, то есть также при движении

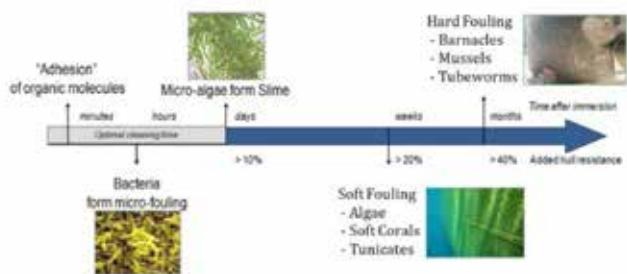


Рисунок 1. Стадии процесса обрастания корпуса рыбопромыслового судна

Figure 1. Stages of the process of fouling the hull of a fishing vessel

судна на переходах и при осуществлении промысла, это невозможно сделать при помощи ручного труда. Для осуществления процедуры очистки необходимо применить автоматизированную роботизированную систему очистки, способную осуществлять работу без участия человека. Это позволит решить ранее изложенные проблемы, а также увеличит эффективность очистки и снизит элемент применения человеческого фактора и риск травматизма членов экипажа, отвечающих за выполнение работ по очистке судовых конструкций.

ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПОДВОДНОЙ ОЧИСТКИ ОТ ОБРАСТАНИЯ СУДОВ РЫБОПРОМЫСЛОВОГО ФЛОТА

Вместе с кажущейся простотой технического решения, создание роботизированной автоматизированной системы является не простой задачей. Первая трудность заключается в необходимости удержания рабочего оборудования на очищаемой поверхности корпуса. Современные системы роботизированной очистки стали обыденными и повседневно используются даже в домашнем применении, но ни одна из них, даже в условиях нахождения на поверхности, не способна эффективно осуществлять очистку на вертикальных поверхностях. Существовали разработки устройств, которые использовались для очистки остеклённых небоскрёбов. Это такие как Skyline Robotics, но они используют уже существующую инфраструктуру с вертикальными внешними лифтами, не подходящую для криволинейных обводов корпусов судов. Одним из основных способов удержания на вертикальных поверхностях считается создание разряжения между удерживающим объектом и поверхностью. Технически это часто реализуется за счёт упругих вогнутых дисков, полость которых изолируется от окружающей среды, после чего в ней создаётся пониженное давление. В простом исполнении, под действием внешней силы, вогнутый диск распластывается по ровной поверхности, а после исчезновения деформирующего воздействия, за счёт внутренней упругости, восстанавливает форму. За счёт этого возрастаёт объём полости и образуется необходимое разряжение. Такой способ удержания используется многими морскими обитателями такими как ось-

миноги, моллюски и т.д. Но это не подходит для поверхностей, которые загрязнены обрастанием. Ввиду неровности поверхности между объектом удержания и очищаемой поверхностью всегда будет существовать зазор, который не позволит обеспечить герметичность полости разряжения. Возможна техническая реализация с непрерывной откачкой жидкости из полости для поддержания разряжения, несмотря на отсутствие герметичности. Но при очистке частицы ракушек и водорослей уже через несколько минут выводят из строя обеспечивающие разряжение насосные станции. Кроме того, данный способ является энергозатратным и не способен обеспечить высокие показатели прижимной силы, необходимые для удержания оборудования очистки во время эксплуатации при движении судна в струе набегающего потока жидкости. Альтернативным решением является использование конструкционных особенностей корпусов судов. Как правило, корпус рыбопромысловых судов изготовлен из корабельной стали марки Ст3 обладающей высокими магнитными свойствами. Таким образом, удержание на поверхности может осуществляться при помощи магнитных полей. В частности, для контролируемого магнитного поля, с целью обеспечения возможности движения конструкции роботизированного комплекса подводной очистки, наиболее рациональным техническим решением является использование электромагнитов. Экспериментальным путем было доказано что даже при высоких показателях обрастания на 1 см² контактной поверхности электромагнита приходится от 1 до 2 кг силы удержания. Таким образом, даже при небольших размерах робота для подводной очистки с габаритами 0,5x0,5 м можно достичь силы удержания от 2,5 до 5 тонн. Данных показателей достаточно для того, чтобы удерживать на днище судна подводные механизмы для очистки при любых эксплуатационно-скоростных режимах судна.

Вторая проблема реализации подобных систем очистки состоит в разработке эффективной технологии. При доковании обрастания удаляют методом пескоструйной очистки. При данном способе корпус судна подвергают воздействию высокоэнергетических потоков жидкости, насыщенных абразивным порошком. При этом способе вместе с удалением обрастаний также происходит повреждение лакокрасочного покрытия, которое в последствии обновляется свежей краской. В качестве абразива выступает кварцевый песок, который по экологическим нормам недопустимо применять в открытых акваториях [3]. Ввиду этих двух особенностей, данный способ непригоден для автоматизированной роботизированной подводной системы очистки. При проведении изысканий, в первых опытных образцах разрабатываемой системы предполагалось, что идеальным рабочим элементом для очистки от обрастаний является окружающая вода, которая постоянно воспроизводится в качестве инструмента очистки. Исследовалась возможность очистки кавитационным способом [5] при давлениях потока 0,2-0,6 Мпа [6]. Теоретически данные показатели давления должны были позволить произвести очистку покрытия за счет строго направленного импульсного истечения. При этом давление потока 0,2-0,6 Мпа не поврежда-



ет существующее лакокрасочное покрытие корпуса судна [7; 8]. Технические данные показателей давления были достигнуты при помощи промышленного насосного оборудования и насадок «Вентури», выполненных из металлокерамики. Выходные отверстия насадок «Вентури» имели щелевое исполнение, истечение воды осуществлялось через главный диффузор. Щель главного диффузора конструкционно увеличивалась от 3 до 20 мм. При проведении экспериментов было выявлено, что данная конструкция средств очистки хорошо справляется с водорослями, моллюсками и слизью, вызванной микроводорослями и бактериями. Очистка от раковин более крупных морских организмов при этом производилась недостаточно хорошо. Анализ данных замедленной съемки показал, что при ударе водного потока по створке раковины её ребристая поверхность эффективно рассеивала поток жидкости, превращая в серию вихревых течений. Видимо, данное явление обусловлено эволюционным совершенством конструкции раковин морских микроорганизмов, которым приходилось бороться с сильными течениями, оставаясь при этом на местах заселения колонии. Для решения данной проблемы в конструкцию средств очистки была внедрена крыльчатка. Под воздействием гидродинамического потока крыльчатка вращается и при помощи ударной нагрузки счищает раковины. При проведении экспериментов было получено, что предельное напряжение сдвига раковины составляет 16,6-16,9 Мпа. Таким образом, для того чтобы убрать раковину с поверхности судна, необходимо затратить 1,86 Дж энергии, величина импульса при этом составляет 0,68 кг м/с, а величина силы, приложенной к стенке раковины, – 800 Н. Для осуществления качественной работы крыльчатки, ее грани должны быть достаточной толщины и жесткости, чтобы исключить деформацию при воздействии на стенки раковин. При работе передняя грань крыльчатки ударяет по стенке раковины с силой, достаточной для ее разрушения или сдвига, а нижняя грань подчищает зазубрины, оставшиеся после разрушения раковины на высоте 1-2 мм от действующего лакокрасочного покрытия. При цикличном воздействии инструмент периодически освобождается от основной нагрузки, а в момент вхождения в контакт с обрабатываемым материалом используется ускорение и при неизменной массе создается усилие, пропорциональное этому ускорению. Иными словами, при цикличной нагрузке проявляются свойства виброинструмента, которые позволяют развивать усилия значительно большие, чем при статически приложенной нагрузке. Таким образом, пластины крыльчатки импульсно воздействуют на раковины с периодичностью, определяемой скоростью кругового движения и количеством пластин в крыльчатке. Это решает противоречивую задачу надежного удаления всех видов обрастаний с подводной части судна при низких энергозатратах и сохранении лакокрасочного покрытия.

На рисунке 2 представлено конструкционное исполнение автоматической роботизированной системы очистки корпусов рыболовных судов от обрастания.

В настоящее время ведутся работы по прототипированию системы. Конструкция получила вы-

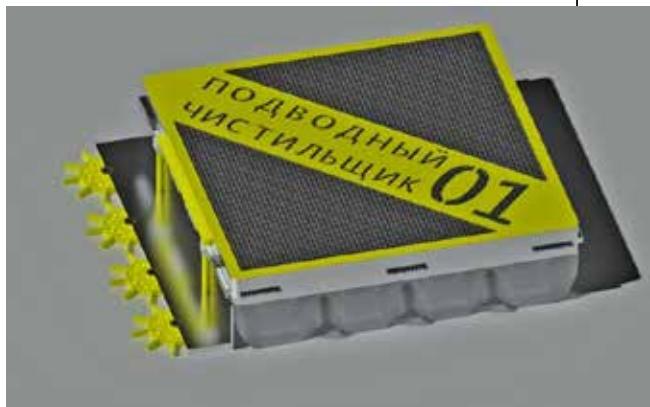


Рисунок 2. Автоматическая роботизированная система подводной очистки

Figure 2. Automatic robotic underwater cleaning system

сокие оценки экспертов российского инновационного центра Сколково.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках проведённого исследования была создана система, позволяющая производить непрерывную очистку подводной части корпусов рыбопромысловых судов от различных видов обрастаний. Внедрение данного вида техники в общесудовое оборудование способно существенно сократить гидродинамическое сопротивление корпусов рыболовных судов, вызванное обрастанием, что в свою очередь уменьшит нагрузки на пропульсивную систему, снизит потребление топлива и увеличит рентабельность промысла.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

- Методика оценки технического состояния корпусов судов ФРП. - К., 1982г. - с. 83.
- Methodology for assessing the technical condition of ship hulls FRP. - K., 1982. - p. 83.
- Cao S., Wang J., Chen H. & Chen D. (2010). Progress of marine biofouling and antifouling technologies. Retrieved November 1, – 2016
- The International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments (Ballast Water Management Convention or BWM Convention), 2004
- Волошин В.П. Охрана морской среды. Л.: Судостроение, 1991.
- Voloshin V.P. Marine environment protection. L.: Shipbuilding, 1991.
- Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М.: Машиностроение, 1975.
- Idelchik I.E. Handbook of hydraulic resistances. M.: Mechanical Engineering, 1975.
- Радионов В.П. Разработка способов очистки поверхностей судовых конструкций с использованием кавитации. Л.: 1987.
- Radionov V.P. Development of methods for cleaning the surfaces of ship structures using cavitation. L.: 1987.
- Нормативно-методические указания по определению технического состояния корпусов судов в эксплуатации. Л.: 1983.
- Normative and methodological guidelines for determining the technical condition of ship hulls in operation. L.: 1983.
- Меренов И.В. Подводная очистка и окраска судов. Л.: Судостроение, 1978.
- Merenov I.V. Underwater cleaning and painting of ships. L.: Shipbuilding, 1978.
- Меренов И.В. Underwater cleaning and painting of ships. L.: Shipbuilding, 1978.