

**ЭТОТ ФАЙЛ СОДЕРЖИТ СКАНИРОВАННЫЕ ВЕРСИИ СТАТЕЙ
Л.В. ЕФРЕМОВА ИЗ СБОРНИКА «АНАЛИЗ ХАРАКТЕРНЫХ
АВАРИЙНЫХ СЛУЧАЕВ С СУДАМИ ФЛОТА РЫБНОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИХ
ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ» ПО ПРОБЛЕМЕ ВЫХОДА ИЗ СТРОЯ
СУДОВЫХ ВАЛОПРОВОДОВ.**

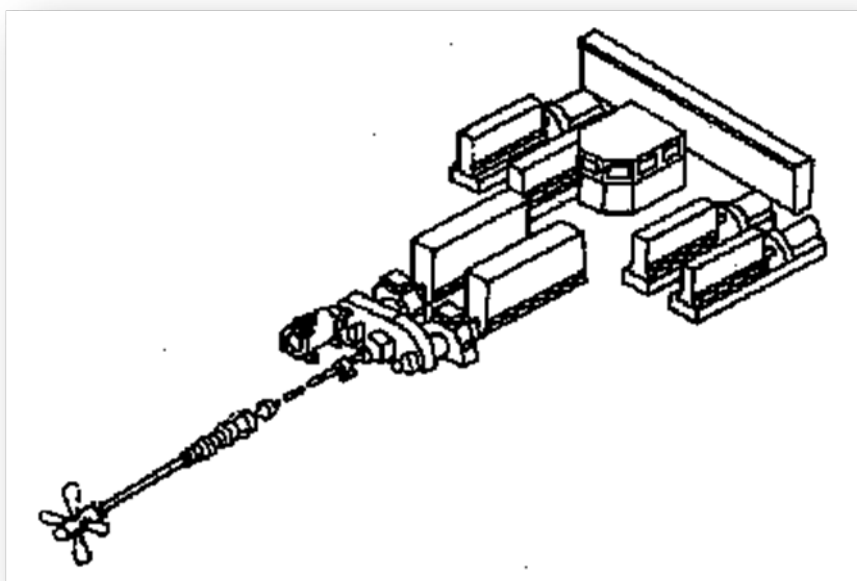
ПРИВЕДЕНЫ КОПИИ СТАТЕЙ ИЗ СЛЕДУЮЩИХ СБОРНИКОВ

№ 1 ЗА 1965 ГОД

№ 23 ЗА 1972 ГОД

№ 25 ЗА 1973 ГОД

№ 37 ЗА 1975 ГОД



**ФАЙЛ СОЗДАН В АПРЕЛЕ 2013 ГОДА
СПЕЦИАЛЬНО ДЛЯ САЙТА <http://kuzy.ucoz.com/>.**

Комментарии к содержанию статей.

Файл посвящен анализу характерных аварийных случаев из-за поломок промежуточных и гребных валов силовых установок некоторых типов серийных судов промыслового флота СССР.

Автор счел целесообразным найти, собрать в общий файл и показать эти материалы по следующим причинам.

Во-первых, они относятся к уникальным данным об истории промыслового флота нашей страны, который в семидесятые годы прошлого века состоял из многочисленных судов разного назначения. После развала СССР развалился и флот. Его растащили по мелким фирмам, а большинство судов продали за рубеж как металлолом.

Во-вторых, из материалов видно, какую большую работу проводили проектные организации отрасли по выявлению и устранению конструктивных, технологических и эксплуатационных дефектов на судах. В условиях рыночной экономики этим заниматься стало некому.

В-третьих, приведенные сведения могут быть полезными при проектировании новых судов.

В-четвертых, приведенные данные хотя бы частично иллюстрируют большую работу автора по изучению опыта эксплуатации судовой техники, что послужило толчком к научной работе по созданию методик и программ в области надежности вообще и крутильных колебаний валопроводов в частности. Это нашло отражение в его монографиях и статьях, которые показаны в разделе «Публикации» сайта <http://kuzy.ucoz.com/publ>

Бесплатно

Горюхов

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
ПО РЫБНОМУ ХОЗЯЙСТВУ СССР
ГЛАВГОСРЬБФЛОТИНСПЕКЦИЯ И ИНСТИТУТ ГИПРОРЬБФЛОТ

**АНАЛИЗ
ХАРАКТЕРНЫХ АВАРИЙНЫХ
СЛУЧАЕВ С СУДАМИ ФЛОТА
РЫБНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИХ
ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ**

ВЫПУСК I



ИЗДАТЕЛЬСТВО „ТРАНСПОРТ“
МОСКВА 1965 ЛЕНИНГРАД

ственный риск и направили п/б «Северодвинск» в начале января 1963 г. в район Северо-Западной Атлантики. При этом вопрос о посылке плавбазы в рейс был решен в административном порядке и без достаточных технических обоснований. Компетентной комиссией из специалистов, которые могли бы установить возможность дальнейшей эксплуатации паровых котлов, создано не было.

Ответственность за аварию возложена на руководителей Мурманского тралового флота и Главного управления «Севрыба».

II. СТАТЬИ

УДК 656.08 : 621.431.74 : 621.436

Л. В. ЕФРЕМОВ,
инженер

АВАРИИ СУДОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ 8NVD36 ИЗ-ЗА КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ВАЛОПРОВОДОВ

Аварии на зверобойных шхунах финской постройки. 17 ноября 1961 г. на зверобойной шхуне «Актюбинск», принадлежавшей Архангельскому управлению тралового флота, во время промысла в Северной Атлантике произошла поломка гребного вала.

Перед рейсом в капитальном ремонте на шхуне был заменен главный двигатель «Юне-Мунктель» на двигатель 8NVD36 мощностью 300 э. л. с. при 360 об/мин.

Авария произошла при следующих обстоятельствах.

Чтобы переждать шторм судно легло носом на волну, подрабатывая при этом главным двигателем на 310 об/мин.

Неожиданно в корме произошел сильный удар, после чего двигатель пошел в разиос, а судно потеряло ход. Двигатель сразу же был остановлен. Для определения причины потери судном хода и ненормальной работы двигателя старший механик вывинтил пробки сальника подвода смазки к дейдвуду, откуда под высоким давлением вырвался пар. Пробные пуски двигателя не дали положительных результатов — гребной винт не вращался.

Потерявшая ход шхуна попала во власть стихии и трое суток волны и ветер разрушали оборудование и корпус судна.

На четвертые сутки на помощь шхуне пришел БМРТ «Мамин-Сибиряк», который после неоднократных обрывов тросов, взял ее на буксир и отвел в один из ближайших портов, где произвели водолазный осмотр, которым было установлено, что винт вместе с частью гребного вала вышел из дейдвуда и уперся в рудерпост.

Стало очевидным, что гребной вал сломан.

После разборки валопровода во время аварийного ремонта оказалось, что вал диаметром 141 мм лопнул в районе средней части дейдвуда (рис. 1).

Разрушенное сечение имело типичные признаки усталости от крутильных колебаний (излом под углом 45° к оси вала с характерными следами на поверхности металла).

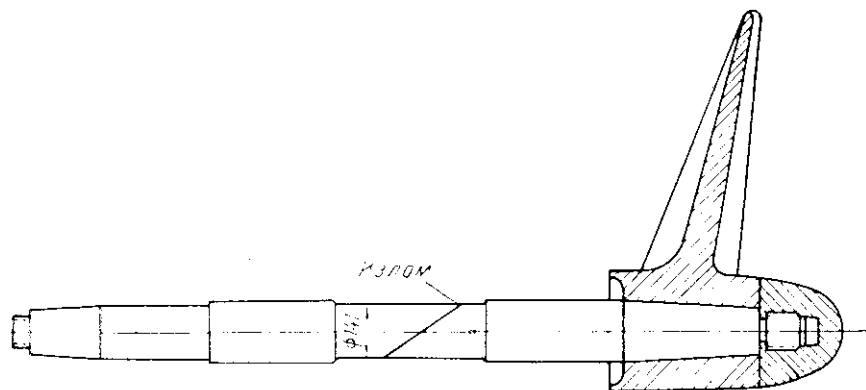


Рис. 1. Эскиз гребного вала з/ш «Актюбинск»

Перед разрушением гребной вал очень сильно нагрелся, вследствие чего попавшая в дейдвуд вода превратилась в пар. Это также является признаком знакопеременного скручивания вала.

Внешние признаки позволили сделать заключение, что поломка произошла из-за возникших в теле гребного вала недопустимых напряжений от крутильных колебаний, о которых не было известно, поскольку перед замсой двигателя не выполнялись соответствующие расчеты, а на сдаточных испытаниях не было проведено торсиографирования. Положение было усугублено еще тем, что с валопровода была снята упругая муфта с резиновыми элементами.

Для зверобойных шхун с главным двигателем 8NVD36 рассмотренная выше авария не является исключением. Как ранее, так и позднее наблюдались аналогичные аварии. При этом, как правило, ломается конус гребного вала под ступицей гребного винта с потерей последнего. Излом в этих случаях также был типичным для усталостного разрушения.

После проведения расчетов для валопровода з/ш «Актюбинск» без упругой муфты и з/ш «Чистополь» с упругой муфтой, а также торсиографирования силовой установки з/ш «Чистополь» было определено, какие напряжения явились причиной разрушения гребных валов. Оказалось, что на з/ш «Актюбинск» в зоне

285–355 об/мин действуют недопустимые напряжения от крутильных колебаний 4-го порядка одноузловой формы, которые при 310 об/мин достигали наибольшей величины (более 700 кг/см^2).

Даже непродолжительная работа на этих оборотах привела к разрушению вала в его наиболее слабом сечении диаметром 141 мм, ослабленного еще к тому же грубой токарной обработкой поверхности.

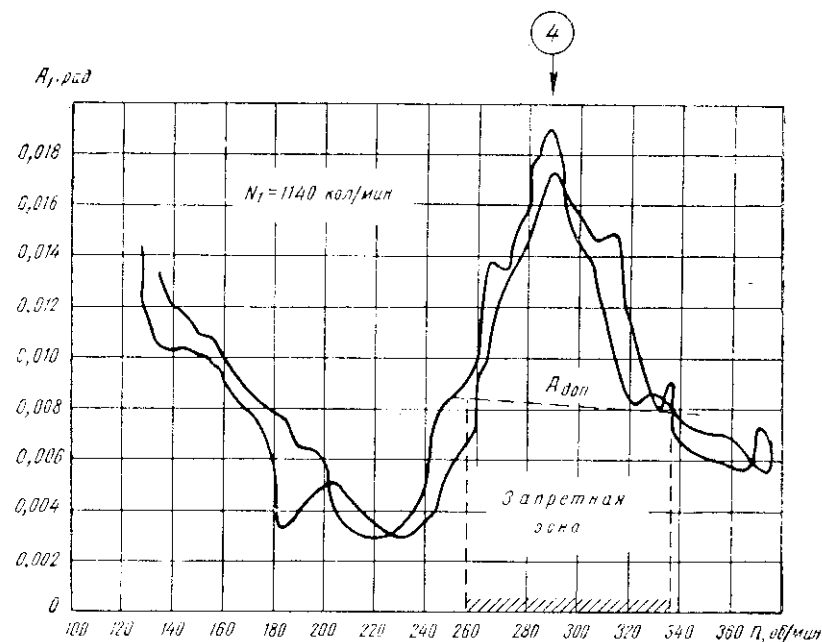


Рис. 2. Развитие амплитуды A_1 колебаний первой массы двигателя з/ш «Чистополь» ($A_{дон}$ — допускаемая амплитуда)

В связи с этим после торсиографирования на з/ш типа «Чистополь» была установлена запретная зона при работе главного двигателя на 255–335 об/мин (рис. 2).

Во избежание дальнейших аварий на зверобойных шхунах финской постройки представилось целесообразным рекомендовать произвести на всех шхунах торсиографирование и установить точные границы запретных зон оборотов работы главных двигателей с тем, чтобы во время эксплуатации избегать работы двигателей на этих оборотах.

Однако ввиду того, что запретные зоны находятся в районе наиболее важного эксплуатационного режима двигателя, более рациональным будет на этих судах выполнить ряд конструктивных изменений.

В частности, полная безопасность плавания может быть достигнута, если опасный резонанс 4-го порядка будет удален на 100 об/мин выше номинальных. Для этого могут быть рекомендованы следующие варианты увеличения среднего диаметра валопровода (d) и уменьшения момента инерции гребного винта (θ_B):

	мм	кг·см·сек ²
при $d =$	175 величина	$\theta_B = 450$
	168 "	$\theta_B = 350$
	164 "	$\theta_B = 300$
	158 "	$\theta_B = 250$
	141 "	$\theta_B = 100$

При этом, однако, следует учитывать, что увеличение диаметра валопровода меньше чем указано выше может, наоборот, ухудшить положение, так как резонанс попадет на номинальные обороты.

Уменьшения момента инерции гребного винта можно достигнуть, например, путем установки лопастей из стеклопластика.

Имеется и второй путь уменьшения вероятности поломок валов путем смещения опасного резонанса в зону средних оборотов (200—230 об/мин) главного двигателя. Для этого прежде всего необходимо установить на валопроводах зверобойных шхун упругие муфты, резиновые элементы которых будут демпфировать крутильные колебания и смещать их резонанс влево. В этом случае наиболее слабым звеном в системе валопровода становятся пальцы муфты, которые при их поломке можно легко заменить. При постановке упругой муфты не исключена возможность даже некоторого уменьшения диаметра валов, при условии сохранения статической прочности от среднего крутящего момента.

Наряду с проведением рассмотренных выше мероприятий следует во всех случаях исключать возможность появления в валах чрезмерных концентраций напряжений.

Аварии на средних рыболовных траулерах постройки ГДР. С 1956 г. наблюдаются периодические поломки конусов гребных валов под ступицей гребного винта на судах серии СРТ-400 постройки верфи Штральзунд. В отличие от судов других серий, у этих судов диаметр валопровода был несколько меньше и кроме того неудачной была конструкция конуса гребного вала.

Если на судах других серий наибольший и наименьший диаметры конуса гребного вала составляли не менее чем 154 и 124 мм, то на судах серии СРТ-400 они были соответственно равны 134 и 104 мм.

В результате исследования крутильных колебаний валопроводов различных судов типа СРТ установлено, что опасный резонанс 4-го порядка одноузловой формы находится выше номинальных чисел оборотов, при этом он расположен тем дальше от последних, чем больше диаметр валопровода.

Для судов типа СРТ, имеющих номинальные обороты главных двигателей 360 об/мин, наиболее благоприятным является случай, когда резонанс будет происходить при 460 об/мин и выше.

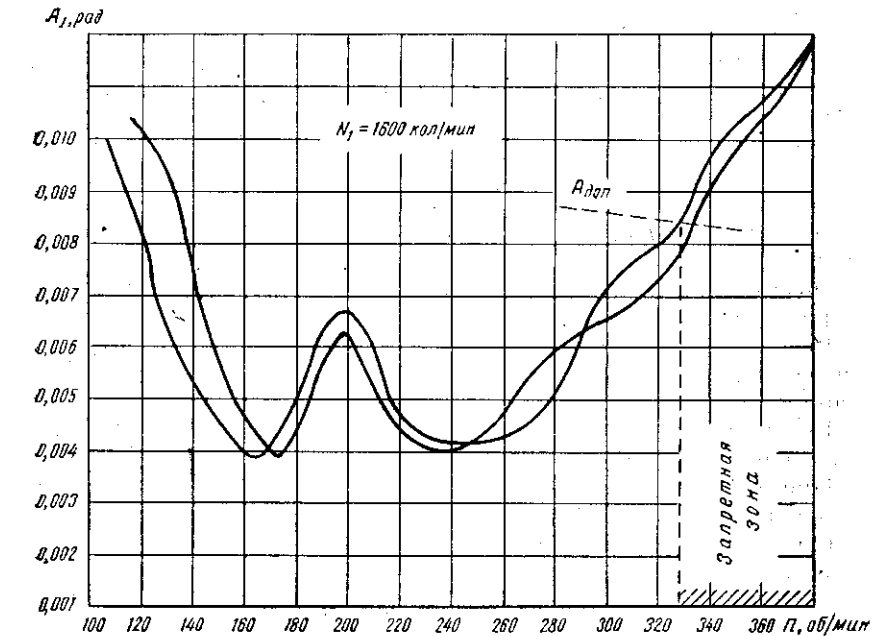


Рис. 3. Развитие амплитуды A_1 колебаний первой массы двигателя СРТ-400.

На судах же серии СРТ-400 резонанс наступал уже при 400 об/мин, т. е. всего на 40 об/мин выше номинальных.

Последнее приводило к тому, что в зоне номинальных оборотов действовали вынужденные колебания 4-го порядка, усиленные колебаниями 4, 5-го порядков с повышенными амплитудами скручивания, которые вызывали усталостные изменения в металле конуса гребного вала и, в конце-концов, приводили к разрушению последнего. Положение усугублялось не только недостаточными размерами конуса гребного вала, но и ослаблением прочности от наличия шпоночной канавки, а также тяжелых условий работы.

На основании результатов торсиографирования силовой установки СРТ-400, проведенного институтом Гипрорыбфлот, была установлена запретная зона работы главного двигателя, начиная с 325 об/мин и выше (рис. 3). Было также рекомендовано увеличить диаметр валопровода до 160—165 мм и повысить прочность конуса гребного вала увеличением наибольшего размера среднего диаметра до 157 мм и наименьшего до 127 мм. Проведение указанных мероприятий позволило ликвидировать случаи поломки гребных валов на судах серии СРТ-400.

Общие выводы и рекомендации. При проектировании и модернизации силовых установок с двигателем 8NVD36 необходимо обеспечить отсутствие на наиболее важных для эксплуатации режимах резонанса 4-го порядка одноузловой формы.

Для сравнительно коротких валопроводов (менее 6—5 м) рекомендуется смещать этот резонанс на 100 об/мин выше номинальных оборотов, путем увеличения диаметра валопровода и уменьшения момента инерции гребного винта¹.

Для более длинных валопроводов можно рекомендовать смещение того же резонанса на 160 об/мин ниже номинальных, что достигается применением валов с минимально-возможными диаметрами (не менее 125—130 мм) и установкой упругих муфт.

Во всех случаях необходимо выполнять расчеты на крутильные колебания и производить торсиографирование головных судов.

Во время эксплуатации не следует допускать работу главных двигателей на оборотах запретных зон.

При изготовлении валов надо по возможности уменьшать концентрации напряжений путем увеличения радиусов галтелей, закругления острых кромок, применения качественного металла и т. д.

А. Л. КОЛОДКИН,
канд. юридич. наук

УДК 639.2.05

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ МЕЖДУНАРОДНО-ПРАВОВОГО РЕЖИМА МОРСКИХ ПРОСТРАНСТВ И КОНТИНЕНТАЛЬНОГО ШЕЛЬФА

I

Важным шагом в совершенствовании и развитии международно-правового регулирования режима морских пространств явилось принятие Женевских конвенций по морскому праву в 1958 г. на конференции Организации Объединенных Наций.

¹ Размеры валопровода могут быть выбраны по номограммам, опубликованным в статье автора («Судостроение», № 11 за 1963 г.)

С 1949 по 1956 г. подготовкой проектов Конвенций занималась Комиссия международного права, являющаяся постоянно действующим органом Организации Объединенных Наций и состоящая из официальных представителей ряда стран — видных ученых в области международного права.

Комиссия выработала единый проект статей по морскому праву, который в 1958 г. был одобрен конференцией Организации Объединенных Наций в Женеве в виде четырех самостоятельных Конвенций: о территориальном море и прилегающей зоне, об открытом море, о континентальном шельфе, о рыболовстве и охране живых ресурсов открытого моря. К настоящему времени в силу вступили первые три Конвенции. Участником этих трех Конвенций является, как известно, и Советский Союз¹.

В этих Конвенциях были закреплены уже действующие принципы и нормы, а также провозглашены новые нормы международного права. Получил свое полное кодифицированное подтверждение такой принцип как **свобода открытого моря** и служащие ее неотъемлемыми составными частями — **свобода судоходства, свобода рыболовства, свобода прокладки кабелей и трубопроводов, свобода полетов над открытым морем** (ст. 2 Конвенции об открытом море).

В Конвенции о территориальном море и прилегающей зоне кодифицированы принцип **суверенитета** прибрежного государства в территориальных водах и право мирного прохода иностранных торговых судов. С провозглашением в ст. 1 положения о том, что «суверенитет государства распространяется за пределы его сухопутной территории и его внутренних вод на морской пояс, примыкающий к его берегу и называемый территориальным морем», положен конец бесплодным попыткам некоторых буржуазных теоретиков отрицать суверенитет прибрежного государства в его территориальных водах. Справедливыми ради надо сказать, что признание суверенитета государства в его территориальных водах находило свое отражение в ряде международно-правовых документов и до Женевской конференции 1958 г., например, в проекте Конвенции, выработанной Гаагской конференцией по кодификации международного права 1930 г. Однако нельзя не видеть, что впервые в твердо сформулированном виде и притом не в проекте, а уже в принятой Конвен-

¹ При подписании Конвенций СССР сделал соответствующие оговорки, касающиеся иммунитета государственных торговых судов и захода военных кораблей в иностранные территориальные воды, и заявление относительно понятия пиратства. Текст этих оговорок и заявления см. в Информ. сб. ЦНИИМФ «Морское право и практика», вып. 67. Л., «Морской транспорт» 1961.

Конвенцию о рыболовстве и охране живых ресурсов открытого моря СССР не подписал. О ее недостатках см. С. В. Молодцов. Международно-правовой режим открытого моря и континентального шельфа. М., Изд-во АН СССР, 1960, стр. 222—224.



МИНИСТЕРСТВО РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА СССР
ГЛАВГОСРЫБФЛОТИНСПЕКЦИЯ, УПРАВЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ФЛОТА
И ПОРТОВ И ИНСТИТУТ ГИПРОРЫБФЛОТ



Анализ характерных аварийных случаев с судами флота рыбной промышленности и рекомендации по их предупреждению

успевали. Крен достиг 48° . Штормовые портики забило кусками льда, вода с палубы не сходила, и судно было на грани опрокидывания. В критический момент удалось сорвать деревянную обшивку фальшборта, что обеспечило сток воды с палубы. Околка льда длилась непрерывно 50 час. В результате крен удалось выровнять и судно было спасено.

Оценивая остойчивость судна при обледенении, следует учитывать, что фактическое количество льда на судне может оказаться значительно превышающим принятое по нормам остойчивости. Так, на СЧС-153 при обледенении в Цемесской бухте 5 января 1957 г. на палубе образовалось до 270 кг льда на 1 м^2 , при расчетной норме 15 кг.

Аварийная статистика практически не знает случаев, когда судно смогло бы оказать существенную помощь другому судну, теряющему остойчивость. Из 66 рассмотренных аварий только в одном случае была оказана эффективная помощь. В 1964 г. траулер «Норильск» подвергся сильному обледенению при шторме 8—9 баллов. Окалывание не помогало. Крен достиг 40° и судно находилось на грани опрокидывания. Подошедший т/х «Индибирка» снял команду с «Норильска». За обе мачты аварийного судна завели капроновые коицы и уменьшили крен, после чего произвели околку льда.

Случай с «Норильском», конечно, не характерен и произвести подобную операцию можно далеко не всегда. Как правило, судно, теряющее остойчивость, лишено возможности воспользоваться чьей-либо помощью, и речь может идти только о спасении людей.

Если сравнить случаи опрокидывания транспортных и рыболовных судов, то случаи спасения экипажей рыболовных судов значительно реже. Очень низка эффективность применения на рыболовных судах спасательных шлюпок. Из рассмотренных аварий ни в одном случае экипаж не воспользовался шлюпками. Спасательные шлюпки трудно спустить на воду при обледенении и больших углах крена. Существующие конструкции спасательных шлюпок не могут выполнить своего назначения при потере рыболовным судном остойчивости. Опыта применения в таких ситуациях спасательных плотов пока нет. Индивидуальные спасательные средства в условиях низких температур и сильного волнения также оказываются неэффективными.

Как свидетельствует аварийная практика, опрокидывание рыболовных судов всегда происходит быстро и неожиданно. Очень яркой иллюстрацией этого обстоятельства является рассказ единственного очевидца гибели СРТ «Бокситогорск» А. В. Охрименко.

В день гибели траулера, 19 января 1965 г., утром А. В. Охрименко находился в кают-компании. Бортовая качка была плавная, с амплитудой $6\text{—}7^\circ$. Судно шло против волны со скоростью

3—4 узла без статического крена. Неожиданно траулер резко изменил курс и стал лагом к волне. Сразу же он накренился на $8\text{—}10^\circ$ на левый борт, затем крен возрос до $25\text{—}27^\circ$ и продолжал увеличиваться. Судно опрокинулось в течение, примерно, одной минуты и затем некоторое время плавало вверх килем.

СРТ «Бокситогорск» находился в условиях обледенения, но состояние его остойчивости не внушало, по-видимому, беспокойства капитану, с которым А. В. Охрименко разговаривал у себя в каюте незадолго до опрокидывания. Анализируя обстоятельства многих аварий, можно прийти к выводу, что экипаж вплоть до последней минуты не знал о фактическом состоянии остойчивости судна, и поэтому не принимал мер по предотвращению аварии или хотя бы спасению людей.

Из-за специфики работы рыболовных судов на них трудно применять обычные расчетные методы контроля остойчивости. Единственным эффективным способом контроля остойчивости является установка на них автоматически действующих приборов. Примером такого прибора служит метацентрораф Н. Б. Севастьянова, который по записям поперечных колебаний судна показывает начальную метацентрическую высоту.

Из зарубежных приборов наиболее удачным представляется второй вариант прибора остойчивости Венделя, предназначенный для работы на волнении. По результатам замера угловых ускорений он выдает метацентрическую высоту и начальный участок диаграммы статической остойчивости.

Для усиления борьбы с авариями рыболовных судов от потери остойчивости нужно развернуть работу по повышению знаний судоводительским составом теории корабля, особенно в области мореходных качеств судов. Следует ускорить внедрение автоматических приборов контроля остойчивости, которые должны войти в номенклатуру обязательных приборов на промысловых судах. Проектируя надстройки и такелаж, надо учитывать необходимость эффективной борьбы с обледенением. Самостоятельной проблемой является разработка и снабжение судов более совершенными спасательными средствами.

Л. В. ЕФРЕМОВ,
главный конструктор проекта
Гипрорыбфлота

УДК 686.085

АНАЛИЗ АВАРИЙНЫХ СЛУЧАЕВ ИЗ-ЗА ПОЛОМОК ВАЛОВ ГЛАВНЫХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК

При проектировании и изготовлении судовых валопроводов большое внимание уделяется обеспечению их прочности и надежности. Несмотря на это на флоте рыбной промышленности

периодически возникают аварии из-за поломок валов. В 1958—1960 гг. наблюдались массовые аварии на РС пр. 388 из-за сильных крутильных колебаний. Аналогичные аварии произошли на СРТ-300 и зверобойных шхунах с двигателями 8NVD-36. Большие убытки понесли судовладельцы из-за поломок гребных валов БМРТ пр. 394 и РТМ типа «Тропик». Перечисленные аварии происходили в основном из-за просчетов проектировщиков судов, не обеспечивающих надлежащей прочности валов. После изучения причин этих аварий и внедрения соответствующих конструктивных, технологических и организационных мероприятий большинство однотипных аварий более не повторялось.

В настоящей статье рассматриваются аварийные случаи поломок валов, причина которых образовалась уже в процессе эксплуатации судов. Несмотря на то, что эти случаи не имеют массового распространения на судах одного типа, их анализ представляет практический интерес, поскольку аналогичные ситуации могут возникать при эксплуатации любых судов.

ПОЛОМКА ПРОМЕЖУТОЧНОГО ВАЛА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО РЕФРИЖЕРАТОРА «НЕВА» КЛАЙПЕДСКОЙ БАЗЫ «РЕФФЛОТ» ЛИТОВСКОЙ ПУРП

Согласно заключению инспекции безопасности мореплавания Литовского района поломка промежуточного вала произошла 19 марта 1970 г. в Балтийском море при возвращении судна в порт с ходовых испытаний со скоростью вращения гребного вала 194 об/мин. Ходовые испытания производились с целью выявления эксплуатационных возможностей главного двигателя ДМ 835BF 62, коленчатый вал которого был поврежден в январе 1970 г. в момент пуска двигателя.

При испытаниях 4-й кривошип коленчатого вала был развернут на $24^{\circ}30'$ относительно нормального положения вокруг рамной шейки. Во время испытаний отмечалась вибрация главного двигателя в пределах 110—125 об/мин.

Из описания аварии следует, что промежуточный вал имел косою излом под углом 45° к оси вала на расстоянии 380 мм от фланца (рис. 1). Плоскость излома имела три характерные зоны усталостного (I), промежуточного (II) и статического (III) излома. Кроме вала, был разрушен опорный подшипник.

До аварии главный двигатель отработал 30 985 час, в том числе после очередного ремонта — 3485 час. Во время ремонта в 1960 г. (т. е. за десять лет до аварии), когда судно принадлежало Ленинградской базе океанического рыболовства, на промежуточном валу была выполнена наплавка кольцевой выработки. Излом берет свое начало от зоны наплавки.

Для определения причины аварии Центральной лабораторией КСРЗ были сделаны макро- и микроанализы излома и матери-

ала вала. При этом микротрещин в сварном шве обнаружено не было.

О причинах данной аварии в заключении инспекции безопасности мореплавания Литовского района сказано следующее: «Причиной аварийного случая является поломка промежуточного вала валолинии в результате возникновения усталостной трещины, чему способствовала заварка кольцевой выработки от ограждения двигателя с нарушением технологии ремонта. Окончательной поломке промежуточного вала способствовала неравномерная работа главного двигателя после проворачивания щеки кривошипа 4-го цилиндра».

Виновных со стороны судового экипажа в данной аварии установлено не было.

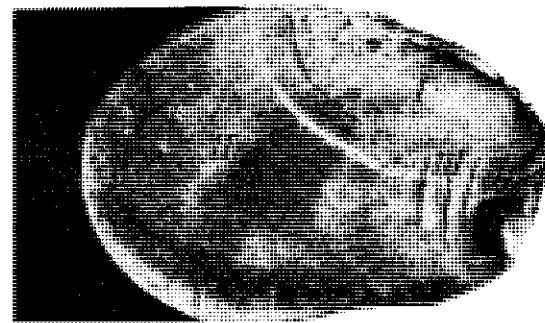


Рис. 1. Поломка промежуточного вала на ПР «Нева»

Таким образом за основную причину в данном случае были приняты нарушения технологии сварки вала, выполненной за десять лет до аварии, хотя анализ материала указывает на удовлетворительное качество наплавленного металла. При разборе аварии не был принят во внимание вид излома, а о развороте кривошипа говорится как о несущественном, второстепенном факторе. О нагрузках, которые могли привести вал к поломке, в материалах по аварии даже не упоминается.

Если более внимательно рассмотреть фотографии разрушенного сечения, то можно прийти к выводу:

1. Промежуточный вал разрушился под воздействием сильных крутильных колебаний, так как излом идет под 45° к оси.
2. Процесс разрушения был быстротечным, а недопустимые напряжения в валу возникли незадолго до поломки, о чем свидетельствует малая степень истертости разъема трещины на большей части поверхности.

Как видно из приведенного графика (рис. 2) развития амплитуд крутильных колебаний, записанных при нормальном

техническом состоянии двигателя в 1960 г., напряжения от крутильных колебаний являлись допустимыми и запретных зон назначено не было. Заварка выработки промежуточного вала, безусловно, снизила предел усталости (т. е. допускаемые напряжения) вала. Однако вид излома и значительный срок службы

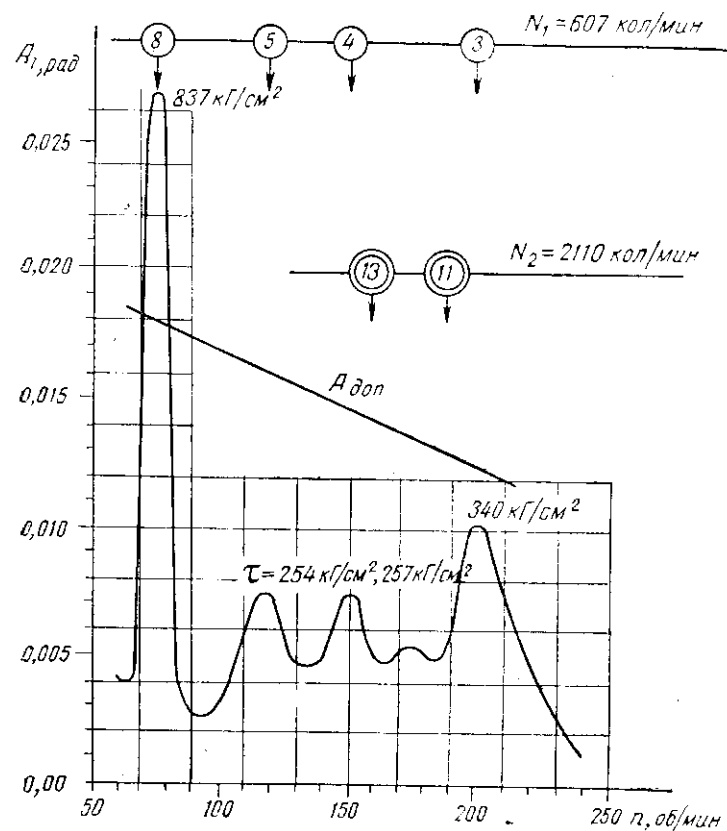


Рис. 2. График амплитуд крутильных колебаний исправного коленчатого вала главного двигателя ИР „Нева“

(Цифры в одинарных кружках означают порядки колебаний для одноузловой фирмы, а в двойных кружках — для двухузловой фирмы колебаний)

вала до поломки не дает оснований для вывода о том, что были превышены допускаемые напряжения. Если бы действующие напряжения превысили предел усталости материала вала, то поломка произошла бы до того, как совершилось 10^7 циклов перемен деформаций, что при частоте 600 кол/мин соответствует 12 суткам непрерывной работы. За десять лет эксплуатации этот

70

срок был превышен неоднократно. О том, что наплавка не явилась первопричиной аварии, свидетельствует также и вид излома. За десять лет поверхности разъема трещины приняли бы вид гладких поверхностей с характерными волнообразными наплавками, обусловленными периодической работой на резонансных числах оборотов. В действительности излом имеет крупнозернистую поверхность. Следовательно, причина разрушения возникла незадолго до аварийного случая. Естественно предположить, что такой причиной явились дополнительные напряжения, возникшие из-за проворачивания 4-го кривошипа. Для проверки этой гипотезы рассмотрим, как изменились возмущающие моменты крутильных колебаний 3, 4 и 5-го порядков при сдвиге вектора возмущающего момента на $24^{\circ}30'$. Результаты геометрического сложения векторов приводятся в таблице, из которой видно, что работа возмущающего момента 3-го порядка увеличилась всего в 1,3 раза, в то время как работа возмущающего момента 4-го порядка увеличилась в 10 раз, а 5-го в 4 раза. Соответственно возросли и напряжения в промежуточном валу в пределах 100—170 об/мин. В этих условиях действующие напряжения неизбежно превысили предел усталости материала, который оказался минимальным в сечении, где ранее была выполнена наплавка. Процесс разрушения был ускорен вследствие продолжительной работы на резонансных числах оборотов, при которых началось развитие усталостной трещины, а также из-за снижения номинального числа оборотов до 194 об/мин, где действующие напряжения от колебаний 3-го порядка (после возникновения сильного концентратора в виде трещины) уже превышали предел усталости материала.

Таким образом, первопричиной рассматриваемой аварии является предшествующая ей авария с коленчатым валом главного двигателя, о которой можно было только догадываться, так как данные о действиях машинной команды во время пуска, приведшего к проворачиванию 4-го кривошипа, в представленных материалах отсутствуют. Обращают на себя внимание и совершенно недопустимые попытки эксплуатировать силовую установку с неисправным коленчатым валом двигателя.

ПОЛОМКА ГРЕБНОГО ВАЛА НА СРТР-9007 ПИОНЕРСКОЙ БОРФ

26 сентября 1968 г. на СРТР-9007 при работе двигателя на 225 об/мин произошла поломка конуса гребного вала с утерей гребного вала. Гребной вал был обломан на переходе от кормовой шейки гребного вала в конус. Из судовой документации следует, что гребной вал до поломки отработал 41 266 час и за этот период несколько раз протачивался и восстанавливался наплавкой. Последний раз перед аварией восстановление диаметра гребного вала наплавкой производилось в августе 1966 г.

71

Анализ возмущающих моментов для исправного и поврежденного коленчатого вала

Порядок ν	Число оборотов N , об/мин	Коленчатый вал			
		исправный		поврежденный	
		векторная диаграмма	$\sum \alpha_y$	векторная диаграмма	$\sum \alpha_y$
3	202		0,47		0,6
4	152		0,152		1,50
5	121		0,47		1,8

в г. Пионерске. Лабораторный анализ излома (рис. 3) выявил большое количество микротрещин в наплавленном металле и показал, что трещина развивалась медленно, при небольших напряжениях. С этим заключением лаборатории можно согласиться, так как на поверхности излома видны характерные для длительной работы с остановками наплывы, зона усталостного излома значительно превышает зону статического излома, а поверхность усталостного излома имеет вид шлифованной поверхности.

В заключении инспекции безопасности мореплавания Калининградского района за причину аварии приняты нарушения технологии наплавки вала, что полностью подтверждается лабораторным анализом материала. В документации по разбору данной аварии отсутствует анализ внешних сил и моментов, которые могли вызвать поломку.

Рассмотрим более подробно этот вопрос, используя результаты торсиографирования главных двигателей судов типа «Океан», выполненные Гипрорыбфлотом.

Характер развития усталостной трещины свидетельствует, что поломку вызвали знакопеременные касательные напряжения от

крутильных колебаний. Амплитуда этих напряжений была сравнительно небольшой.

График на рис. 4 показывает, что в зоне номинальных чисел оборотов величина напряжений меньше допускаемых, рассчитанных для нормального технического состояния вала. Для того чтобы начался процесс развития усталостной трещины, возможны два варианта превышения действующих допускаемых напряжений: либо действующие напряжения по каким-либо причинам возросли, либо уменьшились допускаемые напряжения. Первое предположение в данном случае не имеет подтвер-



Рис. 3. Поломка гребного вала: СРТР-9007

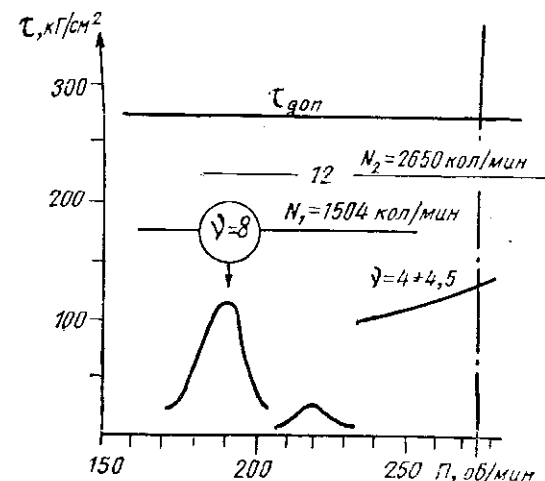


Рис. 4. Напряжения от крутильных колебаний в гребном валу СРТР типа «Океан»

ждения, так как основной источник крутильных колебаний — главный двигатель, не имел повреждений, которые могли бы изменить картину развития крутильных колебаний. Остается предположение о снижении допускаемых напряжений, которое следует из материалов разбора аварийного случая Инспекции безопасности мореплавания Калининградского района. Причинами снижения допускаемых напряжений явились концентрации напряжений, возникшие от наплавки гребного вала. До поломки конус гребного вала отработал почти два года. Это свидетельствует о том, что сразу после наплавки действующие напряжения еще не превышали предела усталости. При работе в морской воде, которая на судах типа «Океан» обычно проникает через уплотнения к поверхности вала, происходил медленный процесс дальнейшего уменьшения предела усталости материала в районе наплавки под воздействием прогрессирующей коррозии. Через некоторое время наступил момент, когда в ослабленном коррозией

и наплавкой сечении напряжения от крутильных колебаний уже превысили предел усталости, после чего и начала развиваться усталостная трещина.

Из приведенных примеров поломок судовых валопроводов следуют некоторые общие выводы и рекомендации. Прежде всего обращают на себя внимание довольно распространенные попытки объяснить любую поломку валов таинственными «усталостными напряжениями». В этом случае виновных в аварии не усматривают, хотя иногда за возникшую аварию должны нести ответственность экипаж судна, допустивший нарушение правил технической эксплуатации или судовождения.

Приведенные примеры еще раз подтверждают необходимость обращать особое внимание на качество ремонта гребных валов, и прежде всего на качество восстановления путем наплавки.

НОРМАТИВНЫЕ АКТЫ

СОГЛАШЕНИЕ

между Правительством Союза Советских Социалистических Республик и Правительством Канады о Временных правилах безопасности плавания и ведения промысла рыбы в северо-восточной части Тихого океана у побережья Канады

Правительство Союза Советских Социалистических Республик и Правительство Канады,

— считая необходимым обеспечить безопасность жизни рыбаков и

— желая установить надлежащий порядок в проведении промысловых операций в северо-восточной части Тихого океана у побережья Канады,

согласились о нижеследующем:

Статья 1

Рыбопромысловые операции гражданами и судами обеих Сторон должны выполняться в соответствии с Временными правилами безопасности плавания и ведения промысла рыбы в северо-восточной части Тихого океана у побережья Канады, в дальнейшем именуемые Правила, текст которых при этом принимается и является неотъемлемой частью настоящего Соглашения.

Статья 2

В Правилах термины «рыболовное судно» или «судно» означают любое судно, занимающееся ловом рыбы или обработкой рыбы, или любыми операциями, связанными со снабжением или обслуживанием таких судов.

Статья 3

Правила будут действовать в районе к востоку от меридиана 135°00' западной долготы и между параллелями 48°20' и 54°10' северной широты.

30 коп.



МИНИСТЕРСТВО РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА СССР
ГЛАВГОСРЫБФЛОТИНСПЕКЦИЯ, УПРАВЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ФЛОТА
И ПОРТОВ И ИНСТИТУТ ГИПРОРЫБФЛОТ



Анализ **характерных аварийных** **случаев с судами флота** **рыбной промышленности** **и рекомендации** **по их предупреждению**

помощника обусловило бездействие траулера в момент непосредственной опасности и, несомненно, способствовало аварии, что должно было повлиять на определение судом ответственности сторон за убытки от столкновения.

(Продолжение в следующем выпуске)

Л. В. ЕФРЕМОВ,
гл. конструктор

УДК 656.61.085.1 : 639.2.06+629.12.037.004.64

ПОЛОМКИ ГРЕБНЫХ ВАЛОВ НА СУДАХ С ВИНТАМИ РЕГУЛИРУЕМОГО ШАГА (ВРШ)

Анализ аварийности за последние 10 лет показывает, что участились случаи поломок гребных валов в основном на судах новой постройки, снабженных ВРШ. В других выпусках этого сборника уже были описаны поломки гребных валов на БМРТ типа «Маяковский», РТМ типа «Тропик» и СРТМ «Сатурн».

В настоящей статье рассматриваются несколько аварийных поломок гребных валов и анализируются общие причины их возникновения.

ПОЛОМКА ГРЕБНОГО ВАЛА НА БМРТ «ДРУЖБА» МУРМАНСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАЛОВОГО ФЛОТА

Согласно заключению № 20 от 24 марта 1971 г. Севгосрыбфлотинспекции поломка гребного вала и потеря ВРШ на БМРТ «Дружба» (типа БМРТ «Лесков») произошла 1 декабря 1970 г. в Баренцевом море (район о. Колгуев). От последнего подъема трала до аварии главный двигатель БМРТ проработал 3 час при 180 об/мин, в том числе 1,5—2,0 час при установке лопастей винта на нулевой упор. Непосредственно перед аварией с целью предотвращения столкновения с другим судном был произведен разворот лопастей ВРШ со среднего хода вперед на полный назад.

При выполнении этого маневра произошло резкое повышение числа оборотов главного двигателя до 250, вследствие чего сработал предельный регулятор и двигатель остановился. При осмотре механизма изменения шага (МИШ) было обнаружено разрушение соединительных деталей и разворот передвигной штанги на 90°. Машинная команда восстановила разрушенное соединение и, несмотря на стук в муфте валопровода при проворачивании двигателя на воздухе, запустила его. Двигатель, не принимая нагрузку, проработал 12 мин, после чего был остановлен. После этого установили, что все отремонтированные

узлы вновь разрушены. 6 декабря 1970 г. водолазами СС «Стегуший» было обнаружено, что гребной вал поломан, а винт отсутствует.

БМРТ «Дружба» был отбуксирован в Мурманск и поставлен в док. Проверка валопровода по фланцам на пуп и линейку показала, что расцентровка его укладывается в данные нормали С 1—1775—64. Зазоры в дейдвудной трубе составили: в кормовой втулке — 2 мм, в носовой втулке — 1,6 мм.

При осмотре вала было установлено, что излом произошел в сечении диаметром 324 мм, совпадающем с кормовым торцом кормовой части облицовки вала. На поверхности облицовки, выступающей из дейдвуда, натиров и кольцевых канавок обнаружено не было.

Изучение разрушенного сечения (рис. 1) показало, что поверхность излома имеет две зоны. Одна из них занимает 65% площади и имеет мелкозернистую структуру. Поверхность этой зоны имеет следы истирания, указывающие на то, что на протяжении длительного времени поверхности трещины соприкасались и имели перемещения относительно друг друга. Другая зона имеет крупнозернистое строение. По этой зоне и произошла поломка в момент аварии. Излом вала частично уходит под облицовку. В районе зарождения трещины на валу обнаружены две глубокие коррозионные раковины. На участках вала, выступающих за облицовку, имеется равномерная и точечная коррозия, благодаря чему диаметр вала уменьшился на 0,5—1,0 мм.

В ходе расследования аварии было установлено следующее.

В марте 1968 г. во время ремонта судна на Мурманской судовой верфи в облицовке гребного вала была обнаружена трещина. После расчета вала по правилам Японского и Германского классификационных обществ, Регистром СССР была разрешена дальнейшая эксплуатация гребного устройства. Последний осмотр и ремонт гребного вала производился в августе — сентябре 1969 г. в Гданьске. В этом ремонте в стыке сварки облицовки

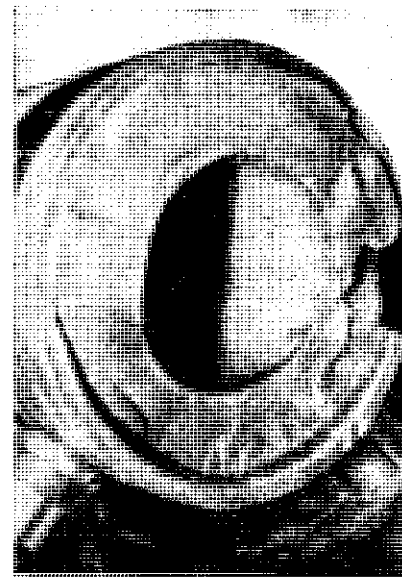


Рис. 1. Вид сечения излома гребного вала БМРТ «Дружба» (вал в станке)

были обнаружены трещины. Облицовка была в двух местах проточена до тела вала и заделана эпоксидной смолой. После монтажа гребного вала зазоры в кормовой дейдвудной втулке составили 0,9 мм, а в носовой — 1,5 мм.

Проверкой технической документации установлено, что на судне имели место случаи незначительной деформации лопастей ВРШ, а в 1967 г. произошла намотка на винт орудий лова.

До момента аварии гребной вал отработал 42 765 час, в том числе после малого капитального ремонта в Гданьске около 4—6 тыс. час (в течение 12—14 мес.).

Севгосрыбфлотинспекция, используя результаты торсиографирования однотипной установки, выполненного институтом «Гипрорыбфлот», установила, что на БМРТ «Дружба» избегали работы двигателя на запретных по крутильным колебаниям оборотах.

В заключении Севгосрыбфлотинспекции о причинах аварии говорится, что поломка гребного вала и потеря ВРШ произошли вследствие коррозионно-целостного разрушения металла. Этому способствовало наличие значительной концентрации напряжений в районе галтели от вала к фланцу.

Убытки, связанные с потерей и заменой гребного вала и ВРШ, составили около 17 000 руб. Время, затраченное на ремонт, составило 30 суток. Убытки от простоя — 28 050 руб.

Виновности в аварии со стороны команды судна усмотрено не было.

В целях предупреждения и избежания поломок гребных валов на судах типа «Лесков» Севгосрыбфлотинспекция рекомендует:

1. В очередных текущих ремонтах производить проточку кормового торца облицовки вала на максимально допустимую величину, а во время докования в обязательном порядке подвергать валы тщательному осмотру и проверке.

2. При доковании судов подобного типа необходимо производить проточку разгружающих канавок на торцах облицовок для снятия напряжений, возникающих от посадки.

3. Для исключения воздействия морской воды на гребной вал при нарушении герметичности предохранительного колпака необходимо решить вопрос о возможности заделки стеклопластиком и эпоксидной смолой поверхности вала между торцом кормовой облицовки и фланцем.

4. При доковании производить гидравлические испытания предохранительного колпака.

5. Запретить длительную работу главного двигателя в зоне оборотов 155—160 об/мин, при нулевом упоре ВРШ, которая согласно исследованиям института «Гипрорыбфлот» является опасной для прочности валопровода. С этой целью установить

таблички, указывающие границы опасной зоны оборотов, на постах управления и тахометрах.

6. Поручить Ленинградскому институту «Гипрорыбфлот» произвести дополнительные испытания валопроводов с целью определения напряжений от крутильных колебаний и вибрации на эксплуатационных режимах.

В целом с приведенным инспекцией анализом вероятных причин аварии на БМРТ «Дружба» можно согласиться. В то же время указанные причины нельзя признать единственными. Если бы коррозионное разрушение и концентрации напряжения были единственными причинами аварии, то поломки валов происходили бы на всех БМРТ типа «Лесков» и срок службы валов при номинальных нагрузках был бы значительно менее 40 000 час.

ПОЛОМКА ГРЕБНОГО ВАЛА СС «БЕССТРАШНЫЙ» МУРМАНСКОГО ОРДЕНА ЛЕНИНА МОРСКОГО РЫБНОГО ПОРТА

Согласно заключению № 14 Севгосрыбфлотинспекции от 14 июля 1971 г., поломка гребного вала на СС «Бесстрашный»¹ произошла 8 февраля 1971 г. в районе полуострова Лабрадор. Внезапно судно потеряло ход, а двигатель сбросил нагрузку. Затем за кормой были обнаружены масляные пятна. Спустившийся к гребному устройству водолаз обнаружил отсутствие ВРШ вместе с фланцем гребного вала.

После постановки судна в док Мурманской судовой верфи гребное устройство было осмотрено представителями судовладельца, инспекции Регистра СССР и Севгосрыбфлотинспекции, которые установили следующее:

— излом вала произошел в районе галтели на переходе от тела вала к фланцу;

— вал до аварии отработал 18 363 час;

— облицовка вала перекрывала место излома на 15—20 мм;

— болты, крепящие кольца набора дейдвудного подшипника, находились в хорошем состоянии;

— текстолитовый набор кормовой дейдвудной втулки находился в хорошем состоянии;

— зазор между гребным валом и набором кормовой дейдвудной втулки составлял около 2 мм, что соответствует эксплуатационной норме при диаметре 302 мм.

После снятия облицовки было обнаружено, что участок длиной 30 мм имел коррозионное разъедание поверхности вала и многочисленные трещины длиной до 100 мм, расположенные поперек сечения вала. Кромки трещин корродированы и

¹ Валовая вместимость 1151,5 рег. т, главный двигатель МАНГ7V52/74АмА мощностью 2520 э. л. с.

закруглены, что указывает на длительный доступ морской воды к телу вала. На остальной длине облицовка плотно прилегалась к валу и поверхность его имела чистый вид.

Излом гребного вала был протравлен и обследован. Оказалось, что поверхность излома имеет две зоны (рис. 2). Первая зона в виде старой трещины занимала примерно 14% площади сечения. Остальная часть имела крупнозернистую поверхность и представляла собой зону разрушения, произошедшего в момент аварии. Такой вид поверхности излома свидетельствовал о зна-

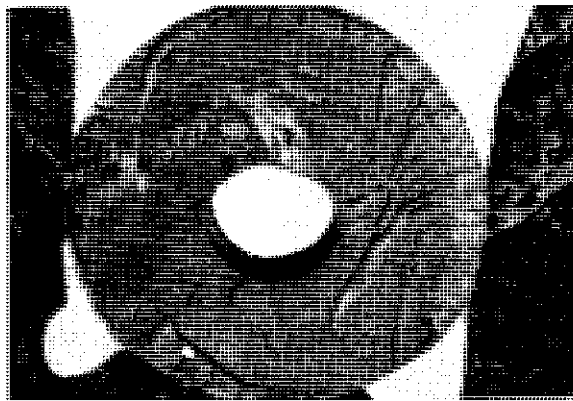


Рис. 2. Вид сечения излома гребного вала СС «Бесстрашный» после травления реактивом. Хорошо просматривается кольцевая трещина, идущая по наибольшей окружности в глубину от 5 до 20 мм

чительных переменных нагрузках, которые и вызвали поломку вала.

Расследованием установлены некоторые обстоятельства эксплуатации судна.

СС «Бесстрашный» проходил последнее докование в марте 1970 г. При этом гребное устройство было предъявлено для освидетельствования без разборки. Состояние кормового конца гребного вала и ВРШ было признано хорошим.

После постройки в процессе эксплуатации отмечалась сильная вибрация кормовой оконечности корпуса, вспомогательных механизмов и трубопроводов, а также заметное вожделение носового конца дейдвудного подшипника.

В течение 6 месяцев после постройки зафиксировано 11 случаев обрыва шпилек крепления нажимного кольца сальниковой набивки дейдвуда. Аналогичные дефекты наблюдались в период всей эксплуатации. Кроме того, в 1965—1967 гг. неоднократно обнаруживались трещины в кормовой оконечности корпуса

судна, которая во время ремонтов подкреплялась. В распоряжении Севгосрыбфлотинспекции имелись сведения о том, что по замерам ЦНИИ им. Крылова на однотипном судне (СС «Крым») наблюдалась сильная вибрация валопровода, амплитуда которой при резонансных числах оборотов (190 об/мин) достигала 0,8 мм, что вдвое превышало норму Регистра СССР.

Известно также, что на СС «Капитан Нохрин» в 1970 г. были обнаружены трещины в гребном валу глубиной 5—6 мм. Из-за этого вал пришлось проточить до диаметра 280 мм.

В результате обследования Севгосрыбфлотинспекция пришла к заключению, что поломка гребного вала и утеря гребного винта произошли вследствие коррозионно-усталостного разрушения металла в процессе эксплуатации.

Убытки из-за этой аварии составили около 15 000 руб.

Вина личного состава в поломке гребного вала не усмотрена.

В заключении № 4 Севгосрыбфлотинспекцией были даны следующие рекомендации:

1. По данным торсиографирования уточнить и дать окончательное заключение о степени допустимости крутильных колебаний, развивающихся в валопроводе, определив при этом границы зон запретных оборотов.

2. Проработать вопрос о гидроизоляции кормового торца облицовки с целью исключения контакта металла вала с забортной водой.

3. При установке нового гребного вала необходимо потребовать от фирмы, его изготовившей, проработать вопрос об изменении конструкции кормового торца облицовки, которая исключила бы контакт воды с материалом вала.

Таким образом, авария на СС «Бесстрашный» была объяснена коррозией металла вала в условиях действия значительных переменных напряжений.

Природа этих напряжений установлена не была. Однако из заключения следует, что в основе их возникновения лежат конструктивные недостатки валопровода.

АНАЛИЗ ПРИЧИН ПОЛОМОК

Поломки гребных валов на БМРТ типа «Лесков» и спасателях финской постройки, рассмотренные выше, не носят массового характера. Однако до настоящего времени еще периодически возникают аварии из-за поломок гребных валов. Кроме рассмотренных типов судов, подобные аварии происходят на БМРТ типа «Маяковский» и РТМ типа «Тропик».

При рассмотрении аварийных случаев на этих судах в первую очередь обращает на себя внимание то, что усталостные трещины возникают в различных сечениях гребного вала, но, как правило, в местах окончаний облицовок или там, где

поверхность вала была повреждена коррозией. Для сравнения напомним, что поломки гребных валов на крупнотоннажных судах типа «Пескин» всегда возникали на выходе из дейдвуда у гребного винта.

Как показывают расчеты, такое распределение трещин по длине вала обусловлено прежде всего распределением нагрузок на дейдвудные и опорные подшипники, обусловленные, с одной стороны, силами, воздействующими на гребной винт и, с другой стороны, весом цилиндра механизма изменения шага. К сожалению, эти напряжения до настоящего времени не исследованы экспериментально и не имеется надежных методов их расчета. Но сам факт аварий свидетельствует о том, что эти напряжения выше, чем на судах с ВФШ.

Целесообразно указать еще на несколько причин, увеличивающих напряжения в гребных валах на судах с ВРШ и связанных с резонансными явлениями от упругих деформаций изгиба (поперечные колебания) и кручения (крутильные колебания). Из-за большого веса гребного винта частота собственных колебаний может быть на 30—40% ниже, чем при ВФШ. Это приводит к увеличению коэффициента деления возмущающих моментов гребного винта из-за смещения наиболее сильного резонанса в зону номинальных чисел оборотов. На РТМ типа «Тропик», в частности при номинальных числах оборотов, наблюдается резонанс 6-го порядка при частоте около 900 кол/мин. Отметим, что расчетные методы определения изгибных колебаний валов на судах с ВРШ также недостаточно совершенны. Значительно лучше исследовано влияние ВРШ на крутильные колебания, которые оказывают значительное влияние на общие напряжения вала

$$\sigma_{\text{сум}} = \sqrt{\sigma_{\text{и}}^2 + 3\tau_{\text{кр}}^2} \quad (1)$$

где $\sigma_{\text{сум}}$ и $\sigma_{\text{и}}$ — суммарные и изгибающие напряжения вала (кгс/см^2); $\tau_{\text{кр}}$ — касательные напряжения от крутильных колебаний.

$$\tau_{\text{кр}} = 2C_{\nu} z \frac{D^2 S}{d^3} \frac{\theta_{\text{в}}}{\theta_{\text{дв}} + \theta_{\text{в}}} \beta, \quad (2)$$

где C — гармонический коэффициент возмущающего момента ν -го порядка; z — число цилиндров дизеля; D и S — диаметр и ход поршня дизеля, см ; d — диаметр гребного вала, см ; $\theta_{\text{в}}$ и $\theta_{\text{дв}}$ — моменты инерции масс гребного винта и двигателя, кгс/см^2 ; β — коэффициент динамического усилия.

Для резонансных колебаний предлагается опробованная формула

$$\beta = 2,9\nu, \quad (3)$$

где ν — порядок колебаний.

Для вынужденных нерезонансных колебаний

$$\beta = \frac{1}{1 - \left(\frac{n}{n_{\text{рез}}}\right)^2}, \quad (4)$$

где n и $n_{\text{рез}}$ — текущее и резонансное число оборотов.

Статистический анализ моментов инерции гребных винтов различных конструкций позволил вывести следующую формулу:

$$\theta_{\text{в}} = K_{\text{в}} \frac{M_{\text{ср}}^{\text{ном}}}{n_{\text{ном}}^2}, \quad (5)$$

где $M_{\text{ср}}^{\text{ном}}$ и $n_{\text{ном}}$ — средний крутящий момент, $\text{кгс}\cdot\text{см}^2$, и номинальное число оборотов, об/мин ; $K_{\text{в}}$ — коэффициент, зависящий от типа гребного винта. Для ВРШ $K_{\text{в}}=1400$; для ВФШ $K_{\text{в}}=790$.

Отсюда следует, что момент инерции ВРШ в 1,77 раза больше, чем у ВФШ. Следовательно, напряжения от крутильных колебаний валопровода с ВРШ не менее чем в 1,5 раза выше. Кроме этого, установка ВРШ взамен ВФШ приводит к уменьшению частоты свободных колебаний валопроводной формы на 15—30%, что увеличивает напряжения от колебаний главных порядков, если резонанс этих колебаний расположен выше номинальных чисел оборотов.

Кроме напряжений от валопроводной формы, в гребных валах могут появиться резонансные напряжения от колебаний с узлом между цилиндром МИШ и ВРШ. В частности, на БМРТ типа «Маяковский» при 241 об/мин четко проявляется резонанс 8-го порядка, создающий дополнительные напряжения около 80 кгс/см^2 .

Отметим еще одну особенность развития крутильных колебаний валопроводной формы — зависимость амплитуд колебаний от шага ВРШ. На БМРТ типа «Маяковский» напряжения от резонанса 3-го порядка при 190—200 об/мин и нулевом шаге увеличиваются в три раза и достигают 90 кгс/см^2 , а на БМРТ типа «Лесков» при 155—160 об/мин напряжения от колебаний 2-го порядка возрастают также в три раза и достигают 440 кгс/см^2 . Это объясняется уменьшением демпфирования гребного винта, так как коэффициент демпфирования пропорционален среднему крутящему моменту

$$\mu_{\text{уд}} = 3M_{\text{ср}}\nu, \quad (6)$$

где $\mu_{\text{уд}}$ — удельное трение гребного винта.

Данные о крутильных колебаниях БМРТ типа «Лесков» и «Маяковский», а также СРТМ типа «Маяк» приведены в Справочнике по крутильным колебаниям судов флота рыбной промышленности.

О крутильных колебаниях на СС типа «Стремительный» нам известно, что частота свободных колебаний валопроводной формы составляет 422 *кол/мин*. При такой частоте резонанс 3,5-го порядка находится при 120 *об/мин*, а резонанс 7-го порядка — при 240 *об/мин*.

С помощью формулы (2) определяем (для диаметра 302 мм), что напряжения от резонанса 3,5-го порядка составляют 370 *кгс/см²*, а 7-го порядка — 125 *кгс/см²*.

При таких напряжениях в зоне оборотов 113—141 *об/мин* необходимо назначить запретную зону. При номинальном шаге в районе номинальных чисел оборотов напряжения от колебаний 7-го порядка не опасны. Однако при нулевом шаге эти напряжения возрастают и способствуют увеличению общих напряжений.

Из сказанного можно сделать вывод, что гребные валы судов с ВРШ являются высоконапряженными даже под воздействием только факторов, зависящих от конструкции. Однако это не учитывается правилами Регистра СССР.

В этих условиях гребные валы судов с ВРШ не имеют достаточного запаса прочности для противодействия дополнительным нагрузкам от изгиба из-за неправильной центровки и, особенно, от деформации корпуса и повреждений гребного винта при эксплуатации траулера и буксиров.

По той же причине даже незначительные концентрации напряжений в виде натяга облицовок, коррозии, надразов и т. п., допустимые для валов с ВФШ, становятся источником усталостной трещины на валах судов с ВРШ. Нередко коррозионное разрушение возникает вследствие нарушения герметизации защиты валов от морской воды при работе в тяжелых и, прежде всего, ледовых условиях, характерных для промысловой обстановки последних лет. В частности, поломку гребного вала БМРТ «Дружба» можно объяснить тем, что в последние годы перед аварией судно работало в тяжелых ледовых условиях. Это привело к повреждению лопастей с последующим увеличением напряжений в облицовке и возникновению трещин в сварных швах. В результате этого происходило проникновение морской воды к телу вала с последующей коррозией и уменьшению предела усталости вала. Такая версия подтверждается тем, что вал отработал до аварии 42 000 *час* и на других судах этой серии пока подобных поломок не было.

Особенно показательны случаи поломок гребных валов на БМРТ типа «Маяковский» и, в частности, на БМРТ «Капитан Андрей Таран» Ленинградской базы океанического рыболовства.

На этом судне гребные валы выходили из строя три раза. Первый гребной вал, имеющий резиновое покрытие, был заменен из-за неудовлетворительных защитных свойств резины и возникших по этой причине усталостных трещин. Этому способ-

ствовали высокие номинальные напряжения от изгиба и крутильных колебаний, а также дополнительные напряжения, возникающие при неоднократных обрывах лопастей. Отметим, что практически все гребные валы с резиновым покрытием на БМРТ типа «Маяковский» были заменены по тем же причинам. Затем на БМРТ «Капитан Андрей Таран» был установлен гребной вал, имеющий между облицовкой эпоксидное покрытие. Такое покрытие хорошо зарекомендовало себя в эксплуатации. Если при резиновом покрытии к 1967 г. вышло из строя 20 валов из 31, то при переходе к покрытию эпоксидной смолой — только 5 из 106.

Однако на БМРТ «Капитан Андрей Таран» был заменен и этот вал (через 19 000 *час*). Основная причина заключалась в том, что при снятии судна с мели гребной вал был погнут. Об этом свидетельствует бой гребного вала, обнаруженный замерами. О значительных нагрузках, приведших к деформации вала, свидетельствует и то, что первый после дейдвуда опорный подшипник был сорван с фундамента и сильно вибрировал.

В 1968 г. на БМРТ «Капитан Андрей Таран» был установлен третий вал со сплошной облицовкой, состоящей из сваренных между собой прямо на валу двух частей. Через 11 000 *час* произошла поломка и этого гребного вала. Инспекция по безопасности мореплавания сделала заключение, что все три замены гребного вала произошли из-за обнаруженного при ревизии смещения от дейдвуда на 16—19 мм относительно оси колчатого вала и несоблюдения правил центровки валопровода.

Поломка третьего вала произошла прежде всего потому, что сплошная облицовка с заваренным на валу стыком сама по себе порочна, ибо в сварном шве возникают большие растягивающие термические нагрузки. В районе стыка сосредоточиваются концентрации напряжения от температурного воздействия при сварке и натяга облицовок на вал.

Поломка третьего гребного вала на БМРТ «Капитан Андрей Таран» произошла в сечении, совпадающем со стыком облицовок.

Ознакомление с условиями эксплуатации этого БМРТ перед последней аварией показало, что в 1969 и 1970 гг. судно вело промысел в ледовых условиях. При этом у судна неоднократно повреждался корпус, возникали пробоины и т. п. Можно предположить, что работа в таких суровых условиях и приводила к дополнительным изгибающим напряжениям, которые обусловили растрескивание сварного шва и попадание под облицовку воды. Это еще больше уменьшило предел усталости материала, что и вызвало в конечном счете поломку. Не исключено, что разрушению способствовали дополнительные нагрузки из-за неудовлетворительной центровки.

На основании выполненного анализа можно сделать следующие выводы.

1. Гребные валы судов с ВРШ являются более нагруженными, чем у судов с ВФШ. Одной из причин высоких напряжений в гребных валах является снижение частот крутильных и изгибных колебаний, а также увеличение напряжений от них. В частности, специфика ВРШ не находит отражения в правилах Регистра СССР.

2. В условиях действия более высоких напряжений запас прочности гребных валов имеет низкое значение, что повышает роль допускаемых напряжений в валах. Поэтому снижение усталостной прочности вала из-за концентраций напряжений от насадки облицовок на вал, риск, галтелей, а также от коррозии и фреттинг-коррозии может привести к снижению допускаемых напряжений и, следовательно, превышению их действующими напряжениями.

3. По тем же причинам прочность гребного вала не имеет запаса на неучтенные в расчетах дополнительные нагрузки, возникающие в тяжелых условиях эксплуатации рыбопромысловых судов или при ремонтах. В частности, такие нагрузки могут возникнуть при работе в ледовых условиях или при неправильной центровке валопровода. Неблагоприятно влияет на несущую способность гребного вала и состояние гребного винта, например, низкая надежность лопастей ВПЛ и их повреждения способствуют перегрузкам гребных валов.

С учетом сказанного представляется возможным сделать некоторые общие рекомендации.

1. Необходимо срочно организовать работы по совершенствованию методов расчета и правил Регистра СССР в области прочности гребных валов судов с ВРШ с учетом всех конструктивных и эксплуатационных факторов. Уже сейчас можно утверждать, что диаметры гребных валов судов с ВРШ должны быть больше, чем у судов с ВФШ.

2. Гребные валы судов с ВРШ должны изготавливаться с минимально возможными концентрациями напряжений. Опыт внедрения предложения Крымской инспекции Регистра СССР по изготовлению плавных переходов диаметров валов на судах типа «Тропик» подтверждает эффективность этих мероприятий. Необходимо обеспечивать снижение контактных давлений по концам облицовок за счет разгружающих выточек.

Необходимо запретить изготовление сплошных облицовок из секций, сваренных или завальцованных на валу, так как в районе стыка возникают дополнительные концентрации напряжений, резко снижающие усталостную прочность.

3. Особое внимание должно уделяться защите гребных валов от воздействия воды и коррозии. Наиболее известным в настоящее время надежным способом защиты является покрытие эпоксидной смолой по технологии ЦНИИТС.

4. Необходимо ограничить работу БМРТ типа «Лесков» и

«Маяковский» в ледовых условиях, учитывая высокую вероятность повреждения дейдвуда и гребного устройства.

5. Следует повысить уровень контроля центровки валопровода. При этом единственным приемлемым способом центровки валов на судах с ВРШ является способ центровки по нагрузкам. Центровка по изломам и смещениям из-за большого веса цилиндра МИШ и отсутствия у последнего собственных подшипников не позволяет судить об истинном состоянии центровки.

В. Ф. СИДОРЧЕНКО,

*канд. юрид. наук,
капитан дальнего плавания*

УДК 656.61.087+347.796

ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ СПЕЦИАЛЬНЫМИ СПАСАТЕЛЬНЫМИ СУДАМИ

В ст. 268 КТМ СССР и ст. 8 Международной конвенции для унификации некоторых правил относительно оказания помощи и спасания на море, подписанной в Брюсселе 23 сентября 1910 г., дается перечень факторов, учитываемых судом или арбитражем при определении размера вознаграждения за спасание имущества на море. Одним из таких факторов является «специальное назначение спасательного судна».

Вопрос о значении специального характера спасательного судна впервые был поднят в деле о вознаграждении за спасение шхуны «Райкс» пароходом «Монарх» (1824 г.)¹.

Самым важным достоинством специальных судов считалась их немедленная готовность прийти на помощь и скорость, с которой они следовали к месту аварии, что в целом называлось «боевой готовностью» и высоко оценивалось судебными органами, «ввиду чрезвычайных услуг, на которые специальные спасатели способны». В связи с этим говорили о «высокой пользе спасательных предприятий» и необходимости поощрения их деятельности². В частности, в России считали, что специальное спасательное судно из-за того, что «долго жжет уголь, содержит судовой экипаж и теряет процент на затраченный капитал» должно получить большее вознаграждение, чем случайно спасавшее судно. «Суд должен принять во внимание не только те расходы, которые понесены судном по поводу данного случая

¹ G. Kennedy. The Law of Civil Salvage, 4-th ed., London, 1958, p. 176.

² F. Perels, Entwurf einer Strandungsordnung für das Deutsche Reich. Kiel, 1873, S. 18.

28 коп.



МИНИСТЕРСТВО РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА СССР
ГЛАВГОСРЫБФЛОТИНСПЕКЦИЯ, УПРАВЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ФЛОТА
И ПОРТОВ И ИНСТИТУТ ГИПРОРЫБФЛОТ



**БЕЗОПАСНОСТЬ
МОРЕПЛАВАНИЯ
И ВЕДЕНИЯ
ПРОМЫСЛА**

37

значительная вибрация при ходе судна в штормовую погоду и особенно в балласте.

Кроме того, на главных двигателях периодически ломались пружины нагнетательных клапанов топливных насосов высокого давления, а также выходили из строя кулачки топливных насосов.

Перечисленные аварии и дефекты являются следствием недоработанной технологии изготовления деталей главных двигателей.

На всех судах типа «Остров Русский» установлено по три вспомогательных двигателя марки 6Т23-НН «Бурмейстер и Вайн»¹. Результат их конструктивного недостатка — образование трещин в цилиндрических крышках. В течение двухлетней эксплуатации этих двигателей вышли из строя 15 цилиндрических крышек. Причина — образование горизонтальных трещин на стенках всасывающих и выхлопных клапанов на высоте 20—45 мм от нижней плоскости крышек.

Кроме повреждений цилиндрических крышек, на двигателях этого типа периодически выходили из строя пружины и распылители форсунок, а на буртах упорных рамовых подшипников выкрашивался белый металл.

Причинами образования трещин фирма-строитель считает перегрузку двигателей в момент пуска рефрижераторных компрессоров при работе одного или двух дизель-генераторов, а также неправильную эксплуатацию терморегулирующих клапанов «Вальтен» и «Космос», установленных на трубопроводе системы охлаждения пресной воды. На наш взгляд, образование трещин происходило из-за конструктивных недостатков цилиндрических крышек и несовершенной системы охлаждения двигателей.

Проведенный анализ аварий и повреждений гидрозубчатых передач, главных и вспомогательных двигателей ТР типа «Остров Русский» в начальный период эксплуатации позволил выявить их характерные дефекты, дать рекомендации и предложения дизелестроительным и судостроительным организациям для дальнейшего улучшения конструкции и технологии изготовления основных узлов и деталей СЭУ, что в конечном счете приведет к повышению надежности судов существующей и перспективной постройки.

Л. В. ЕФРЕМОВ,
канд. техн. наук

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИЧИН ОБРАЗОВАНИЯ ТРЕЩИН И ПОЛОМОК ГРЕБНЫХ ВАЛОВ НА БМРТ ТИПА «МАЯКОВСКИЙ»

В процессе эксплуатации БМРТ типа «Маяковский» с винтами регулируемого шага (ВРШ) наблюдались многочисленные случаи

¹ Шестицилиндровые, четырехтактные, мощность каждого при 750 об/мин 750 э. л. с., изготовлены по лицензии в Швеции.

образования трещин в гребных валах, а также их поломки. Это опасное явление впервые было обнаружено при эксплуатации гребных валов головной серии ВРШ с резиновым покрытием участка вала между облицовками. Конструкция облицовок гребного вала неоднократно изменялась. В частности, до сих пор применяются гребные валы с отдельными облицовками и эпоксидным покрытием между ними, а также со сплошной облицовкой, сваренной непосредственно на гребном валу из двух или трех секций. Однако образование трещин не прекращается, гребные валы со всеми типами облицовок во время докования приходится демонтировать, устранять трещины путем проточки, либо вообще заменять вал.

По заказу Калининградской БТФ Гипрорыбфлотом были проведены исследования по определению причин низкой надежности гребных валов БМРТ типа «Маяковский» с целью разработки рекомендаций по повышению надежности.

Работа велась в двух направлениях:

- анализ статистических данных об отказах гребных устройств;
- исследование напряженного состояния и несущей способности гребного вала.

В процессе статистической обработки материала, собранного по судам Западного и Дальневосточного бассейнов, анализировалась надежность гребных валов, гребных винтов и дейдвудных подшипников, а также фактические нагрузки на первый дейдвудный подшипник, устанавливаемые при центровке валопровода. Основным источником информации для статистического анализа являлись акты освидетельствований гребных устройств, представленные Гипрорыбфлоту Главным управлением Регистра СССР. Всего было рассмотрено 635 актов. Данные актов регистрировались в специальных книгах учета информации по каждому БМРТ. Статистическая обработка информации производилась по разработанной методике¹.

В результате статистического анализа информации о надежности гребного устройства БМРТ пр. 394 (1963—1973 гг.) установлено, что показатели надежности гребного вала и гребного винта с поворотными лопастями не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к их эксплуатации на судах флота рыбной промышленности. За 10 лет по разным причинам были заменены или имели трещины, устраненные при ремонтах, 37% гребных валов всех БМРТ. При этом наибольший удельный вес количества замен и образования трещин наблюдается у БМРТ Калининградской базы тралового флота (58,8%), а наименьший — у БМРТ Главного управления «Дальрыба» (20%).

¹ Л. В. Ефремов. Рекомендации по статистической обработке информации о технической эксплуатации судов флота рыбной промышленности. Экспресс-информация ЦНИИТЭИРХ, серия 11 «Эксплуатация флота рыбной промышленности». М., 1974, вып. 2 (Гипрорыбфлот).

Для оценки изменения общего уровня надежности гребных валов со временем вычислялся условный параметр потока отказов:

$$\omega = \frac{N_0}{N_a \Delta t} \cdot 100 \text{ (проц./г.)},$$

где ω — условный параметр потока отказов; N_0 — число зафиксированных отказов (все замены и случаи образования трещин) за время Δt ; N_a — число рассмотренных актов освидетельствований за тот же период времени; Δt — интервал времени, принимаемый равным одному году.

Результаты расчета параметра ω показывают, что в 1970—1972 гг. в целом по Минрыбхозу СССР величина ω резко возросла до 28 проц/г., главным образом за счет БМРТ ГУ «Запрыба» (40 проц/г.) и особенно Калининградской БТФ (75 проц/г.). В этот же период для БМРТ ГУ «Дальрыба» параметр ω составлял 8—11 проц/г.

При анализе надежности было отмечено, что средний срок службы БМРТ Калининградской БТФ вдвое выше, чем у судов ГУ «Дальрыба». В целом по флоту из-за трещин и поломок заменялось и ремонтировалось 57% гребных валов от общего числа случаев их замен или ремонтов. При этом около 10% аварий приходится на поломки гребных валов в море.

Кроме замены из-за трещин и поломок, гребные валы заменялись по причине износа или в связи с агрегатным ремонтом.

В результате обработки статистических данных представилось возможным определить средние сроки службы гребных валов. В целом по Минрыбхозу СССР средний срок службы составил 30 тыс. ч, а для ГУ «Дальрыба» — 40 тыс. ч.

Средняя периодичность ремонтов и замен гребных валов составила 9,2 тыс. ч, что примерно соответствует 1,5 года эксплуатации. Обработка статистических данных показала также, что коэффициент вариации среднего срока службы гребных валов составил около 0,6—0,5.

Таким образом, рассмотренные показатели надежности свидетельствуют о том, что в целом надежность гребных валов БМРТ типа «Маяковский» не удовлетворяет требованиям эксплуатации на судах флота рыбной промышленности. Срок службы гребных валов в 3—4 раза ниже требуемого.

Установлено также, что средний срок службы гребных валов со сварной сплошной облицовкой (16,5 тыс. ч) в 1,47 раза меньше, чем у гребных валов с отдельной облицовкой и эпоксидным покрытием (24,3 тыс. ч).

Основными видами отказов, снижающих долговечность гребного вала, являются образование трещин, а также эрозия облицовки и их интенсивный износ в районе сальника. Два последних дефекта приводят к увеличению объема ремонтных работ: из-за интенсивного износа в районе сальника в среднем через 16 тыс. ч

приходится протачивать облицовку и производить наплавку (в ГУ «Запрыба») или напрессовку (в ГУ «Дальрыба») втулки.

Вероятность образования трещин в гребных валах в целом по всем БМРТ Министерства рыбного хозяйства СССР составила 23,6%, причем наибольшего уровня она достигла на Калининградской БТФ (37,5%), а наименьшего в ГУ «Дальрыба» (9,3%).

Всего было рассмотрено 17 случаев поломок гребных валов. Из них 13 случаев аварий произошло в ГУ «Запрыба» (в том числе 9 на Калининградской БТФ) и только 2 случая в ГУ «Дальрыба».

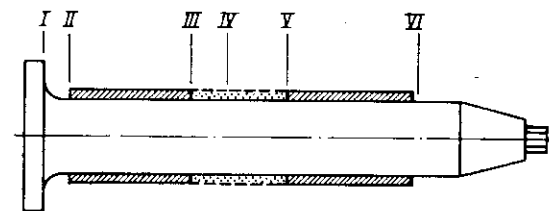


Схема опасных сечений гребного вала

Образование трещин наблюдается в гребных валах как со сплошной сварной облицовкой, так и с отдельной, имеющей эпоксидное покрытие (см. рисунок). В первом случае наибольшее количество трещин обнаружено в районе сварного шва, а во втором — рядом с кормовым торцом носовой облицовки. В районе гребного винта трещин в гребных валах практически не бывает (табл. 1 и 2).

Распределение поломок по сечениям

Таблица 1

Тип облицовки	Сечения						Не указано	Итого
	I	II	III	IV	V	VI		
Раздельная с эпоксидным покрытием	—	—	1	3	3	—	1	8
Сплошная сварная	—	—	—	3	—	—	1	4
Раздельная с резиновым покрытием	—	—	—	2	—	—	1	3
Не указан	—	—	1	—	1	—	—	2
Итого	—	—	2	8	4	—	3	17

Вероятность образования трещин находится в прямой зависимости от нагрузки на выносной опорный подшипник гребного вала. На судах ГУ «Запрыба», где средняя нагрузка на выносной подшипник составляет 2,87 т, вероятность образования трещин достигает 37,5%, в то время как на судах ГУ «Дальрыба» эти показатели равны соответственно 3,87 т и 9,3%.

В ГУ «Запрыба» для набора дейдвудных подшипников в основном применяется древеснослоистый пластик ДСП-А, а в ГУ

«Дальрыба» — ДСП-Б. Средняя наработка дейдвудных подшипников до момента замены набора в главных управлениях «Дальрыба» и «Запрыба» примерно одинакова (15—16 тыс. ч), однако средняя скорость нарастания зазора и предельные зазоры в дейдвудных подшипниках на судах типа БМРТ этих управлений различны: на судах ГУ «Запрыба» — 0,22 мм/тыс. ч и 5,14 мм соответственно, ГУ «Дальрыба» — 0,147 мм/тыс. ч и 4,14 мм. Наибольшая средняя скорость нарастания зазора установлена на БМРТ Калининградской БТФ — 0,237 мм/тыс. ч.

Таблица 2

Распределение трещин по сечениям

Тип облицовки	Сечения							Итого
	I	II	III	IV	V	VI	Не указано	
Раздельная с эпоксидным покрытием	1	1	3	—	8	4	6	23
Сплошная сварная	—	1	2	28	2	—	3	36
Раздельная с резиновым покрытием	—	1	3	1	3	—	6	14
Не указан	1	—	—	2	—	1	2	6
Итого	2	3	8	31	13	5	17	79

При анализе статистических данных отмечен значительный разброс значений скорости нарастания зазора в дейдвудном подшипнике. Коэффициент вариации достигал 50—60%, что свидетельствует о значительном влиянии на этот показатель условий эксплуатации и ремонта.

На отношение средних скоростей нарастания зазора в кормовом ($v_{кор}$) и носовом ($v_{нос}$) дейдвудных подшипниках заметно влияют нагрузки на выносной подшипник гребного вала. Увеличение средней нагрузки с 2,87 т (ГУ «Запрыба») до 3,87 т (ГУ «Дальрыба») уменьшает отношение $\frac{v_{кор}}{v_{нос}}$ с 1,91 до 1,74.

При нагрузке 3,87 т (ГУ «Дальрыба») на выносной подшипник гребного вала заметна корреляционная зависимость отношения $\frac{v_{кор}}{v_{нос}}$ от времени работы подшипников. С течением времени отношение $\frac{v_{кор}}{v_{нос}}$ уменьшается. При средней нагрузке 2,87 т (ГУ «Запрыба») такая корреляционная связь практически отсутствует.

Обнаруженная зависимость вероятности образования трещин в средней части гребного вала и отношения $\frac{v_{кор}}{v_{нос}}$ от средней нагрузки на подшипники также подтверждает влияние центровки на образование трещин в гребных валах.

Второе направление работ заключалось в определении напряжений в гребном валу, вызываемых крутильными колебаниями и из-

гибом. При этом учитывались способы центровки валопровода. Расчеты центровки и напряжений в гребном валу от изгиба выполнялись Астраханским техническим институтом рыбной промышленности и хозяйства по предложенной им методике.

Анализ результатов расчета несущей способности и действующих нагрузок на гребной вал БМРТ типа «Маяковский» с учетом обнаруженных статистических закономерностей позволил определить наиболее вероятные причины образования трещин в гребных валах.

Напряженное состояние гребного вала БМРТ обусловлено совокупным воздействием изгибающих моментов, вызванных силой веса и гидродинамическими нагрузками, а также крутильных колебаний 8-го порядка четырехузловой формы. Напряжения от этих колебаний не превышают 100 кгс/см², однако они существенно увеличивают суммарные напряжения в гребном валу и, следовательно, определяют общее напряженное состояние. Кроме того, длительная работа силовой установки при частотах вращения с резонансными высокочастотными колебаниями может способствовать постепенному разрушению защитного эпоксидного покрытия и сварного шва или привести к образованию под торцовыми участками облицовок фреттинг-коррозии.

В кормовом сечении гребного вала у фланца гребного винта суммарные напряжения зависят только от сил веса и гидродинамических нагрузок от гребного винта. Усталостную прочность в этом сечении можно считать удовлетворительной, что подтверждается сопоставлением расчетных и допускаемых напряжений, а также минимальной вероятностью образования трещин на этом участке гребного вала.

Основной причиной образования трещин в средней части гребного вала является возникновение недопустимых напряжений от изгибающих моментов при увеличении нагрузки на носовой дейдвудный подшипник по мере износа кормового дейдвудного подшипника в зависимости от начальной нагрузки выносного опорного подшипника при центровке валопровода.

В ГУ «Дальрыба» при центровке в большинстве случаев создается достаточно большая нагрузка на выносной подшипник гребного вала (в среднем 3,87 т) и соответственно минимальная нагрузка на носовую дейдвудную опору. Поэтому имеется резерв времени до того момента, когда по мере износа кормового подшипника нагрузка на носовую опору достигнет величины, опасной для прочности гребного вала. Это подтверждается более высоким значением отношения $\frac{v_{кор}}{v_{нос}}$, уменьшением этого отношения по мере на-

работки и минимальной вероятностью образования трещин в гребных валах БМРТ ГУ «Дальрыба». По-видимому, у дейдвудного устройства БМРТ ГУ «Запрыба» при меньшей нагрузке на выносной дейдвудный подшипник с момента центровки до возникновения недопустимой нагрузки носовой опоры резерв времени значительно меньше или его нет вообще. Сразу после центровки изгибающие моменты в средней части гребного вала достигают таких значений,

которые не только вызывают большие напряжения, но и способствуют разрушению сварного шва или эпоксидного покрытия, попаданию воды на поверхность вала и снижению усталостной прочности. Такое предположение о причинах образования трещин в гребных валах БМРТ ГУ «Запрыба» подтверждается большой вероятностью их обнаружения, меньшим значением отношения $\frac{v_{кор}}{v_{нос}}$

и большим значением средней скорости нарастания зазора при меньшей средней нагрузке на выносной подшипник во время центровки.

При центровке в случае нагрузки 2,87 т на выносной дейдвудный подшипник (с учетом гидродинамических сил) расчетные напряжения получаются больше допускаемых.

Расчеты напряжений в гребном валу, выполненные специалистами Астраханского технического института рыбной промышленности и хозяйства, подтверждают влияние центровки на напряженное состояние гребного вала. При центровке по нагрузкам, рассчитанным этим институтом, гарантируются минимальные напряжения в средней части гребного вала (в условиях минимальной нагрузки носовой дейдвудной опоры). Центровку рекомендуется выполнять в жестких допусках на нагрузку выносного подшипника ($3,28 \pm 0,14$ т).

Причиной повышенного влияния центровки валопровода на напряженное состояние гребного вала является несоблюдение условия надежной загрузки двух смежных опор — выносного опорного и носового дейдвудного подшипников.

Нарушение центровки особенно опасно, так как механизм изменения шага и гребной винт имеют большой вес. Недогрузка или отсутствие нагрузки на выносном опорном подшипнике гребного вала приводит к образованию больших напряжений в гребном валу из-за реакции носовой дейдвудной опоры. Возникновение трещин в этих условиях особенно вероятно в гребных валах БМРТ, у которых положение оси дейдвудной трубы значительно смещено от оси коленчатого вала двигателя.

Многие случаи поломок и образования трещин на гребных валах были вызваны повреждением лопастей гребных винтов, продолжительной эксплуатацией судов без контроля нагрузок на подшипники, браком, допущенным при нанесении эпоксидного покрытия, грубой механической обработкой гребного вала, грубо выполненной наплавкой облицовки и т. п.

Выполненные исследования позволяют сделать общее заключение о том, что у судов с ВРШ система сил и моментов, воздействующих на гребной вал, отличается от схемы нагружения гребных валов судов с ВРШ. Поэтому для судов с ВРШ необходимо разработать специальную методику расчета прочности гребного вала.

Результаты анализа вероятных причин образования трещин и поломок гребных валов БМРТ типа «Маяковский» позволили разработать план конкретных организационно-технических мероприятий и рекомендации по повышению надежности гребных устройств этих судов.

ВРЕМЕННАЯ ИНСТРУКЦИЯ О ПОРЯДКЕ ЗАХОДОВ СУДОВ ФЛОТА РЫБНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР В ПОРТЫ США

(Извлечение)

В соответствии с приказом Министра № 255 от 29 июня 1973 г. и № 113 от 14 марта 1973 г. устанавливается следующий порядок оформления документов и захода судов флота рыбной промышленности СССР в порты США:

I. Порты США, открытые для захода судов флота рыбной промышленности

1. Заходы советских промысловых, научно-исследовательских и вспомогательных судов флота рыбной промышленности СССР с целью пополнения судовых запасов продовольствием, пресной водой или бункером, для отдыха или смены экипажа, мелкого ремонта; получения других услуг, предоставляемых обычно в портах, разрешены:

а) на Атлантическом побережье США в порты Балтимор, Филадельфия, Нью-Йорк и Бостон до четырех судов ежемесячно в каждый указанный порт;

б) на Тихоокеанском побережье США и на Гавайских островах в порты Сиэтл, Портленд и Гонолулу.

2. Кроме того, для научно-исследовательских судов флота рыбной промышленности СССР, осуществляющих работу по совместным и согласованным с американской стороной программам, если это будет необходимо, применяются дополнительные меры, способствующие их заходу в порты, указанные в п. 1, и некоторые другие порты.

3. Проход через Панамский канал и заход в порты Панамского канала регулируются общепринятыми нормами мореплавания и правилами плавания по Панамскому каналу.

4. Вопрос о заходе судов флота рыбной промышленности СССР в порты США решается главными управлениями рыбной промышленности, Управлением Мортрансфлот, ВНИРО или СЭКБ промышленного рыболовства в соответствии с приказом министра от 23 октября 1969 г. № 360.

5. Очередность захода в порты США регулирует начальник соответствующего промыслового района.