

УДК 629.12

Гирин Станислав Николаевич¹, к.т.н., профессор, профессор кафедры ТКИС,
e-mail: girin.sn@vsuwt.ru

Матвеев Юрий Иванович¹, д.т.н., профессор, зав. кафедрой ЭСЭУ
e-mail: matveeveseu@mail.ru

¹Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия.

УЧЕТ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ВАЛОПРОВОДОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ОЧЕРЕДНОГО ОСВИДЕТЕЛЬСТВОВАНИЯ СУДНА

Аннотация. Показано, что отказы и разрушения гребных валов достаточно часто происходят в процессе эксплуатации судов. Так, за период с 1991 по 2001 г Российским Речным Регистром зафиксировано 115 случаев повреждения гребных валов. В большинстве случаев разрушение вала вызвано нарушением усталостной прочности материала. Для предотвращения этого явления весьма важно знать характер напряженного состояния конструкции. С учетом сложной картины внешних нагрузок, действующих на вал, теоретическое определение напряжений затруднительно. Авторы предлагают внедрять в практику оценки технического состояния валопроводов применение инструментальных методов контроля напряженно-деформированного состояния.

Ключевые слова: Судовые валопроводы, оценка технического состояния, напряженное состояние, усталостная прочность, инструментальные методы контроля.

В соответствии с Правилами Российского Речного Регистра [1] очередное освидетельствование судна производится один раз в пять лет с целью определения технического состояния элементов судна и судовых технических средств, а также оформления ряда документов. Это освидетельствование производится в доке или на слипе, поскольку включает в себя освидетельствование подводной части судна. В соответствии с п.4.2.9 [1] валопровод демонтируется, извлекается из корпуса судна и подвергается дефектоскопии, затем, при необходимости, ремонтируется или заменяется. Все операции, связанные с ремонтом элементов валопроводов, выполняются с соблюдением требований ОСТ5.4368-81 [2].

Таким образом, порядок наблюдения за работой валопровода на судне, а также технологические операции по его ремонту и монтажу весьма подробно описаны в нормативных документах. И, тем не менее, практика показывает, что случаи поломки или отказов элементов валопроводов судов далеко не единичны. Наиболее характерным примером является поломка гребного вала т/х «ЭЛАНД», происшедшая в ноябре 2019 г в Ладожском озере. Эта авария и причины, ее вызвавшие, достаточно подробно описаны в статье авторов [3].

По сведениям ежегодных бюллетеней, выпускаемых Российским Речным Регистром, в которых фиксируются разного рода авария и происшествия с судами, находящимися под его надзором, в период с 1991 по 2001 г. г. имело место 115 повреждений гребных валов, а с 2002 по 2006 – 71 повреждение. Очевидно, что в эту

статистику не вошли случаи замены валов в рамках работ по разным видам освидетельствования судов при обнаружении в них дефектов, не поддающихся восстановлению. Причины повреждений валопроводов отражены на рис. 1 и 2

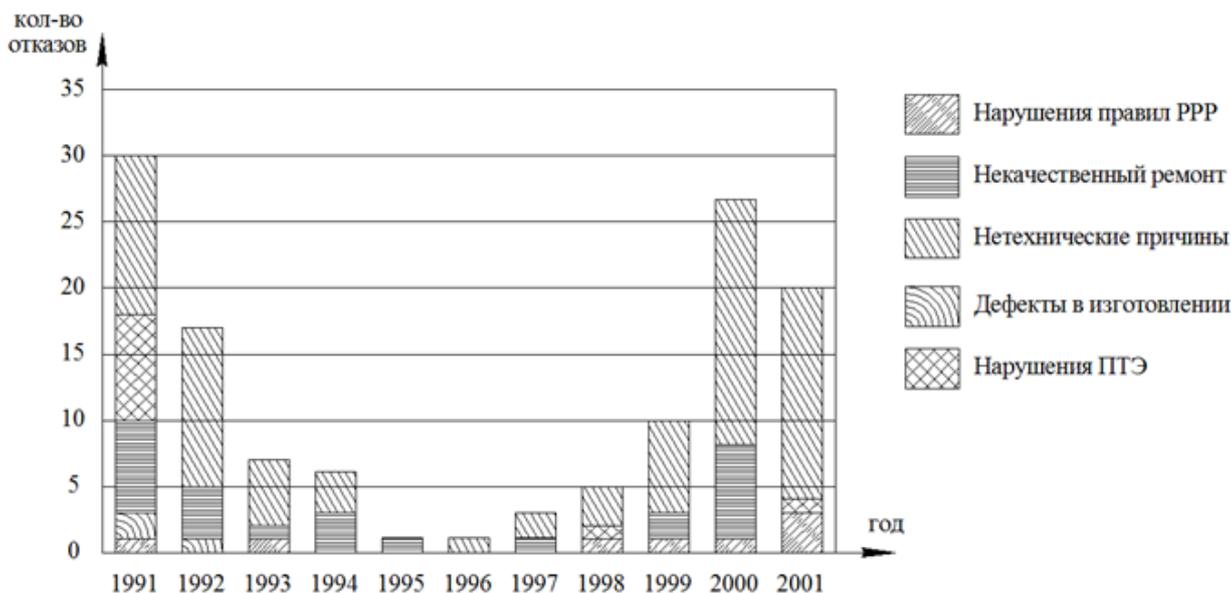


Рисунок 1 – Гистограмма отказов валопроводов в 1991–2001 гг.

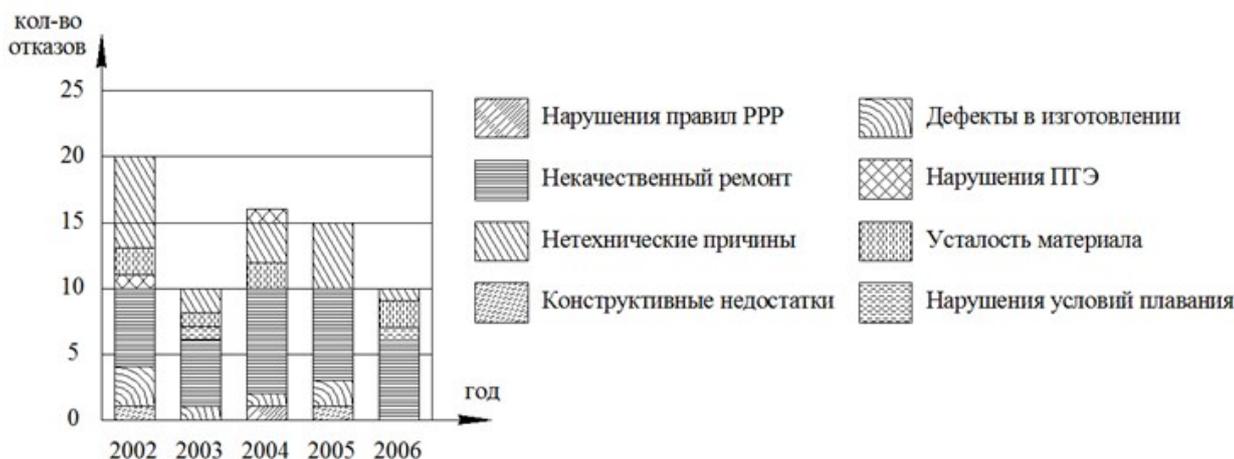


Рисунок 2 – Гистограмма отказов валопроводов в 2002–2006 гг.

Из представленных на этих рисунках данных следует, что значительную роль в отказах валопроводов играют следующие факторы: некачественный ремонт, дефекты в изготовлении, усталость материала.

Следует подчеркнуть, что основной причиной отказов и поломок валопроводов является нарушение усталостной прочности материала. На ранней стадии это явление проявляется в виде трещины, которая появляется в зонах концентрации напряжений: галтели, выточки, облицовки. Так на рис.3 показана фотография, на которой четко видна трещина на облицовке гребного вала. Трещины, которые появляются на поверхности вала и своевременно не устранены, распространяются вглубь материала, что, в конечном итоге, приводит к его разрушению (см. рис.4).



Рисунок 3 – Трещины облицовки гребного вала судна пр.191 тип «СТ-1300»

Статистика показывает, что, в основном, разрушаются гребные валы в районе дейдвудного подшипника. Это объясняется условиями работы гребного вала. В указанном сечении действуют нормальные напряжения от сил, создаваемых гребным винтом, нормальные напряжения от неточности центровки валопровода, а также касательные напряжения от скручивающего момента, создаваемого двигателем и винтом. При вращении валопровода возникают изгибные и крутильные колебания, которые и являются причиной возможного нарушения усталостной прочности материала вала.

В соответствии с п.4.10 [2] нормальные напряжения в гребном валу от нарушения центровки не должны превышать 25 МПа. При этом приведенные (эквивалентные) нормальные напряжения с учетом касательных напряжений от крутильных колебаний не должны превышать 35 МПа.



Рисунок 4 – Примеры разрушения гребных валов

В Правилах Российского Речного Регистра [4] отсутствуют значения допускаемых нормальных напряжений в валах, как при проектировании, так и при оценке технического состояния. В соответствии с п.6.2.1 [4] устанавливаются допускаемые значения касательных напряжений, вызванных крутильными нерезонансными и резонансными колебаниями.

Как указывалось выше, судовые валопроводы и, прежде всего, гребной вал подвержены различным нагрузкам, достоверные значения которых трудно определить на практике, а, тем более, вычислить вызванные ими напряжения. В этой связи, по нашему глубокому убеждению, в практику оценки технического состояния валопроводов эксплуатирующихся судов необходимо вводить инструментальные методы, позволяющие прямо или косвенно измерять напряженно-деформированное состояние валов на судне не только при нахождении его в доке или на стапеле, но и при плавании на тихой воде и на волнении.

В настоящее время различными фирмами выпускаются соответствующие приборы, позволяющие решать поставленную задачу. Наибольший интерес представляет аппаратура, позволяющая записывать процессы изменения напряженного состояния валопровода при его вращении. В этом случае можно получить интересующие нас величины напряжений для последующей оценки продолжительности безотказной эксплуатации вала. Коэффициенты запаса по усталостной прочности и их нормативные значения приводятся в различных литературных источниках. Некоторые из этих зависимостей приведены в статье [3].

Фирмой ООО «АФС52» разработан фазометрический комплекс ФМК-301М, позволяющий с высокой точностью определять расстояние до стационарных и динамических объектов. В настоящее время авторы настоящей статьи совместно с разработчиками указанного комплекса выполняют исследования по возможности оперативного контроля колебаний судовых валопроводов. Испытания, выполненные в условиях лаборатории, подтвердили высокую точность замера амплитуд колебаний искривленного вала. В декабре 2021 г были проведены испытания прибора на т/х «ОТ-2429». Были записаны процессы колебаний промежуточного вала валопровода при разных оборотах двигателя от минимальных до максимальных в условиях ошвартованного судна. На рис.5 представлены запись процесса измерения расстояния от источника сигнала до поверхности вала в данном сечении валопровода, а также спектр зафиксированного процесса.

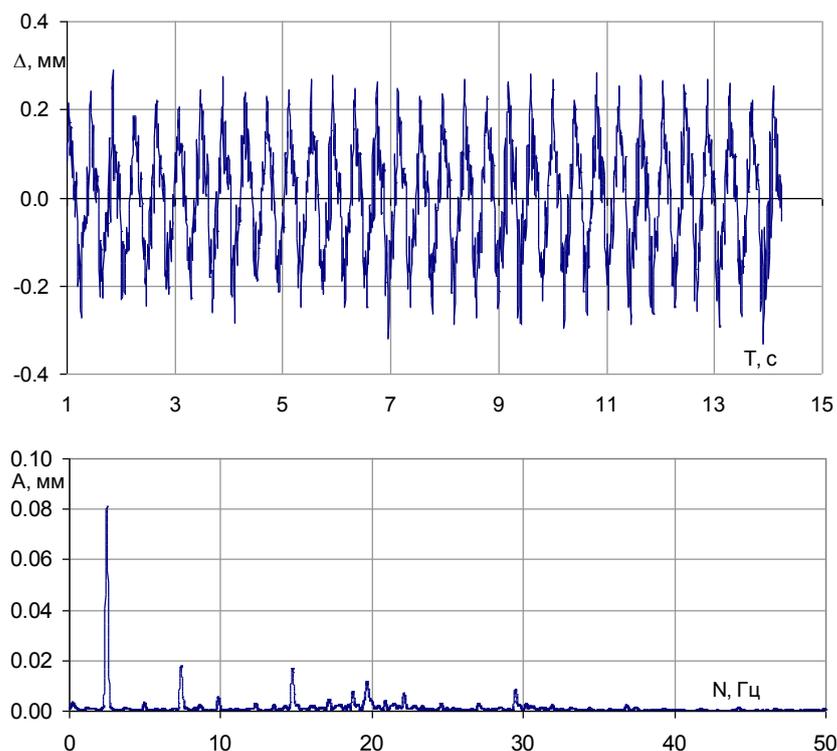


Рисунок 5 – Результат измерения биений вала при 147 оборотах в минуту и спектр мощности зарегистрированных колебаний.

Из рис.5 следует, что кроме основного источника колебаний (двигателя) на спектре присутствуют влияния источника (источников) с другими частотами. Этим источником, скорее всего, являлась слань машинного отделения, на которую устанавливался прибор. При следующих испытаниях надо предусмотреть возможность установки прибора на амортизатор, который будет гасить колебания основания прибора.

Данный прибор может служить косвенным фактором контроля технического состояния валопровода.

Список литературы:

1. Российский Речной Регистр. Правила (в 5-и томах). Т.1. М.: ООО «УП ПРИНТ», 2019. – 400 с.
2. ОСТ5.4368-81 Валопроводы судовые движительных установок. Монтаж. Технические требования, правила приемки и методы контроля. – Л.: Изд-во типография НПО «Ритм», 1983. – 142 с.
3. Гирин С.Н., Матвеев Ю.И. Анализ поломки гребного вала теплохода «ЭЛАНД» // Научные проблемы водного транспорта. 2022. №71. С.
4. Российский Речной Регистр. Правила (в 5-и томах). Т.3. М.: ООО «УП ПРИНТ», 2019. – 424 с.

TAKING INTO ACCOUNT THE STRESSED STATE OF THE SHAFT LINES DURING THE NEXT INSPECTION OF THE VESSEL

Stanislav N. Girin, Yuri I. Matveev

Abstract. It is shown that failures and destruction of propeller shafts occur quite often during the operation of ships. Thus, during the period from 1991 to 2001, the Russian River Register

recorded 115 cases of damage to propeller shafts. In most cases, the destruction of the shaft is caused by a violation of the fatigue strength of the material. To prevent this phenomenon, it is very important to know the nature of the stressed state of the structure. Given the complex picture of external loads acting on the shaft, the theoretical determination of stresses is difficult. The authors propose to introduce into practice the assessment of the technical condition of the shaft pipelines the use of instrumental methods of stress-strain state control.

Keywords: Ship shaft lines, assessment of technical condition, stress state, fatigue strength, instrumental control methods.