

НАУЧНЫЕ РАБОТЫ

ООО «КБ Инжиниринг»,
Морская государственная
академия им. адмирала
Ф.Ф. Ушакова

76

А.В. Брежнев, И.Н. Николаев, А.В. Оводовский. **Вариационная задача распределения оценок виброскорости при контроле технического состояния винторулевых колонок морских и речных судов**

78

Н.И. Николаев, А.В. Брежнев, И.Н. Николаев, М.В. Гриценко. **Контроль вибрации винторулевых колонок речных и морских судов**

Московская государственная академия водного транспорта (МГАВТ)

81

С. Кищенко. **Анализ точности и стабильности обсервованных координат при эксплуатации судового приемоиндикатора (СПИ) спутниковой радионавигационной системы (СРНС)**

Волжская государственная академия водного транспорта (ВГАВТ)

83

В.Н. Костров, А.В. Федюшин. **Обеспечение экономичес-**



кой безопасности внутреннего водного транспорта в процессе международной транспортной интеграции

85

М.В. Молчанова. **Габариты судового хода на криволинейных участках**

Новосибирская государственная академия водного транспорта (НГАВТ)

87

М.К. Романченко, А.М. Романченко, Д.А. Киселев. **Виброизоляция источника вибрации**

УЧРЕЖДЕНИЯ: ООО «КБ Инжиниринг», Морская государственная академия им. адмирала Ф.Ф. Ушакова

ТЕМА: Вариационная задача распределения оценок виброскорости при контроле технического состояния винторулевых колонок морских и речных судов

АВТОРЫ: А.В. БРЕЖНЕВ, И.Н. НИКОЛАЕВ, А.В. ОВОДОВСКИЙ

АННОТАЦИЯ: В статье предложен и описан метод оценки анализа интегральных характеристик вибрационного сигнала

Технический контроль винторулевых колонок (ВРК) морских и речных судов [1], организованный путем анализа интегральных характеристик вибрационного сигнала, является наиболее информационным и доступным методом исследования технического состояния [2-5]. Стремление судовладельцев к снижению расходов на непредвиденные аварийные ремонты судовых технических средств (СТС) и к сокращению затрат на выполнение текущих работ вызывает огромный интерес и необходимость в эффективном использовании технологии вибрационного анализа к переходу обслуживания СТС по состоянию.

Спектральные методы обработки вибрационных сигналов составляют основу интегральных оценок параметров сигнала.

На основании теоремы Парсеваля для двух функций $g(t)$ и $h(t)$:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} g(t) \cdot h(t) dt = \int_{-\infty}^{+\infty} G(f) \cdot H(f) df, \quad (1)$$

где $g(t)$ и $h(t)$ временные функции сигналов, $G(f)$ и $H(f)$ их Фурье-преобразования.

При $g(t) = h(t)$ имеет место теорема для энергии:

$$E = \int_{-\infty}^{+\infty} |h(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{+\infty} |H(f)|^2 df. \quad (2)$$

Оценка большинства реальных сигналов, полученных в результате измерений параметров, проводимых на СТС, например для ВРК, основана на вычислении среднеквадратического значения (СКЗ) и определяет общую энергию сигнала в обусловленной точке замера (рис. 1). Различного рода изменения формы сигнала, трансформация во времени учитываются как раз этим параметром.

Для оценок, полученных посредством измерений вибрационного сигнала на ВРК «Aquamaster» («Rolls-Royce») US205, установленных на морских буксирах применим Фурье-преобразование. В результате быстрого преобразования Фурье (БПФ) получим оценку вида (2) путем суммирования спектральных составляющих в полосе анализа (октава). Вопрос достаточности статистики измерений решается алгоритмом БПФ, обрабатывающим массив данных в 4096 отсчетов сигнала, при принятии гипотезы о нормальном распределении процесса.

Полученные при нормальной эксплуатации буксиров результаты оценки уровней вибрации ВРК типа US205 при изменении частоты вращения двигателя (960, 1200, 1500 об/мин) можно на основании (2) оценить как эквивалентную энергию вибрации в определенной полосе частот.

ВРК являются элементами сложной статически неопределенной системы, что осложняет процесс установления

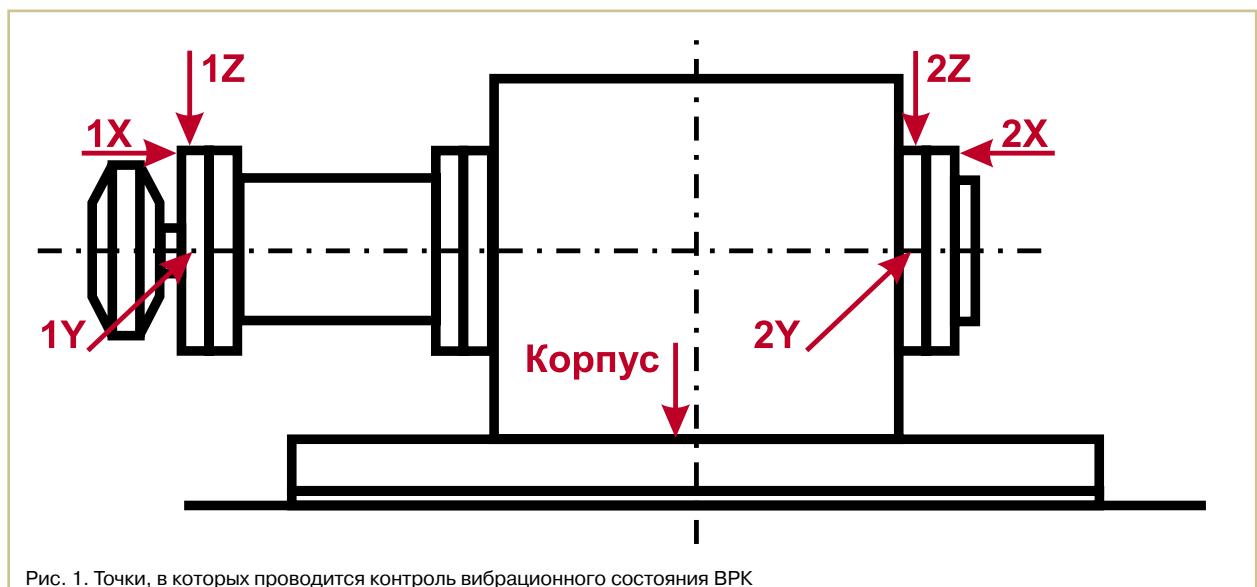


Рис. 1. Точки, в которых проводится контроль вибрационного состояния ВРК

главных напряжения в механических системах, в частности возникает необходимость анализа сигнала в трех ортогональных плоскостях x, y, z .

Поскольку фундамент ВРК обусловлен определенными статическими и динамическими условиями в распределении вибрационного сигнала, целесообразно строить оценки на основании модуля сигнала:

$$\langle v \rangle = \sqrt{\tilde{v}_x + \tilde{v}_y + \tilde{v}_z}, \quad (3)$$

где $\langle v \rangle$ – усредненная в статистическом смысле оценка виброскорости, $\tilde{v}_x, \tilde{v}_y, \tilde{v}_z$ – интегральные оценки (СКЗ) виброскорости в трех ортогональных плоскостях.

Вариационный ряд $\langle v \rangle$ (рис. 2) для четырех усредненных оценок (3) определения уровня вибрации ВРК US 205 построен на нагрузках 960 и 1200 об/мин, при этом медиана распределения соответствует значению кривых в точке 2,5. Оценки построены по результатам измерений виброскорости на буксире с ВРК US205 в течение 2 лет с периодичностью исследований шесть месяцев.

Полученные оценки мало отличаются от линейных. Организация технического контроля с анализом тренда распределений может быть организована в параметрическом виде:

$$K_B = \frac{\langle v_i \rangle}{\langle \tilde{v} \rangle}, \quad (4)$$

где $\langle v_i \rangle$ – оценка виброскорости вида (3), $\langle \tilde{v} \rangle$ – медиана распределения виброскорости.

Критерием оценки коэффициента K_B будет соответствие тренда распределения кривой Вейбулла.

Функцию регрессионной оценки запишем в виде:

$$W = \frac{\langle v_{i+1} \rangle}{\langle \tilde{v} + \tilde{v}_i \rangle}, \quad (5)$$

где $\langle v_{i+1} \rangle$ – оценка виброскорости в каждом следующем измерении; $\langle \tilde{v} + \tilde{v}_i \rangle$ – медиана вариационного ряда оценок,

уточняемая при каждом следующем измерении. Линейное изменение виброскорости, связанное с износом в сопрягающихся деталях винторулевого комплекса, будет соответствовать изменениям эксплуатационных параметров по кривой Вейбулла. При этом уточнение медианы вариационного ряда будет соответствовать изменениям кривых оценок (рис. 2).

Нелинейные процессы как следствие аварийного режима работы являются критерием недопустимого режима эксплуатации.

Полученные результаты применимы в алгоритмах технического контроля состояния агрегатов по данным вибрационного контроля. Предложенный и описанный метод оценки анализа интегральных характеристик вибрационного сигнала (4-5) важен в организации регрессионного анализа изменения технического состояния ВРК во время эксплуатации.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Николаев Н.И., Брежнев А.В., Гриценко М.В. Винторулевые колонки современных морских буксиров. Проблемы безопасности морского судоходства, технической и коммерческой эксплуатации морского транспорта. Материалы четвертой региональной научно-технической конференции. Новороссийск: Морская государственная академия имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, 2005. - С. 172-174.
2. Толстов А.Г. Учебное пособие по курсу «Техническая диагностика. Основы статистического нормирования интенсивности вибрации». – М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. 2003.
3. ISO 10816:1998(E). Mechanical vibration. Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts.
4. Измерение, обработка и анализ быстропеременных процессов в машинах / В. П. Максимов, И. В. Егоров, В. А. Карасев. – М.: Машиностроение, 1987. – 208 с.
5. Сирил М. Харрис, Чарльз И. Крид. Справочник по ударным нагрузкам /Сокращенный перевод с английского Н. А. Пэдура/ – Л.: Судостроение. 1980.

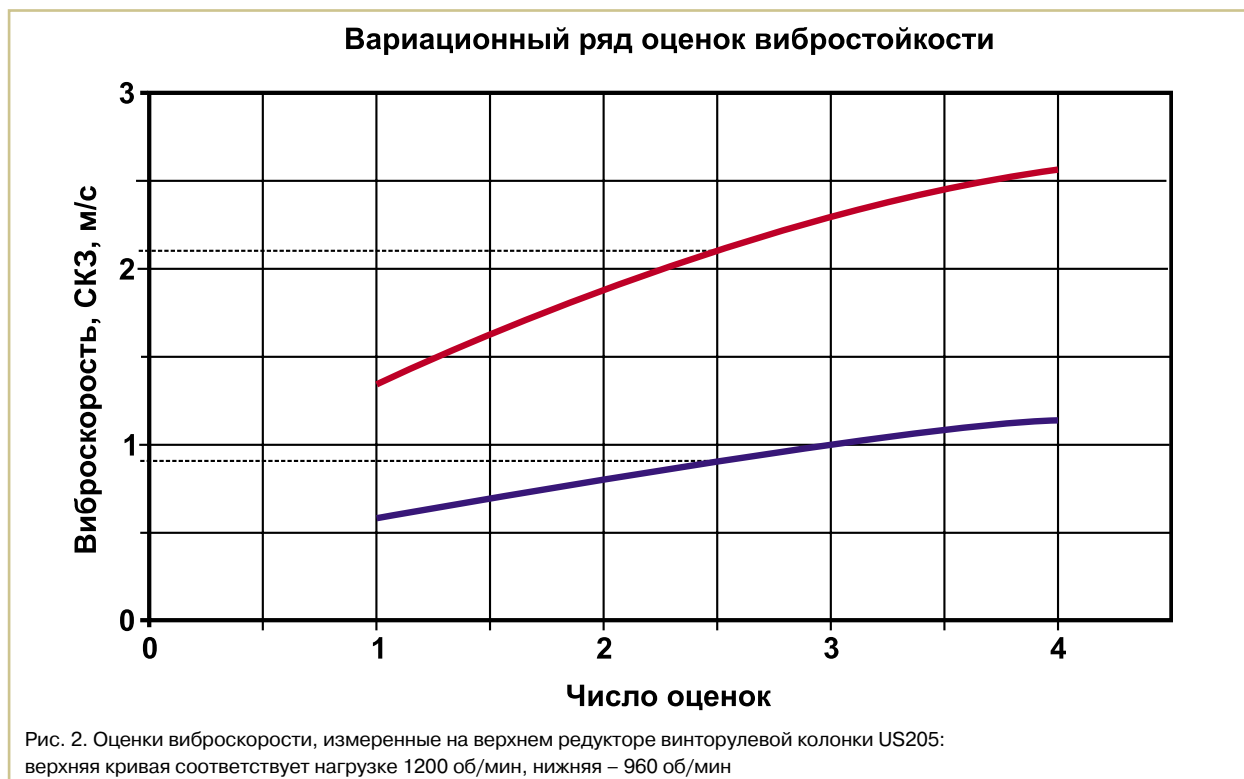


Рис. 2. Оценки виброскорости, измеренные на верхнем редукторе винторулевой колонки US205: верхняя кривая соответствует нагрузке 1200 об/мин, нижняя – 960 об/мин

УЧРЕЖДЕНИЯ: ООО «КБ Инжиниринг», Морская государственная академия им. адмирала Ф.Ф. Ушакова

ТЕМА: Контроль вибрации винторулевых колонок речных и морских судов

АВТОРЫ: Н.И. НИКОЛАЕВ, кандидат технических наук, профессор; А.В. БРЕЖНЕВ, аспирант; И.Н. НИКОЛАЕВ, аспирант; М.В. ГРИЦЕНКО, инженер

АННОТАЦИЯ: В статье предложены методики, позволяющие выявить неисправность на ранних стадиях зарождения дефектов

В настоящее время на современных буксирных и транспортных судах находят широкое применение винторулевые колонки (ВРК). Лидерами в производстве и основными поставщиками ВРК на рынок судостроения являются фирмы «Aquamaster»/«Rolls Royce», «Schottel»/«Siemens» (рис. 1).

Нормативно-правовые и технические требования российских и международных классификационных обществ (КО) (Российские Морской Регистр и Речной Регистр, DET NORSKE VERITAS, LLOYD и др.) дают возможность проводить освидетельствование с использованием безразборных методов диагностики судовых технических средств (СТС), таких, как насосы, вентиляторы, газотурбоагрегаты главных и вспомогательных дизелей, центробежные сепараторы и т. д.

Результаты контроля технического состояния СТС, сведения о выполненных работах при проведении технического обслуживания, а также информация об отказах и заменах деталей в период между освидетельствованиями заносятся в базу данных и предоставляются в КО при проведении освидетельствования. Такой подход дает судо-

владельцам возможность ввести на судне систему технического обслуживания СТС по состоянию, что позволяет: увеличить период между разборками СТС для предъявления к освидетельствованию; сократить продолжительность ремонта и увеличить эксплуатационный период; снизить трудозатраты на все виды ремонтов и технического обслуживания; снизить расходы на приобретение сменно-запасных частей (СЗЧ).

Для проведения контроля технического состояния СТС и повышения эффективности их технической эксплуатации на основе требований КО авторами разработаны методики и рекомендации по проведению безразборных контролей. Впервые разработаны методики по проведению контроля и оценки технического состояния ВРК, которые включают в себя:

- **визуальный контроль**, который заключается в регулярном осмотре систем и элементов ВРК в период эксплуатации. Во время планового докования судна производится наружный осмотр подводных элементов ВРК в объеме, предусмотренном инструкциями по эксплуатации и рекомендациями изготовителя;

- **параметрический контроль**, который предусматривает наблюдение за температурой смазочного масла в ВРК. На основании повехтенных записей каждые 3 месяца фиксируются средние значения температуры за период эксплуатации;

- **контроль качества масла**, который проводится не реже 2 раз в год согласно Сборнику инструкций по браковочным показателям всех видов смазочных и гидравлических масел, применяемых на судах морского флота в сертифицированной КО лаборатории;

- **вибрационный контроль**, который проводится анализатором вибрации и результаты его обрабатываются на персональном компьютере по разработанной нами методике.

Наиболее эффективным и информативным видом оценки технического состояния является вибрационный контроль. Он дает возможность зафиксировать начальное техническое состояние СТС и его изменение в процессе эксплуатации, а также обнаружить дефекты подвижных (вращающихся) элементов на этапе их зарождения и проследить за их развитием. На этой основе (при условии их регулярного

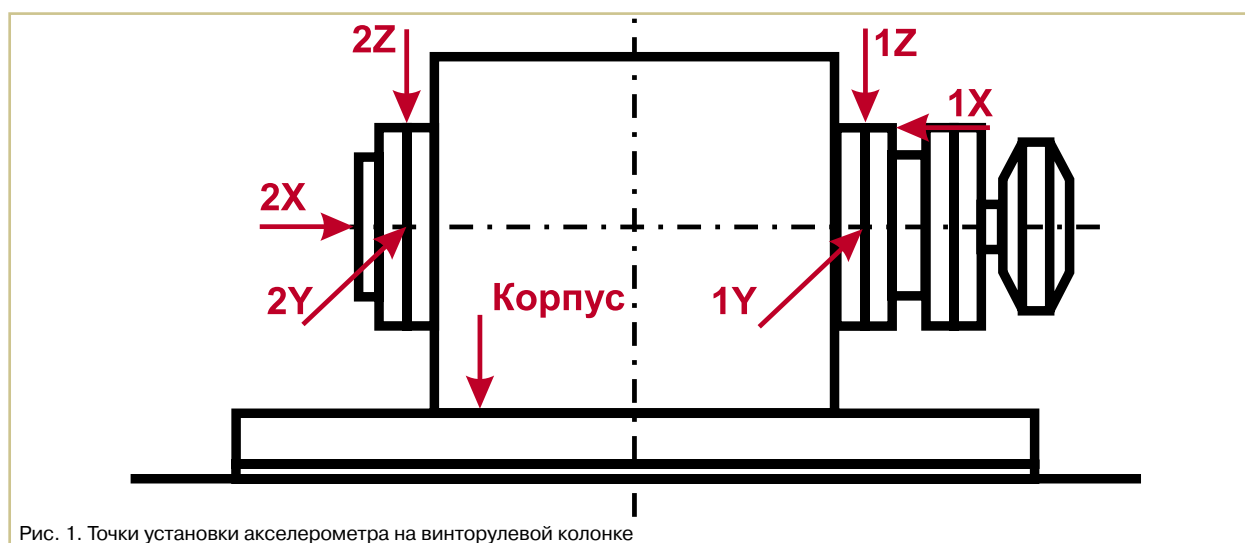


Рис. 1. Точки установки акселерометра на винторулевой колонке

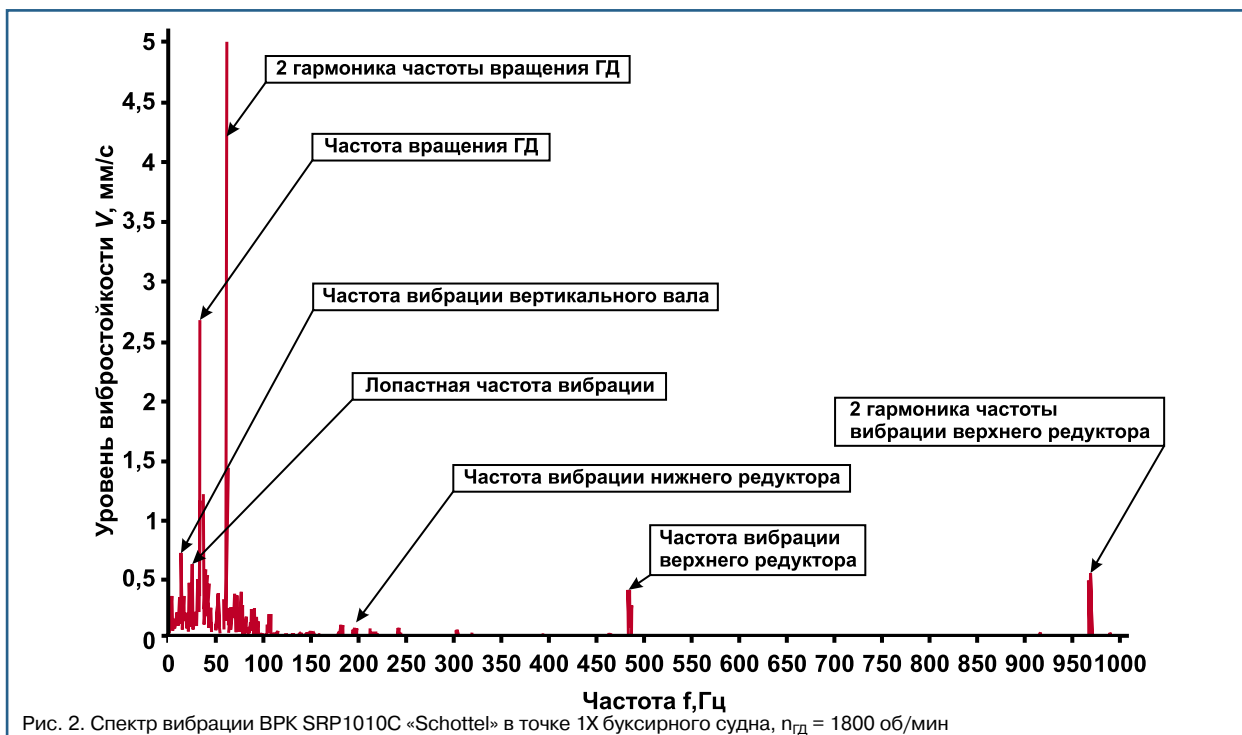


Рис. 2. Спектр вибрации BPK SRP1010C «Schottel» в точке 1X буксирного судна, $n_{ГД} = 1800$ об/мин

проведения) возможна оценка технического состояния оборудования и прогнозирование состояния на определенный период эксплуатации. Основные достоинства метода контроля по вибрационным параметрам: высокая оперативность получения результатов измерений; возможность определения места возникновения дефекта на этапе его зарождения, наблюдение за развитием дефекта и предотвращение аварийного выхода СТС из строя; назначение режимов эксплуатации СТС с целью оптимизации технической эксплуатации и составление прогноза по изменению технического состояния на

определенный период, что позволяет своевременно и качественно подготовиться к проведению ремонтных работ.

Методики контроля и оценки технического состояния BPK, согласованные и одобренные КО, включают в себя:

а) Проведение вибрационных измерений на BPK и подшипниках валопровода на 3 режимах работы главного двигателя в соответствующих точках (рис. 1).

б) Анализ результатов измерений включает в себя оценки:

– технического состояния BPK по среднеквадратичным значениям (СКЗ)

уровней вибрации в диапазоне частот 10–1000 Гц;

– состояния подшипников валопровода по среднеквадратичным значениям (СКЗ) уровней вибрации в диапазоне частот 10–1000 Гц;

– технического состояния элементов BPK на характерных частотах в 1/3-октавном диапазоне частот, которые рассчитываются на основании анализа кинематической схемы BPK (табл.).

в) Оценку результатов проведенного анализа и выдачу заключения.

Предложенная схема вибрационного контроля позволяет определить общее техническое состояние BPK и подшипников валопровода и дать заключение об их техническом состоянии. Контроль технического состояния элементов BPK дает возможность выявить причины возникновения повышенной вибрации и предложить меры по ее устранению.

В качестве примера на рис. 2 приведен узкополосный спектр вибрации BPK типа SRP1010C «Schottel» буксира в продольном направлении (точка 1X) и показаны характерные частоты вибрации элементов BPK.

По методикам в течение ряда лет проводятся вибрационные измерения на буксирах и транспортных судах. Так, например, при проведении регулярных измерений на одном из буксирных судов с BPK типа SRP300/226 «Schottel» был отмечен рост СКЗ

Основные характерные частоты вибрации узлов BPK

Основная частота вибрации ведущего вала	$f_o = \frac{n_d}{60}$
Частота вибрации промежуточного вала	$f_{np} = \frac{n_b}{60 \cdot i_b}$
Частота вибрации верхнего редуктора	$f_{вп} = f_o \cdot Z_1$
Частота вибрации нижнего редуктора	$f_{нп} = f_{np} \cdot Z_3$
Частота вибрации вала винта	$f_{вв} = \frac{n_b}{60 \cdot i_b \cdot i_n}$
Лопастная частота вибрации	$f_l = f_{вв} \cdot Z_l$
Где: n_d – частота вращения двигателя, об/мин; i_b – передаточное отношение верхнего редуктора; i_n – передаточное отношение нижнего редуктора; Z_l – число лопастей винта; Z_1 – число зубьев шестерни верхнего редуктора; Z_2 – число зубьев шестерни нижнего редуктора	

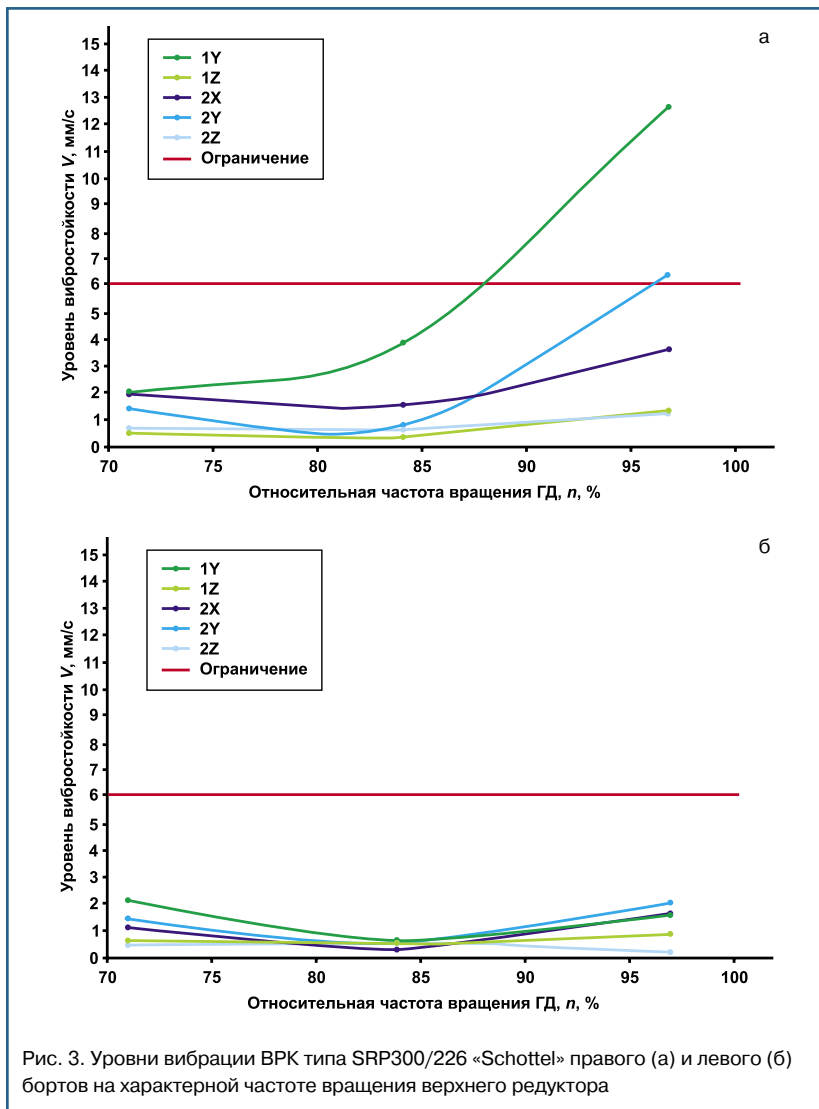


Рис. 3. Уровни вибрации ВРК типа SRP300/226 «Schottel» правого (а) и левого (б) бортов на характерной частоте вращения верхнего редуктора

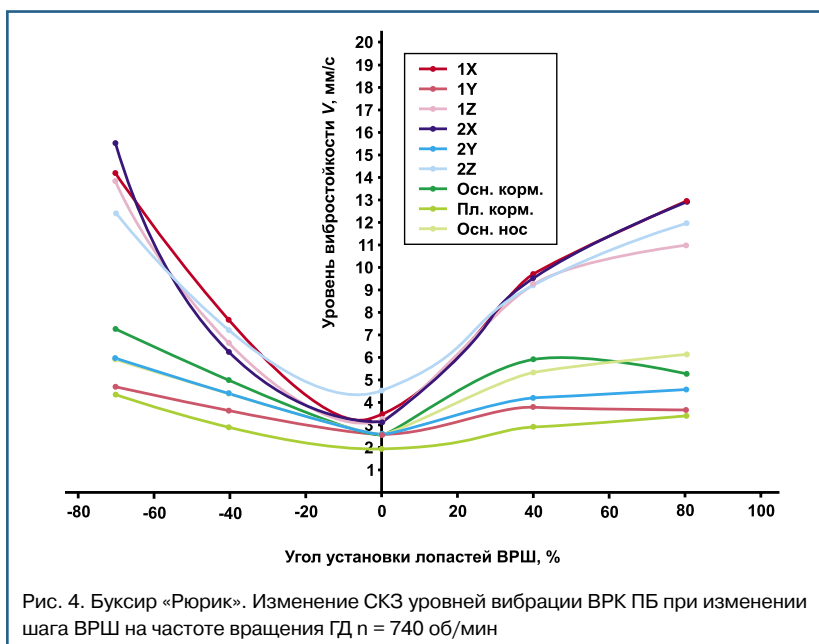


Рис. 4. Буксир «Рюрик». Изменение СКЗ уровней вибрации ВРК ПБ при изменении шага ВРШ на частоте вращения ГД $n = 740$ об/мин

уровней вибрации на колонке правого борта.

Анализ в 1/3 октавных полосах частот на характерных режимах работы показал, что причиной повышенной вибрации служит верхний редуктор. Осмотр зубчатого зацепления через технологические лючки показал, что на ведомом колесе имеется износ и скол на одном из зубьев. Однако было отмечено, что вибрация на режиме работы ГД выше 85% (рис. 3 а, б), превышает допустимую по ГОСТ ИСО 10816-1 – 96 «Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях» для машин 2 группы. По нашей рекомендации, согласованной с КО, судовладелец ограничил режимы работы ГД до 85%. Это позволило отодвинуть сроки вывода судна из эксплуатации на 6 месяцев, в течение которых был проведен комплекс подготовительных работ, закуплены необходимые для ремонта запасные части и подготовлена судоремонтная база.

Проводимые на буксирном судне с ВРК SRP2020CP фирмы «Schottel» и мощностью главного двигателя $N_e = 2000$ кВт измерения вибрации выявили повышенные уровни вибрации. На ВРК этого типа установлены в качестве движителя ВРШ. Методика проведения испытаний предполагала измерение вибрации ВРК при изменении шага винта от полного переднего до полного заднего хода на трех режимах работы ГД – 680, 720, и 740 об/мин. В качестве примера на рисунке 4 приведены результаты испытаний для режима работы 740 об/мин.

Анализ результатов испытаний показал, что уровни вибрации ВРК зависят от его нагрузки и находятся на приемлемом (согласно ГОСТ ИСО 10816-1 – 96) уровне при нагрузке ГД около 75-80%. Полученные результаты позволили рекомендовать судовладельцу режимы эксплуатации, не позволяющие превышать допустимые уровни вибрации. Работа при повышенных уровнях вибрации значительно сокращает ресурс подшипниковых узлов, приводит к ослаблению резьбовых соединений и т. д., что может вызвать внезапный выход из строя ВРК и привести к аварийной остановке судна.

Таким образом, контроль вибрации ВРК в эксплуатации по предложенным методикам позволяет на ранних стадиях зарождения дефектов выявить неисправность, оценить техническое состояние СТС и при введении системы ремонта по состоянию увеличить период освидетельствования до 10-12 лет.

УЧРЕЖДЕНИЕ: Московская государственная академия водного транспорта (МГАВТ)

ТЕМА: Анализ точности и стабильности обсервованных координат при эксплуатации судового приемоиндикатора (СПИ) спутниковой радионавигационной системы (СРНС)

АВТОР: Сергей КИЩЕНКО, аспирант кафедры «Судовождение и эксплуатация флота», второй штурман на судах заграничного плавания

АННОТАЦИЯ: В статье рассматривается и анализируется проблема точности показаний СПИ СРНС. Рассказывается о возможности проведения эксперимента на борту для проверки точностных показателей СПИ на практике и анализируются полученные результаты. На основании данных эксперимента делается вывод о влиянии математической модели Земли и географического положения приемоиндикатора на его показания УДК 621.396.9

Проблема оценки точности сама по себе представляет непростую задачу и оказывается предметом многочисленных исследований. В результате решения навигационной задачи в текущий момент времени t дается оценка вектора состояния $q(t)$ движущегося объекта. Компонентами этого вектора являются в общем случае пространственно-временные координаты определяющегося объекта, а также их производные. Оценка вектора состояния зависит от всей имеющейся к данному моменту информации: результатов измерений, их статистических характеристик, сведений о маневренных свойствах объекта и статистических характеристик случайных возмущений, действующих на него.

Наиболее полные сведения о точностных свойствах радионавигационной системы дает поле ошибок, представляющее собой набор эллипсоидов, вероятность попадания в которые равна некоторой фиксированной величине. Когда определяются лишь две поверхностные координаты, эти эллипсоиды вырождаются в эллипсы и могут быть изображены на чертеже. Применение таких полей эллипсов (а тем более эллипсоидов) при решении практических задач затруднительно. Используется среднеквадратическая ошибка (СКО) места (σ_m) в качестве меры точности в двумерном случае, поскольку вероятность нахождения ошибки в круге радиуса σ_m составляет 63...68% (в зависимости от соотношения осей эллипса) и 95% в круге радиуса $2\sigma_m$. В двумерном варианте будет:

$$\delta D_i = \delta D_{ie} + \delta D_{ion} + \delta D_{in2} - \delta D_{in1}.$$

Для исследования точности определения места судна (ОМС) по судовому

приемоиндикатору СРНС[1] необходимо использовать стоянку судна в порту у причала, через равные промежутки времени регистрировать координаты, выдаваемые СПИ и свести их в таблицу. Наблюдения целесообразно вести сериями по 50-70 измерений с дискретностью 15-30 с, чтобы период наблюдений одной серии составлял 12-35 мин. Для облегчения процесса наблюдения обсерваций и регистрации координат, выдаваемых СПИ, можно фиксировать их с интервалом 5 мин., но необходимо удлинить период наблюдений до 60 мин. (1 ч). Необходимо провести наблюдения и получить серию измерений как с одним созвездием НКА, так и при изменении созвездия. Кроме того, наблюдения целесообразно провести как в дневное, так и в ночное время.

Если в СПИ имеется возможность менять (задавать) коэффициент считывания и значение геометрического фактора, то необходимо провести ряд серий измерений при различных значениях установленного числа коэффициента считывания и различного значения геометрического фактора соответственно, с тем, чтобы выявить влияние этих факторов и систематическую погрешность СПИ в определенных псевдодальности.

Полученные координаты каждого местоположения судна из разных серий измерений следует сравнить между собой с тем, чтобы определить расхождение координат используемой карты и приемоиндикатора, а также выявить систематическую инструментальную погрешность СПИ.

По окончании наблюдений рассчитаем обсервационные координаты по следующей формуле (используя полу-

ченные данные при измерениях) и найдем среднее арифметическое значение широты:

$$\varphi_0 = \frac{1}{n} \sum \varphi_i, \quad i = 1 \dots n,$$

среднее арифметическое значение долготы:

$$\lambda_0 = \frac{1}{n} \sum \lambda_i, \quad i = 1 \dots n,$$

где n — число обсерваций, проведенных СПИ в одной серии наблюдений.

Далее необходимо снять с крупномасштабной карты или плана порта с максимальной точностью широту и долготу у причала, т. е. определить координаты станции СПИ. Рассчитать систематические погрешности обсервованных координат:

$$\sigma_\varphi = \varphi_0 - \varphi_k, \quad \sigma_\lambda = \lambda_0 - \lambda_k.$$

По полученным данным и значениям таблицы 1 необходимо рассчитать средние квадратические погрешности обсервованных координат:

$$M_\varphi = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (v_i)_\varphi^2}{n-1}}; \quad M_\lambda = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (v_i)_\lambda^2}{n-1}}$$
$$(v_i)_\varphi = \varphi_i - \varphi_0, \quad (v_i)_\lambda = \lambda_i - \lambda_0.$$

Полученные значения для M_φ и M_λ следует перевести в метры в соответствии с выражениями:

$$(M_\varphi)_m = 1852,3(M_\varphi),$$

$$(M_\lambda)_m = 1852,3(M_\lambda) \cos \varphi,$$

$$M_m = \sqrt{(M_\varphi)_m^2 + (M_\lambda)_m^2}.$$

Пример измерения серии испытаний

Дата: 31.05.1997
 Начало наблюдений 22:55
 Порт: Лисби (Lisba)
 СПИ GPS SHIPMATE RS5700
 Коней наблюдений: 23№45
 Карта № 3264
 $\phi = 38^{\circ}40,98' N, \lambda = 09^{\circ}08,6' W$

Таблица 1.

Аналогичные таблицы и расчеты проводят для i -й точки $1, \dots, j+1, \dots, k$ серий измерений. По полученным статистическим данным (взятым из таблицы для i -й точки) строим гистограммы и кривые плотности вероятности погрешностей определения широты и долготы места судна по СРНС.

Для этого выбираем величину интервала v_{ϕ} , v_{λ} и рассчитываем дифференциальные $P(v_{\phi})$, $P(v_{\lambda})$ и интегральные $F(v_{\phi})$, $F(v_{\lambda})$ функции распределения и все данные сводим в таблицу 2 (для широты) и в таблицу 3 (для долготы).

Величины интервалов v_{ϕ} , v_{λ} берутся такие, чтобы можно было хорошо проследить характер изменения $P(v_{\phi})$, $P(v_{\lambda})$ и $F(v_{\phi})$, $F(v_{\lambda})$. Таблицы 2 и 3.

По полученным данным необходимо построить гистограммы и кривые $P(v_{\phi})$, $P(v_{\lambda})$ и $F(v_{\phi})$, $F(v_{\lambda})$ и проанализировать построенные кривые распределения. Анализ этих кривых позволит увидеть

характер их поведения. Как правило, они могут отличаться от нормального распределения и иметь острую вершину, и что важнее, «приподнятые хвосты» – увеличенную вероятность больших (и потому опасных) погрешностей.

Полученные данные и построенные кривые плотности вероятностей погрешностей определения места судна СПИ СРНС можно рассматривать как распределение Релея или Лапласа [2].

Как известно, плотность распределения Релея [2] имеет вид:

$$f(x) = \frac{x}{\sigma_R^2} \exp\left\{-\frac{x^2}{2\sigma_R^2}\right\},$$

где σ_R – единственный параметр – мода – такое значение x , при котором $f(x) = \max$.

Через параметр σ_R выражаются математическое ожидание m и среднее квадратическое отклонение σ величины x :

$$\mu_x = \sigma_R \sqrt{\pi/2} \approx 1,25\sigma_R,$$

$$\sigma_x = \sigma_R \sqrt{(4-\pi)/2} \approx 0,655\sigma_R.$$

Распределение Лапласа [3], которое называют также двусторонним экспоненциальным, имеет плотность распределения с одним параметром λ :

$$f(x) = 1/2\lambda \exp\{-\lambda|x|\}.$$

Таким образом, экспериментальные распределения погрешностей определения широты и долготы судна могут значительно отличаться от нормального закона распределения. Это необходимо учитывать при проведении серий испытаний.

Такое различие в показаниях СПИ обусловливается влиянием помех и расположением антенн СПИ. Так, разница в 1-2 м в положение антенны с учетом возможных погрешностей и помех оказывает существенную роль на показания СПИ.

Основной вывод: математическая модель Земли и ее реальная модель имеют существенные различия, поэтому наши показания уходят от реальных то в большую, то в меньшую сторону. Большое влияние на точность оказывает положение рассматриваемого прибора (приемоиндикатора) на земной поверхности.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Соловьев Ю.А. Спутниковая навигация и ее приложения – М: Эко-Трендз, 2003.
2. Миронова Н.П. Теория вероятности и математической статистики – М: 2005
3. Деч. Г.М. Руководство к практическому применению преобразования Лапласа – 1971

Результаты наблюдений и расчета

Таблица 1

№	УТ	ϕ_i	v_{ϕ}	v_{ϕ}^2	λ_i	v_{λ}	v_{λ}^2
1	22.55	38°41,065'N	-0,001	0,000001	09°08,670'W	-0,005	0,000025
2	23.00	41,068'	+0,002	0,000004	08,672'	-0,003	0,000009
3	23.05	41,072'	+0,006	0,000035	08,683'	+0,008	0,000064
4	23.10	41,052'	-0,014	0,000196	08,678'	+0,003	0,000009
5	23.15	41,088'	+0,022	0,000484	08,662'	-0,013	0,000169
6	23.20	41,055'	-0,011	0,000121	08,678'	+0,003	0,000009
7	23.25	41,060'	-0,006	0,000036	08,668'	+0,013	0,000169
8	23.30	41,075'	+0,011	0,000121	08,653'	-0,022	0,000484
9	23.35	41,067'	+0,001	0,000001	08,682'	+0,007	0,000049
10	23.40	41,058'	-0,008	0,000064	08,677'	+0,002	0,000004
11	23.45	41,072'	+0,006	0,000036	08,682'	+0,007	0,000049
	ϕ_0	38°41,066'N	М ϕ	0,010'			
	λ_0	09°08,600'W	М λ	0,010'			
	σ_{ϕ}	+0,086'	М ϕ, m	19,4			
	σ_{λ}	+0,075'	М λ, m	14,7			

$P(v_{\phi})$ и $F(v_{\phi})$
 для погрешностей
 в определении широты судна

Таблица 2

Интервал v_{ϕ}	$P(v_{\phi})$	$F(v_{\phi})$
0,000-0,003	0,235	0,235
0,004-0,006	0,294	0,529
0,007-0,009	0,118	0,647
0,010-0,012	0,147	0,794
0,013-0,015	0,088	0,882
0,016-0,022	0,11	0,992

$P(v_{\lambda})$ и $F(v_{\lambda})$
 для погрешностей
 в определении долготы судна

Таблица 3

Интервал v_{λ}	$P(v_{\lambda})$	$F(v_{\lambda})$
0,000-0,003	0,294	0,294
0,004-0,006	0,147	0,441
0,007-0,009	0,176	0,617
0,010-0,012	0,088	0,705
0,013-0,015	0,179	0,881
0,016-0,022	0,107	0,998

УЧРЕЖДЕНИЕ: Волжская государственная академия водного транспорта (ВГАВТ)

ТЕМА: Обеспечение экономической безопасности внутреннего водного транспорта в процессе международной транспортной интеграции

АВТОРЫ: В.Н. КОСТРОВ, заведующий кафедрой логистики и маркетинга Волжской государственной академии водного транспорта, профессор, доктор экономических наук; А.В. ФЕДЮШИН, соискатель

АННОТАЦИЯ: В статье раскрываются принципы реализации транспортного потенциала России в рамках международных транспортных коридоров. Обосновывается необходимость научных разработок критериев, индикаторов и пороговых значений экономической безопасности внутреннего водного транспорта (ВВТ), которые должны предшествовать открытию внутренних водных путей (ВВП) для судов под иностранным флагом

Современная Россия, демонстрируя неуклонный прогресс на пути к созданию рыночной экономики, активно принимает меры для развития свободной торговли и инвестиций, которые лежат в основе экономической перестройки и технологической модернизации. Понимание того, что дальнейшее экономическое развитие невозможно без улучшения отношений с международным сообществом, послужило причиной создания необходимых условий для учреждения в будущем зоны свободной торговли между Россией и евразийским сообществом.

Существенная роль в интеграционных процессах отводится созданию условий для свободного предоставления услуг по международным перевозкам река – море. Стратегической целью реформирования системы управления ВВП является обеспечение потребности населения, бизнеса и государства в дешевом, экологическом и безопасном перемещении людей, грузов, товаров при оптимальных расходах федерального бюджета.

Речной транспорт обеспечивает реализацию транзитного потенциала России в рамках международных транспортных коридоров. В европейской части страны функционирует не имеющая аналогов в мире Единая глубоководная система протяженностью 6,5 тыс. км. В ее состав входят Волго-Балтийский, Беломоро-Балтийский, Волго-Донской судоходные каналы и канал имени Москвы, которые обеспечивают транспортную связь с пятью морями и перевозку транзитных грузов.

Водные пути Единой глубоководной системы входят в состав важнейших водных путей международного значения в соответствии с Европейским согла-

шением, подписанным Российской Федерацией в 2000 году. Согласно Соглашению о партнерстве и сотрудничестве с ЕС Россия взяла на себя определенные обязательства по открытию ВВП для международного судоходства.

Интеграционные процессы, происходящие в мире, напрямую затрагивают интересы Российской Федерации. Европейская транспортная политика направлена на повышение конкурентоспособности и эффективности работы Европейской транспортной системы, в которой внутреннему водному транспорту отводится важная роль. Евросоюз, ЕЭК, Центральная комиссия судоходства по Рейну и Дунайская комиссия активно занимаются гармонизацией международных актов в области судоходства на ВВП. В значительной степени решению таких вопросов способствует деятельность Дунайской комиссии, в которой Россия является полноправным членом.

Важным этапом в развитии вопроса стала ратификация Будапештской конвенции. На состоявшемся в октябре 2006 года в г. Лиссабоне (Португалия) втором заседании Рабочей группы по морскому, речному и внутреннему водному транспорту в рамках транспортного диалога Россия – Евросоюз делегация Евросоюза подтвердила свою заинтересованность в открытии в обозримой перспективе ВВП Российской Федерации для захода судов под флагами государств Евросоюза.

Поставленная задача может быть решена путем создания международных транспортных коридоров, в рамках которых вся система грузодвижения и товарораспределения (от изготовителя до конечного потребителя) должна работать по международным стандартам,

нормативно-правовым и техническим требованиям, с использованием совместимых систем мониторинга, таможенных процедур, страхования и агентирования грузов и транспортных средств, транспортно-экспедиторского обслуживания.

Ряд вопросов международного сотрудничества и взаимодействия, возникающих при открытии ВВП, были уже отработаны при создании транспортных водных коридоров России и Китая для прохода российских судов от устья Сунгари до Харбина и от Хабаровска до Комсомольска-на-Амуре для китайских судов. В частности, были согласованы вопросы пограничного и таможенного контроля, тарифного регулирования, безопасности судоходства и многие другие [1].

Успешно развивается «каспийский транзит», являющийся одним из наиболее перспективных направлений перевозок внешнеторговых грузов, ключевым участком международного транспортного коридора Север–Юг. Возможности «Каспийского транзита» к 2010 году оцениваются в 15-20 млн. т грузов в год. В ближайшие годы возрастут объемы транспортировки строительных грузов. В составе импортируемых грузов наибольший удельный вес будут иметь машины, оборудование, товары народного потребления, значительная часть которых перевозится в крупнотоннажных контейнерах.

Полученный опыт позволяет говорить о том, что открытие ВВП для международного судоходства будет способствовать структурной перестройке и модернизации транспортной речной системы, развитию смешанных перевозок, поощрению международных научно-исследовательских программ,

разработке законодательных рамок для совершенствования транспортной политики, а следовательно, улучшению экономической ситуации в стране.

В перспективе, после открытия ВВП для прохода судов под флагом иностранного государства, Транспортной стратегией РФ до 2020 года предусматривается организация перевозок грузов и пассажиров по Большому европейскому водно-транспортному кольцу, включающему как Единую глубоководную систему России, так и ряд стран Азии и Ближнего Востока. Уже сегодня в соответствии с действующим законодательством организуется проход по ВВП отдельных судов иностранных государств. Например, в 2006 году по ВВП России выполняли рейсы 14 азербайджанских и 6 казахстанских судов, отдельные украинские и армянские корабли [5].

Вместе с тем, говоря о международной транспортной интеграции, не стоит забывать и о вопросах экономической безопасности, то есть о состоянии финансовых, трудовых и материальных ресурсов, при котором обеспечиваются гарантированная защита государственных и корпоративных интересов, социальная направленность политики, достаточный конкурентный потенциал даже при неблагоприятных условиях развития внутренних и внешних процессов.

Проблема экономической безопасности для ВВТ России в свете последних событий особенно актуальна. Итоги ряда прошедших лет свидетельствуют, что судоходство по ВВП переходит от этапа выживания к этапу обновления и развития. Но готова ли транспортная отрасль России к предстоящей конкуренции уже сейчас, не несет ли открытие ВВП угроз для безопасности экономики страны? Ответом на этот вопрос могут стать серьезные научные исследования в области экономической безопасности ВВТ.

На сегодняшний день возможности ВВТ используются далеко не в полной мере. И здесь речь идет как раз о реализации транзитного потенциала России – ее естественного конкурентного преимущества, возможностях ВВП по обеспечению связности регионов в единое экономическое пространство, интеграции национальной экономики в систему международного товарооборота, роста транспортной и национальной безопасности. Повышение привлекательности международных транспортных коридоров за счет ускорения доставки, развития логистических и информационных технологий в речных портах, комплексной модернизации и обустройства пунктов пропуска через

Государственную границу РФ позволит в будущем в большей мере реализовать транзитный потенциал ВВП [5].

Однако основной и наиболее очевидной проблемой с точки зрения экономической безопасности на сегодняшний день может стать морально и физически устаревший парк судов. По состоянию на 1 марта 2007 года, по данным государственной регистрации, имеется около 30 тыс. судов общей грузоподъемностью 12,2 млн. т. Средний возраст российских судов смешанного плавания превышает 24 года. Средний срок службы судов, используемых во внутренних перевозках, превысил 28 лет, что выше предельного срока эксплуатации. В то же время в 2006 году в РФ построено 140 судов речного и смешанного река–море плавания при потребности ежегодного ввода около 3000 судов [5].

Можно предположить, что полностью удовлетворить возрастающие потребности рынка, используя существующий парк судов, не удастся. В этой ситуации старение транспортного флота становится реальной угрозой экономической безопасности с серьезными негативными последствиями как для отрасли, так и для экономики страны в целом. В таких условиях замена устаревшего флота на современный, если ориентироваться на теперешние темпы нового судостроения, займет не одно десятилетие и потребует значительных финансовых и трудовых затрат. Освободившуюся нишу на рынке внутренних перевозок быстро займут иностранные судовладельцы, активно стремящиеся контролировать российский рынок и обладающие для этого значительными возможностями, в том числе и финансовыми.

Для выхода из сложившейся ситуации необходимы альтернативные пути решения проблем. Специалистами предлагаются различные программы, такие, как обновление флота из элементов списанных судов, применение лизинговых схем, использование налоговых льгот, снижение таможенных тарифов. Существует богатый, проверенный опыт стран с развитым судоходством. Очевидно одно, что пока проблема обновления парка судов не будет решена или не будут приняты соответствующие меры по ее решению, вопрос об открытии ВВП для иностранных судов остается преждевременным.

Другой серьезнейшей угрозой для развития ВВТ, и в том числе для интеграции в международную транспортную систему, является состояние ВВП. Дело в том, что их общая эксплуатируемая протяженность в России в течение последнего десятилетия была сохране-

на примерно на уровне 100 тыс. км. По ним обеспечиваются транспортное обслуживание 67 субъектов РФ и внешнеэкономические связи. Однако ввиду недостаточного бюджетного финансирования дноуглубительных работ гарантированные габариты судовых ходов уменьшились, их протяженность уменьшилась с 1990 года более чем на 37%. За период с 1989 по 2006 год произошли существенные изменения в структуре ВВП и их качественных параметров. Уменьшение средней глубины судовых ходов привело к снижению пропускной способности ВВП на 111 млн. т, снижение категорий навигационной обстановки на 104,2 млн. т. Особое влияние на пропускную способность Единой глубоководной системы России оказывает наличие лимитирующих участков на Волго-Балтийском водном пути и при прохождении судов в районе г. Балахна на реке Волга [2, 4, 6].

Современная пропускная способность ВВП оценивается в 364 млн. т грузов, однако на Единой глубоководной системе европейской части страны пропускная способность не позволяет увеличить грузооборот ВВТ.

Одной из составляющих этой проблемы является то, что органами государственной власти в области водного транспорта не отработана система компенсации расходов государства на содержание ВВП с участием всех пользователей водных ресурсов и гидротехнических сооружений (судоходные компании, промышленные предприятия, энергетика, сельское хозяйство, туризм и т.д.). В настоящее время только судоходные компании разделяют с государством эти расходы, при том что есть возможность их снизить путем направления части средств водного налога на оплату услуг по обводнению рек, орошению земель, эксплуатации напорных фронтов гидросооружений, в том числе энергетических.

Не развита также система взимания канальных сборов с пользователей инфраструктурой ВВП за проход судов, в том числе под иностранным флагом, через судопропускные сооружения судоходных каналов. Кроме того, необходимо обозначить приоритетные для финансирования ВВП международного и федерального значения, при этом водные пути, имеющие исключительно региональную роль, могут быть переданы в управление субъектам Российской Федерации [1].

На сегодняшний день решению проблемы реконструкции ВВП государство уделяет значительное внимание. Объемы бюджетных ассигнований на их содержание и реконструкцию в 2008-2010 годах вырастут почти в 4 раза по

сравнению с 2004 годом. Очевидно, что без надлежащего уровня сети ВВП невозможно решение задач достижения устойчивого экономического роста, повышения конкурентоспособности отечественных производителей, укрепления национальной безопасности государства и интеграции транспортного комплекса России в международную транспортную систему.

Подводя итог сказанному, можно сделать вывод, что в связи с перспективой открытия ВВП и вовлечением экономики страны в процесс международной экономической интеграции, в том числе вступлением России в ВТО, перечисленные проблемы резко ослабят позиции российских судоходных компаний в конкурентной борьбе с иностранными судовладельцами за обслуживание экспортно-импортных и транзитных грузопотоков, проходящих по водным путям России.

Следовательно, открытию ВВП должен обязательно предшествовать анализ возможных грузопотоков, числа судозаходов иностранных судов, типов судов, затрат на обеспечение иностранного судоходства и ожидаемые от этого выгоды. Предварительный же анализ позволяет говорить о следующем. Во-первых, приток иностранного флота в российские реки может вызвать перегрузки отечественных гидротехнических сооружений. В России в последние годы зафиксирован рост грузооборота. Уже сейчас в пик сезонных перевозок на некоторых участках Волго-Балтийского водного пути и канала Волго-Дон скапливаются очереди из

теплоходов. Непроизводительные простои флота достигают 10-20 часов [3, 4]. Если с пропуском российских судов уже начинают возникать проблемы, то что же будет, когда на внутреннюю водную сеть придут иностранные суда.

Во-вторых, около 75% всех грузов, перевозимых судоходными компаниями по ВВП, относятся к российской грузовой базе. В настоящее время наличие свободного тоннажа несколько меньше, чем предложение отдельных грузов, что позволяет поддерживать тарифы на уровне, достаточном для окупаемости. Но в случае открытия ВВП Российской Федерации для иностранного флота может произойти резкое увеличение тоннажа и, как следствие, возможно снижение тарифов, что грозит потерями для российского флота из-за его неконкурентоспособности в связи с особенностями национальной системы налогообложения и стареющей материально-технической базой.

Таким образом, очевидно, что открытию ВВП для судов под иностранным флагом должна предшествовать научная разработка критериев, индикаторов и пороговых значений экономической безопасности ВВТ. Проведенные расчеты должны лечь в основу разработки целого комплекса мер организационно-технического характера и мер, которые могли бы обеспечить конкурентоспособность российских судоходных компаний и, следовательно, защитить российские интересы. Не обойтись и без большой законодательской работы.

Устойчивость и безопасность работы ВВТ будут обеспечиваться за счет пос-

тепности и эволюционности реформирования, а также привлечения необходимых инвестиций и технического перевооружения инфраструктуры ВВП.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Аленков В.П., Миронов В.Н. Внутренний водный транспорт в системе национальных и международных коридоров, обеспечении устойчивого развития экономики и национальной безопасности. – В сб.: «Россия в системе международных транспортных коридоров: современное состояние, проблемы, перспективы» (по материалам «круглого стола», проведенного Министерством транспорта РФ и Евроазиатским транспортным союзом 25 февраля 2005 г.).
2. Выездное заседание Комитета Государственной думы ФС РФ по энергетике, транспорту и связи (О безопасности эксплуатации судоходных гидротехнических сооружений и законодательном обеспечении российского речного судоходства / Речной транспорт, 2006, № 3, С. 49-51.
3. Государственная стратегия экономической безопасности РФ / Указ Президента РФ от 29.04.1996 г. № 608.
4. Доклад министра транспорта РФ И.Е. Левитина на заседании Морской коллегии при Правительстве РФ 6 июня 2006 года / Речной транспорт, 2006, № 3, С. 46-48.
5. Состояние и перспективы развития судоходства на внутренних водных путях РФ. Материал Морской коллегии при Правительстве РФ / информационно-аналитический материал, М., 2007.
6. Федеральный закон «О транспортной безопасности» от 09.02.2007 № 16-ФЗ

УЧРЕЖДЕНИЕ: Волжская государственная академия водного транспорта (ВГАВТ)

ТЕМА: Габариты судового хода на криволинейных участках

АВТОР: М.В. МОЛЧАНОВА, аспирант

АННОТАЦИЯ: В статье представлены разработанные автором классификация поворотов судоходных рек, методика определения характеристик и типизации по сложности судоходства их криволинейных участков; дано описание характеристик турбулентности движения потока с целью их использования при определении параметров судового хода на поворотах пути

На внутренних водных путях (ВВП) габаритные размеры судового хода (глубина, ширина и радиус закругления) определяют судоходные условия участка водного пути. Чем большие габариты имеет судовой ход, тем большие по грузоподъемности и размерам суда и составы могут эксплуатироваться по данному водному пути, т. е. тем выше его пропускная способность.

Полная судоходная характеристика участка пути кроме указанных габаритных размеров должна содержать количествен-

ную и качественную характеристику поворотов, которая влияет на соотношение габаритов пути и эксплуатируемых судов.

Особенностью движения судов (составов) на криволинейных участках является то, что они занимают большую, чем на прямолинейном участке, полосу движения. Это связано со сносом судна с оси судового хода от действия свального течения, ветрового дрейфа, а также с возможным наличием различного рода навигационных ошибок в процессе судоходства.

Все это вызывает необходимость более точного определения ширины судового хода на криволинейных участках, а в конечном итоге соотношения между параметрами судового хода и габаритами эксплуатируемых судов (составов).

Характеристику поворотов наиболее правильно оценивать по сложности его прохождения судами и составами. Для этого необходимо выбрать единый оценочный критерий, включающий в себя все особенности криволинейного участка.

Для выработки единого критерия были произведены замеры параметров криволинейных участков, угол и радиус поворота на реках с различной водностью и габаритами пути с использованием навигационных карт. После обработки этих данных в качестве такого критерия была принята безразмерная величина – коэффициент кривизны – ρ (или показатель сложности поворота), который представляет собой отношение угла поворота (φ) к относительному радиусу поворота (R'), то есть:

$$\rho = \frac{\pi \cdot \varphi}{180R'} \quad (1)$$

$$R' = \frac{R}{3L_c} \quad (2)$$

где R – радиус закругления судового хода на данном повороте, м; L_c – длина расчетного состава, м.

С использованием этого критерия нами была разработана классификация поворотов, которая приведена в таблице 1.

Значение $\rho = 0$ соответствует нулевой кривизне или прямолинейному участку. Практически по условиям управления судном прямолинейными можно считать участки с коэффициентом кривизны $\rho < 0,10$.

Решая совместно уравнения (1) и (2), получим:

$$\rho = \frac{3,14 \cdot \varphi \cdot 3,0 \cdot L_c}{180R} = \frac{9,42 \cdot \varphi \cdot L_c}{180R} = 0,052 \frac{\varphi \cdot L_c}{R} \quad (3)$$

С использованием выражения (3) нами произведен расчет характеристик поворотов рек Волга (в ее нижнем течении), Вятка, Дон, Вилюй и Алдан. В качестве расчетных были приняты типовые суда и составы, эксплуатируемые на данных реках.

Результаты исследования параметров поворотов судового хода на рассматриваемых участках рек сведены в таблицу 2.

Выполненная типизация поворотов судового хода на рассматриваемых эксплуатируемых реках показала, что только 7% от общего числа поворотов можно назвать прямолинейными участками, а повороты типов «колени» и «излучина», представляющие наибольшую опасность по условиям судоходства, составляют почти 35% рассматриваемых поворотов.

На таких участках ВВП ширина судового хода должна быть более гарантированной и учитывать его особенности, в том числе кривизну поворота, скорость течения, глубину участка и ветровое воздействие.

Данная задача может быть решена в различной постановке путем разработки соответствующей модели: одномерной, двумерной, трехмерной. При решении этих моделей рядом авторов рекомендуется использовать законы изме-

нения количества движения, основывающиеся на уравнении Сен-Венана, которое решается совместно с уравнением неразрывности.

Турбулентность движения потока в русле реки, в первую очередь на криволинейном участке, накладывает свой отпечаток на создание математической модели решения данной задачи, поэтому для получения частных решений в большинстве случаев приходится прибегать к упрощенной модели турбулентности, что не всегда приемлемо для практического использования. Поэтому нами рассматривается возможность численного решения квазитрехмерной задачи движения потока на повороте реки на основе уравнений Навье-Стокса, позволяющих определить количественные характеристики турбулентного потока.

Важным моментом здесь является задание плотностных характеристик речного потока, что основывается на выборе метода описания характеристик турбулентного потока, и в первую очередь его вязкости. Согласно современным представлениям о природе турбулентных процессов эффективная вязкость (ν) является алгебраической суммой кинематической (μ_k) и турбулентной (μ_T) вязкости. Турбулентную вязкость можно заменить коэффициентом турбулентного обмена (Dz).

Для определения закономерности изменения скоростей течения по глубине потока, в том числе определения донной скорости, может быть применена формула Караушева А. В.:

$$V = V_{\text{поверх}} \times \sqrt{1 - P \left(\frac{y}{h}\right)^2} \quad (4)$$

где $V_{\text{поверх}}$ – поверхностная скорость течения; y/h – относительная глубина точки наблюдения; P – безразмерный параметр, определяемый по выражению

$$P = 0,57 + \frac{3,3}{c} \quad \text{при } 10 \leq c \leq 60,$$

$$P = 0,0222c - 0,000197c^2 \quad \text{при } 60 \leq c \leq 90,$$

где c – коэффициент Шези, который определяется по формуле Маннинга:

$$c = \frac{1}{n} h^{1/6} \quad (5)$$

где n – коэффициент шероховатости русла.

Среднее по вертикали значение коэффициента турбулентного обмена может быть определено по формуле:

$$D_{zcp} = \frac{\gamma \times q_x}{2mc} \quad (6)$$

где $m = 22,3$ м/с; q_x – расход на единицу ширины потока, который можно принять равным его транспортирующей способности.

Оценка характера изменения турбулентной характеристики по длине потока может быть осуществлена с использованием зависимости (6).

С использованием описанных выше характеристик турбулентности движения потока разрабатывается численная модель его движения, на основе которой решается задача определения параметров судового хода на повороте реки.

Классификация поворотов

Таблица 1

Тип поворота	Радиус закругления R, м	Угол поворота φ , °	Коэффициент кривизны, ρ	Условное название поворота
1	200-700	70-150	> 1,30	Колени
2	700-1000	110-180	1,30-0,75	Излучина
3	600-2000	40-120	0,75-0,20	Извилины
4	> 2000	< 60	< 0,20	Слабый изгиб

Сводная ведомость типизации поворотов

Таблица 2

Тип поворота	Количество поворотов на участке реки					Итого
	Нижняя Волга	Нижний Дон	Вятка	Вилюй	Алдан	
Колени	5	8	6	17	9	45
Излучина	7	15	7	14	34	77
Извилины	21	5	12	70	98	206
Слабый изгиб	1	-	-	13	11	25

УЧРЕЖДЕНИЕ: Новосибирская государственная академия водного транспорта (НГАВТ)

ТЕМА: Виброизоляция источника вибрации

АВТОРЫ: М.К. РОМАНЧЕНКО, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Теория механизмов и детали машин»; А.М. РОМАНЧЕНКО; Д.А. КИСЕЛЁВ, студенты судомеханического факультета

АННОТАЦИЯ: В статье рассматривается возможность решения вопроса виброизоляции источника вибрации, даются базовые понятия о методах и средствах снижения вибрации на судах. На примере одноосной системы виброизоляции исследуется ее амплитудно-частотная характеристика УДК 623.05.

Понятие жесткости является основным в теории виброизоляции, поэтому рассмотрим его подробно.

Жесткостью называется отношение силы к деформации. Например, виброизолятор под действием веса 3 кН сжался на 2 мм. Жесткость определится в системе СИ как отношение $3000/0,002=1500000$ Н/м. Значения жесткости приводятся в справочной литературе по виброизоляторам. Зная жесткость, можно вычислить эффективность крепления и найти смещения установленного оборудования под действием силы веса или рабочей нагрузки. Найдем инженерную формулу для жесткости виброизолятора. Масса сжимает виброизолятор на величину Δ , тогда жесткость равна

$$c = \frac{mg}{\Delta},$$

где m – масса, кг; g – ускорение свободного падения $9,81$ м/с²; Δ – просадка, м.

В качестве примера рассмотрим измерение жесткости подвески горно-обогатительной машины (классификатор угля), проведенное на Центральной обогатительной фабрике «Кузбасская». Масса машины 22 т, наибольший размер 7 м. Для определения перемещения используем индикатор часового типа с ценой деления 0,01 мм. Индикатор на штативе устанавливается под одной из опор, и показание заносится в протокол измерений. Человек с известной массой становится сверху на машину в заранее выбранную точку, и новое показание заносится в протокол. Человек уходит с машины. Индикатор ставится под другую опору и замер повторяется. Процедура выполняется для шести опор. Количество замеров на каждой опоре зависит от тщательности исследований, но не должно быть большим, т.к. это бесполезно при данной методике и нецелесообразно в рамках поставленной задачи. Массу человека следует увеличивать на 3 кг (для учета одежды). Жесткость определяют как среднее арифметическое из общего числа измерений. После обработки результатов получена жесткость подвески $c = 1500000$ Н/м.

Вращательной жесткостью называется отношение момента к углу закручивания. Например, под действием крутящего момента 3 кНм вал скрутился на 2 градуса. Вращательная жесткость определится в системе СИ как отношение

$$\frac{3000}{2 \frac{2\pi}{360}} = 85944 \text{ Нм.}$$

Радян не пишется потому, что он не имеет размерности, т. к. радианом называется угол, который стягивает дугу,

равную по длине радиусу. Значит, радиан – это отношение длины дуги к длине радиуса.

Понятие собственной частоты системы является важным для виброзащиты, поэтому рассмотрим его подробно.

В консервативных системах можно наблюдать интересное явление. Пусть маятник совершает малые колебания с частотой λ . Уменьшим амплитуду и замерим частоту, увеличим амплитуду и вновь замерим частоту. Во всех трех случаях частота сохраняется. Это относится не только к маятнику, но и к любой системе, где восстанавливающая сила линейна, т.е. пропорциональна отклонению от положения равновесия. Данное условие только на первый взгляд является строгим. В действительности все известные системы можно считать линейными при малых колебаниях.

Рассмотрим равновесие всех сил, приложенных к подвешенной массе. В крайнем положении на массу действует сила веса и сила натяжения нити. Поскольку колебания малые, то проекция этих сил на вертикальную ось всегда равна нулю, а проекция на горизонтальную ось пропорциональна отклонению массы от вертикали, обратно пропорциональна длине нити и прямо пропорциональна весу. Кроме того, эта проекция направлена к среднему положению. Дифференциальное уравнение движения массы имеет вид второго закона Ньютона:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{-N \sin \varphi}{m} = \frac{-mgx}{ml} = \frac{-gx}{l}.$$

Решение этого уравнения имеет вид гармонической функции:

$$x = A \sin(\lambda \cdot t),$$

где A – амплитуда колебаний; λ – собственная частота колебаний маятника.

Скорость массы получим, если взять производную по времени от смещения:

$$\frac{dx}{dt} = A\lambda \cos(\lambda \cdot t).$$

$$\text{Ускорение массы: } \frac{d^2x}{dt^2} = -A\lambda^2 \sin(\lambda \cdot t).$$

Подстановка решения в исходное уравнение дает:

$$\lambda = \sqrt{\frac{g}{l}}.$$

Многочисленными измерениями подтверждается хорошее соответствие физической и математической модели, т.е. синусоидальный характер колебаний.

Если система не является линейной, то изохронность колебаний в ней нарушается. Для примера можно взять мячик для настольного тенниса и отпустить с некоторой высоты на стол. По звуку ударов отчетливо заметно увеличение частоты колебаний по мере уменьшения высоты отскоков.

Рассмотрим метод Рэлея для определения собственной частоты. Воспользуемся законом сохранения энергии для определения собственной частоты. Пусть имеется масса, висят на пружине. Пружины с малым шагом отличаются линейной силовой характеристикой, которая определяется коэффициентом жесткости c , равным отношению силы к деформации. Это обеспечивает гармонический характер колебаний. В крайних положениях масса останавливается, и ее кинетическая энергия полностью переходит в потенциальную.

Кинетическая энергия выражается через наибольшую скорость в нейтральном положении:

$$E = \frac{m(A\lambda)^2}{2}$$

Потенциальная энергия (площадь под треугольной характеристикой силы):

$$U = \frac{cA^2}{2}$$

Приравняв эти энергии, получим собственную частоту:

$$\lambda = \sqrt{\frac{c}{m}}$$

Основные черты виброизолирующих систем можно рассмотреть на примере одноосной системы.

Пусть имеем машину, которую необходимо виброизолировать, чтобы снизить переменные силы на основании. Уравнение движения машины вдоль оси y :

$$\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{F_0 \cos(\omega t) - cy}{m}$$

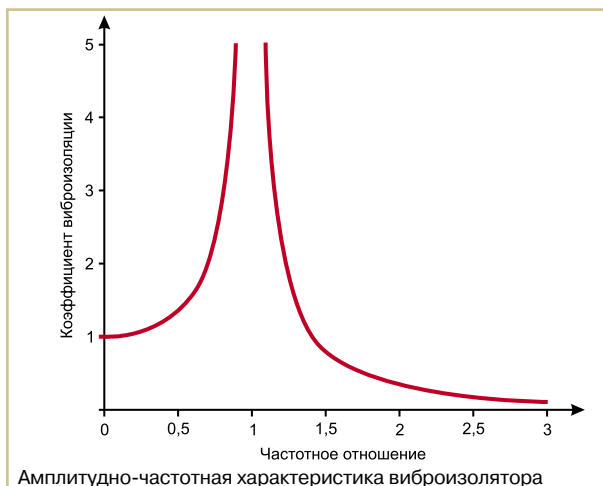
имеет проверенное на практике решение:

$$y = A \cos(\omega t),$$

где A – амплитуда колебаний машины (пока неизвестная).

Первая производная этого решения:

$$\frac{dy}{dt} = -A\omega \sin(\omega t).$$



Вторая производная:

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -A\omega^2 \cos(\omega t).$$

Подстановка в исходное дифференциальное уравнение дает:

$$-A\omega^2 \cos(\omega t) = \frac{F_0 \cos(\omega t) - cA \cos(\omega t)}{m}$$

Введем новое понятие «равновесная амплитуда» (это такое отклонение машины от нейтрального положения, которое наблюдается при статическом приложении амплитудной силы):

$$A_0 = \frac{F_0}{c}$$

Еще одно новое понятие «коэффициент динамичности системы» (равный отношению действительной амплитуды к равновесной амплитуде):

$$\beta = \frac{A}{A_0}$$

После простых преобразований получим:

$$\beta = \frac{1}{1 - \frac{\omega^2 m}{c}}$$

Амплитуда колебаний массы:

$$A = \frac{F_0}{c} \frac{1}{1 - \frac{\omega^2 m}{c}}$$

Амплитуда силы на основании пропорциональна жесткости пружины и амплитуде колебаний:

$$R_0 = cA = \frac{F_0}{1 - \frac{\omega^2 m}{c}}$$

Третье новое понятие «коэффициент виброизоляции» (равный отношению силы на основании к вынуждающей силе):

$$\gamma = \frac{R_0}{F_0} = \frac{1}{1 - \frac{\omega^2 m}{c}}$$

где ω_* – собственная частота колебаний.

$$\omega_* = \sqrt{\frac{c}{m}}$$

Из этой очень важной формулы следует, что от нуля до собственной частоты коэффициент виброизоляции больше единицы и, следовательно, виброизоляция неэффективна. От частоты 1,41 собственной и до бесконечности коэффициент виброизоляции меньше единицы и виброизоляция эффективна. Смена знака в знаменателе означает фазу (равную 180°) между вынуждающей силой и силой на основании. В инженерной практике измерений эту фазу не учитывают, и график коэффициента виброизоляции имеет вид, показанный на рисунке.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Яворский Б.М., Пинский А.А. Основы физики. Т.1, М.: Наука, 1969.
2. Степин П.А. Сопротивление материалов: Учеб. для машиностроит. спец. вузов. – 8-е изд. – М.: Высш. шк., 1988. – 367 с.: ил.
3. Барановский А.М. Виброизоляция дизелей речных судов. – Новосибирск: НГАВТ, 2000. – 176 с.
4. Ден-Гартог Дж. П. Механические колебания, пер. с англ.. А.П. Обморшева, Физматгиз, М.: 1960