

УДК 629.5.01

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВИБРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СУДОВЫХ- НАДСТРОЕК

С.В. Дятченко, А.П.Иванов, С.В. Тананыкин, В.А. Шабанов

ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический универси-  
тет», Россия, 236022, г. Калининград, Советский проспект, 1  
E-mail:svd.ks@email.ru

Разработаны теоретические положения прогнозирования характеристик вибрации судовых над-  
строек.

*вибрация, надстройка, расчетные модели, модальный анализ, проектное обеспечение норм*

В условиях рыночной экономики решение проблемы обеспечения санитарных и технических норм вибрации на судах имеет важное хозяйственное и социальное значение. Для обеспечения норм вибрации необходимо исключить возможность появления резонансных колебаний корпуса и его конструкций при воздействии основных гармоник возмущающих сил [1]. Особое место в решении проблемных задач, связанных с вибрацией конструкций, занимает надстройка, что обусловлено необходимостью исключения резонансных режимов как самой надстройки, так и ее составляющих перекрытий. В работе [2] отмечено, что решение проблемы повышенной вибрации надстройки на готовом судне сложное и дорогостоящее мероприятие, для предотвращения которого необходим расчетный прогноз. Современные методы определения вибрационных характеристик конструкций предусматривают применение расчетных моделей, построенных с использованием метода конечных элементов. Сегодня в отрасли используют методики для определения общей ходовой вибрации транспортных судов [3] и местной вибрации палубных перекрытий [4]. Однако их применение к определению вибрационных характеристик надстроек не обеспечивает необходимой точности, поскольку они базируются на упрощенных расчетных схематизациях. Более совершенная методика расчета вибрации надстройки связана с ее моделированием в виде плоской пластины переменной толщины и массы, усиленной на уровне ярусов стержнями [2]. Применение этой методики не позволяет использовать результаты расчетов для проведения инструментальных исследований, получить полную картину вибрационного состояния надстройки, учесть влияние доминирующих факторов, применить теорию моделирования для достижения норм вибрации. Этим обусловлена необходимость разработки теоретических положений расчетно-инструментального определения вибрационных характеристик надстройки с использованием пространственных расчетных моделей. Для разработки теоретических положений, связанных с прогнозированием вибрационных характеристик судовых надстроек, определен комплекс главных задач:

первая – выполнить системный анализ архитектурно-конструктивного исполнения надстроек для типовых проектов судов;

вторая – выполнить системный анализ факторов, влияющих на характеристики вибрации надстройки и определить доминирующие факторы;

третья – разработать математическую модель и алгоритм для определения и прогнозирования характеристик вибрации надстройки;

четвертая – разработать структурную схему модальных исследования вибрации надстроек и обосновать последовательность их проведения и расчетные модели для их реализации;

пятая – разработать математическую модель и алгоритм для моделирования характеристик надстройки, отвечающие нормам вибрации.

Размеры ярусов надстроек для судов типа РТМС и БМРТ представлены в табл. 1 (здесь  $l_i, b_i, h_i$  – соответственно длина, ширина и высота яруса надстройки), а системный анализ факторов, влияющих на их характеристики вибрации, – в табл. 2.

Таблица 1. Размеры ярусов надстроек судов типа РТМС и БМРТ  
Table 1. Superstructure levels dimensions of vessels RTMS and BMRT

Тип судна	Размеры ярусов надстройки промышленного судна, м								
	$l_1$	$l_2$	$l_3$	$l_4$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$h_0$
РТМК-С типа «МООНЗУНД»	33,5	19,5	16,5	10,5	17,8	17,5	17,0	12,0	2,5
БМРТ типа «ПУЛКОВСКИЙ МЕРИДИАН»	22,0	9,0	8,5	-	15,5	15,0	9,0	-	2,5
БМРТ типа «ПРОМЕТЕЙ»	17,8	17,8	13,6	-	12,0	14,0	9,5	-	2,5

Из табл. 1 видно, что надстройки судов типа РТМС и БМРТ имеют различные по длине и ширине размеры. Толщины настилов палуб и стенок для рассматриваемых надстроек имеют близкие значения. Вместе с тем их числовое влияние на вибрационные характеристики надстройки сегодня не определено и требует системного изучения.

Системный анализ факторов, влияющих на вибрационные характеристики надстройки, предусматривает решение следующих задач;

первая – определить совокупность факторов, влияющих на частоты собственных колебаний надстройки и амплитудные значения ее перемещений;

вторая – определить доминантные факторы, от которых зависят амплитудно-частотные характеристики надстройки, и получить закономерности их изменения от влияния этих факторов;

третья – определить диапазоны возможных архитектурно-конструктивных изменений надстройки для проведения вариационных исследований.

Исследование влияния доминантных факторов на вибрационные характеристики надстройки обеспечивает методическую основу прогнозирования ее вибрационного состояния.

Таблица 2. Системный анализ факторов, влияющих на вибрацию надстройки  
 Table 2. Systematic analysis of the factors influencing the superstructure vibration

№ п/п	Факторы	Характеристики вибрационной модели надстройки	Параметры вибрации		
			частота	форма	амплитуда
1	Архитектурный тип надстройки	1. Яруса надстройки имеют одинаковые размеры	+	+	+
		2. Яруса надстройки различны по длине и ширине	+	+	+
2	Размеры надстройки	1. Длина надстройки	+	+	+
		2. Ширина надстройки	+	+	+
		3. Высота надстройки	+	+	+
3	Размеры перекрытия	1. Длина перекрытия	+	+	+
		2. Ширина перекрытия	+	+	+
4	Конструкция перекрытий	1. Регулярное, нерегулярное	+	+	+
		2. Колличество рамных связей	+	+	+
		3. Шпация	+	+	-
		4. Толщина листов	+	-	-
5	Нагрузка от присоединенных и установленных масс	1. Оборудование, устройства, системы	+	+	+
		2. Насыщение	+	-	+
		3. Покрытия	+	-	+
6	Вид отпирания	1. Опорные конструкции	+	+	+
		2. Пиллерсы	+	+	+
7	Рассеяние энергии	Коэффициент динамичности	-	-	+

Алгоритм расчетного прогнозирования вибрационных характеристик надстройки включает: построение геометрической пространственной модели и ее дискретизацию с помощью конечных элементов; формирование расчетной модели в программном обеспечении; определение частот и форм собственных колебаний и амплитудных значений ее перемещения. В соответствии с разработанным алгоритмом частоты собственных колебаний судовой надстройки и амплитудные значения ее перемещений представлены зависимостями:

$$\lambda_n(x, y, z) = f(M_n, M_d, I, l, b, H, f_n(x, y, z)) K_1 K_2 \dots K_i; \quad (1)$$

$$Y_n(x, y, z) = f(M_n, M_d, \lambda_n, a, F, f_n(x, y, z)) K_1 K_2 \dots K_j, \quad (2)$$

где  $\lambda_n(x, y, z)$  – частота собственных колебаний надстройки, соответствующая номеру тона, Гц;  $n$  – номер тона;  $f$  – функция;  $M_n$  – масса надстройки без учета нагрузок, установленных или присоединенных масс, т;  $M_d$  – массы устройств, оборудования и систем, т;  $I$  – момент инерции надстройки,  $m^4$ ;  $l, b, H$  – расчетные длина, ширина и высота надстройки, м;  $f_n(x, y, z)$  – форма колебаний надстройки, соответствующая номеру тона;  $K_i$  – коэффициенты редуцирования, учитывающие влияние сдвига, растягивающих и сжимающих усилий, перераспределение нагрузки масс, изменение жесткости, расчетных размеров от проектных значений;  $Y_n(x, y, z)$  – амплитудное значение перемещения надстройки в точке с координатами  $x, y, z$ ;  $a$  – коэффициент динамичности;  $F$  – амплитудные значения внешней силы;  $K_j$  – коэффициенты редуцирования, учитывающие изменение амплитуды внешней силы от источника вибрации и коэффициента динамичности,

связанного с изменением частот собственных колебаний надстройки и величины рассеяния энергии при использовании демпфирующих покрытий.

Алгоритм прогнозирования вибрационных характеристик палубных перекрытий надстройки включает структурную схему и порядок выполнения расчетов. В соответствии с разработанным алгоритмом частоты собственных колебаний корпуса судна и амплитудные значения перемещений корпуса представлены зависимостями:

$$\lambda_n(x, y) = f \left( M_{nep}, M_y, I_\Gamma, I_n, l, b, f_n(x, y) \right) K_1 K_2 \dots K_i; \quad (3)$$

$$Y_n(x, y) = f \left( M_{nep}, M_y, \lambda_n, a, F, f_n(x, y) \right) K_1 K_2 \dots K_j, \quad (4)$$

где  $\lambda_n(x, y)$  – частота собственная колебаний перекрытия, соответствующая номеру тона, Гц;  $n$  – номер тона;  $f$  – функция;  $M_{nep}$  – масса перекрытия без учета нагрузок, установленных или присоединенных масс, т;  $M_y$  – массы, установленные и (или) присоединенные на перекрытие, т;  $I_\Gamma$  – момент инерции балок главного направления с присоединенными поясками,  $\text{м}^4$ ;  $I_n$  – момент инерции балок перекрестных связей с присоединенными поясками,  $\text{м}^4$ ;  $l, b$  – расчетные длина и ширина перекрытия, м;  $f_n(x, y)$  – форма колебаний перекрытия, соответствующая номеру тона;  $K_i$  – коэффициенты редуцирования, учитывающие влияние сдвига, растягивающих и сжимающих усилий, перераспределение нагрузки масс, изменение жесткости, расчетной длины, от проектных значений;  $Y_n(x, y)$  – амплитудное значение перемещения перекрытия в точке с координатами  $x, y$ ;  $a$  – коэффициент динамичности;  $F$  – амплитудные значения внешней силы;  $K_j$  – коэффициенты редуцирования, учитывающие изменение амплитуды внешней силы от источника вибрации и коэффициента динамичности, связанного с изменением частот собственных колебаний перекрытия и величины рассеяния энергии при использовании демпфирующих покрытий.

Для проведения расчетных и инструментальных исследований характеристик вибрации надстроек с использованием возможностей комплекса гибридного моделирования LMSSKADAS Mobile разработана структурная схема их модального анализа (см. рис. 1). Созданы геометрические и конечно-элементные 3-D модели надстроек БМРТ и их составных частей. Нарис. 2 показан общий вид модели надстройки.

Структурная схема модального анализа предусматривает решение следующих основных задач:

первая – определить частоты и формы собственных колебаний корпусных конструкций надстройки;

вторая – определить частоты и формы собственных колебаний ярусов надстройки без насыщения, оборудования, систем и устройств;

третья – исследовать влияние насыщения, оборудования, систем и устройств на изменение частот и форм собственных колебаний конструкций и ярусов надстройки;

четвертая – определить частоты и формы колебаний надстройки.



Рис. 1. Структурная схема модального анализа характеристик вибрации надстроек  
 Fig. 1. Block diagram of a modal analysis of the superstructures vibration

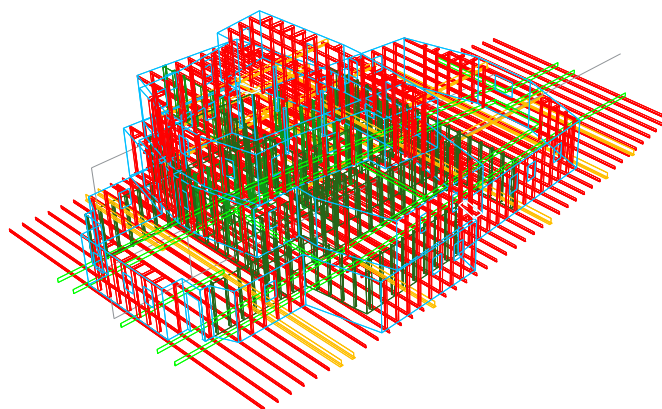


Рис.2. Расчетная модель надстройки БМРТ типа «ПУЛКОВСКИЙ МЕРИДИАН»  
 Fig.2. The superstructure of the trawler type "Pulkovomeridian" computational model

Структурная схема прогнозирования характеристик вибрации содержит:

1. Обоснование и построение расчетных моделей для определения вибрационных характеристик надстройки и ее составных частей.
2. Указания по составлению исходных данных и их вариациям для расчетных моделей надстройки и ее составных частей.
3. Алгоритм определения собственных колебаний надстройки и ее составных частей и прогнозирования изменения их вибрационных характеристик с учетом влияния доминантных факторов.
4. Указания по обработке расчетных данных и построению функциональных зависимостей изменения их амплитудных и частотных характеристик от доминантных факторов.
5. Оценку возможности попадания надстройки и ее конструкций в резонансный режим.
6. Оценку соответствия вибрационных характеристик надстройки и составляющих ее палубных перекрытий в местах пребывания экипажа требованиям технических и санитарных норм вибрации.

## ВЫВОДЫ

Разработаны теоретические положения прогнозирования характеристик вибрации судовых надстроек и их модальных исследований.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дятченко, С.В. Теоретические положения проектного обеспечения норм вибрации на судах промыслового флота / С.В. Дятченко // Известия КГТУ. – Калининград, 2012. – № 25. – С. 119-126.
2. Александров, В.Л. Борьба с вибрацией на судах / В.Л. Александров, А.П. Матлах, В.И. Поляков; под общ.ред. В.Л. Александрова. – СПб.: МорВест, 2005. – 424 с.
3. Методика расчета параметров общей ходовой вибрации корпуса судна // ФУП ЦНИИ имени академика А.Н. Крылова. – СПб., 2003. – 9 с.
4. Методика расчета местной вибрационной прочности корпусных конструкций // ФУП ЦНИИ имени академика А.Н. Крылова. – СПб., 2003. – 56 с.

## FORECASTING OF VIBRATING CHARACTERISTICS OF SHIP SUPERSTRUCTURES

S.V.Djatchenko, A.P. Ivanov, S.V. Tananykin, V.A. Shabanov

The theoretical position of the vibration characteristics of the prediction of ship superstructures.

*vibration, superstructure, design models, modal analysis, project maintenance standards*