

АНАЛИЗ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ «ASTECH ELECTRONICS» В СУДОВЫХ ВАЛОПРОВОДАХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МАХОВИКОВ–ДЕМПФЕРОВ

Покусаев М.Н., Сибряев К.О., Юницкий В. А.

(ФГОУ ВПО «Астраханский Государственный Технический Университет»)

На судах смешанного плавания (река-море) широкое распространение получили машинно-двигательные комплексы (МДК) в состав которых входят шестицилиндровые двигатели типа NVD с прямой передачей мощности на винты фиксированного шага. Заводы-изготовители оборудуют данные двигатели силиконовым демпфером, установленным в носовой части коленчатого вала, для предотвращения поломки последнего из-за повышенных механических напряжений, вызванных крутильными колебаниями.

В работе предлагается совершенствовать демпфирование крутильных колебаний судовых валопроводов при использовании маховиков-демпферов (М-Д).

Конструкция М-Д следующая: в маховике дизеля выполнена кольцевая полость, герметично закрываемая крышкой. В кольцевой полости установлена инерционная масса. Между поверхностями инерционной массы и маховиком выполнены зазоры, заполненные силиконовой жидкостью [1].

Правила Российского морского регистра судоходства (РС) [2] регламентируют периодическую проверку технического состояния силиконовых демпферов. Аккредитованный испытательный центр «Marine Technology service» проводил тензометрирование МДК судов данных проектов и выдал соответствующие заключения [3,4,5]. Тензометрирование проводилось переносной измерительной системой «Astech Electronics» [6].

Рассмотрим развитие крутильных колебаний на примере некоторых судов. МДК судов проекта 1570 (нефтерудовозы «Барон», «Граф», «Нефтерудовоз 31М» и другие) представляет собой двухвальные дизельные установки с двигателями фирмы «SKL» марки 6NVD48AU ($N_{ном}=475$ кВт, $n_{ном}=330$ об/мин), оборудованные силиконовыми демпферами марки В-790

На основе данных по тензометрированию МДК судов данного проекта с демпфером сделан вывод, что суммарные напряжения от крутильных колебаний не превышают допустимых величин во всём рабочем диапазоне частот вращения коленчатых валов. Наибольшими являются графики развития суммарных напряжений в коленчатых валах МДК судна проекта 1570 (рис. 1).

Проведены расчеты крутильных колебаний с демпфером методом Терских [7]. Расчетные данные сверены с результатами тензометрирования, погрешность незначительна.

Также проведены расчеты крутильных колебаний МДК судов проекта 1570 без демпфера, которые показали, что и при отсутствии силиконового демпфера суммарные напряжения от крутильных колебаний не превышают допустимых величин во всём рабочем диапазоне частот вращения коленчатых валов.

Но нельзя отказаться от силиконового демпфера в составе МДК судна, ведь демпфер устанавливают не только для снижения амплитуд (соответственно и напряжений) от крутильных колебаний, но и для уменьшения вибраций, шума, и успокоения системы.

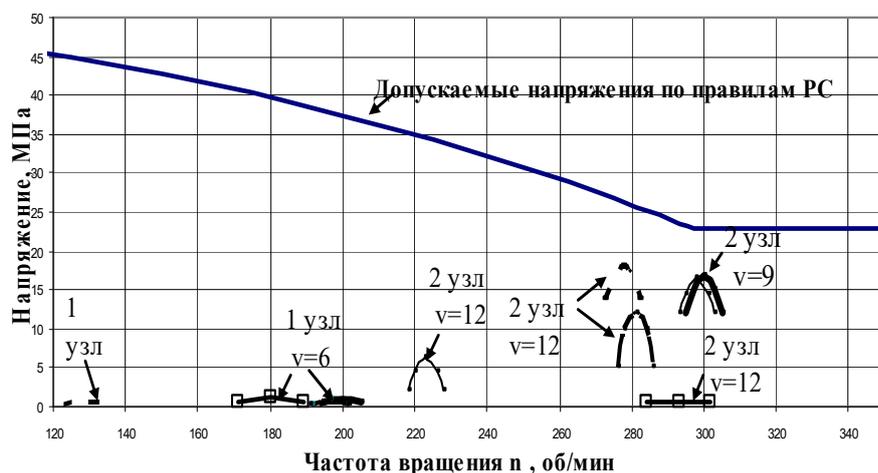


Рис. 1 - Напряжения в коленчатых валах МДК судна проекта 1570 — напряжения, полученные при тензометрировании с демпфером; — расчетные напряжения с демпфером; - - - расчетные напряжения без демпфера; — —

расчетные напряжения с М-Д, установленным на месте маховика; □—□ расчетные напряжения с М-Д, установленным на месте демпфера

Проведены расчеты крутильных колебаний с М-Д, установленным как на месте маховика дизеля, так и на месте демпфера. М-Д, установленный на месте маховика дизеля более эффективно снижает напряжения от крутильных колебаний по сравнению со штатным демпфером за счет больших конструктивных размеров. В случае использования М-Д, установленного на месте демпфера, напряжения приближаются к нулю. Уменьшение суммарных моментов инерции маховика дизеля и демпфера влечет за собой изменение степени неравномерности вращения δ .

$$\delta = \delta_{\alpha} + \delta_{\epsilon},$$

где $\delta_{\text{ж}}$ -степень неравномерности вращения для абсолютно жесткого валапровода (рассчитывалась по методике [8], с последующей проверкой на ЭВМ с помощью программы для динамического расчета судовых дизелей); $\delta_{\text{к}}$ -степень неравномерности вращения, обусловленная наличием вынужденных крутильных колебаний (рассчитывалась по методике [9]);

Таблица 1 –Результаты расчета степени неравномерности вращения для МДК судна проекта 1570

Судно (проект)		$\delta_{\text{ж}}$	$\delta_{\text{к}}$	δ
Нефтерудовоз 31 М (1570)	Без демпфера	0,0180	0,0027	0,0207
	С демпфером	0,0174	0,0028	0,0202
	М-Д на месте маховика	0,0199	0,0030	0,0229
	М-Д на месте демпфера	0,0199	0,0025	0,0224

Расчёт степени неравномерности вращения показал, что нет противоречия с рекомендуемыми значениями для судовых двигателей, непосредственно работающих на гребной винт (0,02-0,05) [8].

МДК судна проекта 19620 (сухогруз) представляет собой двухвальные дизельные установки с двигателями марки 6NVD548A2U ($N_{\text{ном}}=515$ кВт, $n_{\text{ном}}=300$ об/мин), оборудованные силиконовыми демпферами марки А-710.

Минимально устойчивая частота вращения n_{min} этого МДК составляет 140 об/мин (у вышеперечисленных судов $n_{\text{min}}=125-130$ об/мин).

Установка М-Д не только эффективнее снижает напряжения от крутильных колебаний в данном случае, но и повышает степень неравномерности вращения до рекомендуемых значений.

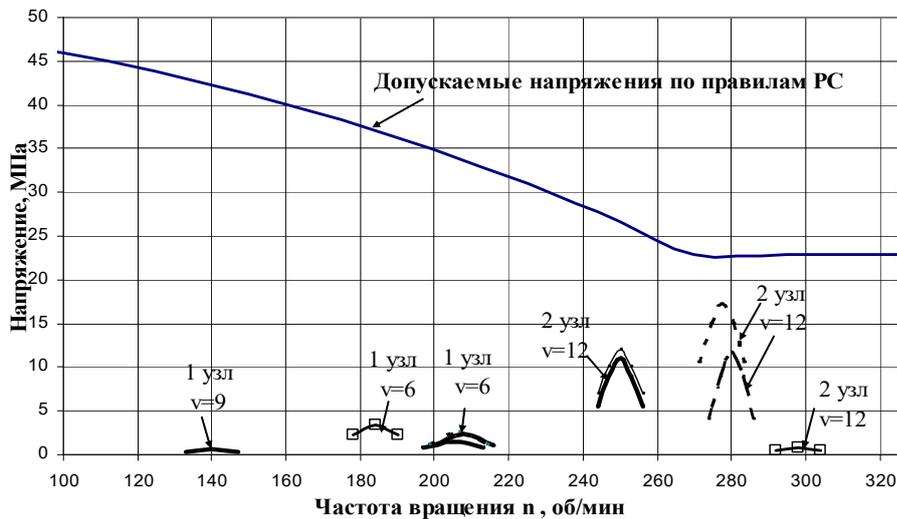


Рис. 3 - Напряжения в коленчатых валах МДК судна проекта 19620

— напряжения, полученные при тензометрировании с демпфером; — — — расчетные напряжения с демпфером; - - - - расчетные напряжения без демпфера; — — — расчетные напряжения с М-Д, установленным на месте маховика; □—□— расчетные напряжения с М-Д, установленным на месте демпфера

демпфера; — — — расчетные напряжения с М-Д, установленным на месте маховика; □—□— расчетные напряжения с М-Д, установленным на месте демпфера

Таблица 3. Результаты расчета степени неравномерности вращения для МДК судна проекта 19620

Судно (проект)		$\delta_{ж}$	$\delta_{к}$	δ
Богсан-4 (19620)	Без демпфера	0,0158	0,0031	0,0189
	С демпфером	0,0155	0,0028	0,0183
	М-Д на месте маховика	0,0169	0,0034	0,0203
	М-Д на месте демпфера	0,0169	0,0032	0,0201

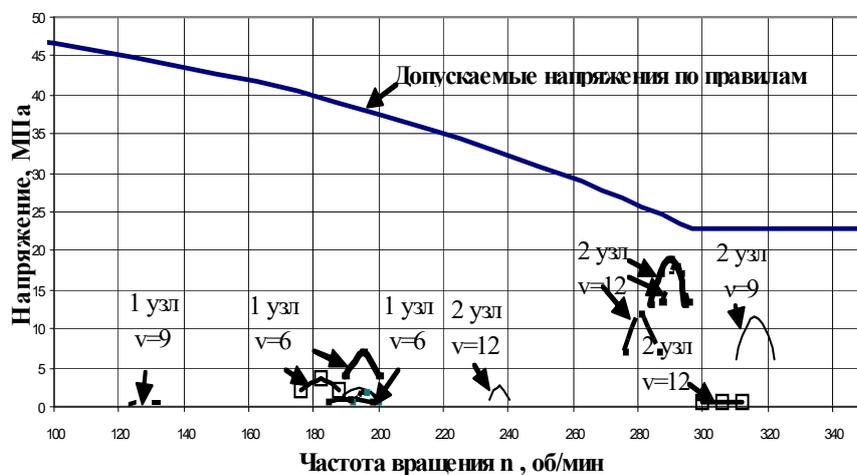


Рис. 4 - Напряжения в коленчатых валах МДК судна проекта 1557:

— напряжения, полученные при тензометрировании без демпфера; — — — расчетные напряжения с демпфером; - - - - расчетные напряжения без демпфера; — — — расчетные напряжения с М-Д, установленным на месте маховика; □—□— расчетные напряжения с М-Д, установленным на месте демпфера

расчетные напряжения с М-Д, установленным на месте маховика; □—□— расчетные напряжения с М-Д, установленным на месте демпфера

Одним из специфических случаев являются испытания, проведенные в МДК судна проекта 1557 (сухогруз). В условиях Волго-Каспийского бассейна эксплуатируются суда проекта 1557 в составе (МДК) которых имеется силиконовый демпфер крутильных колебаний, типа В – 790 (Сормовский - 40), так и без него (Вилламан). Дискретная крутильная схема МДК данных судов отличается от МДК серийного судна проекта 1557 (Сормовский - 27) моментом инерции маховика двигателя (маховый момент - $GD_i^2=1200 \text{ кгм}^2$, вместо устанавливаемого на серийных $GD_i^2=2200 \text{ кгм}^2$).

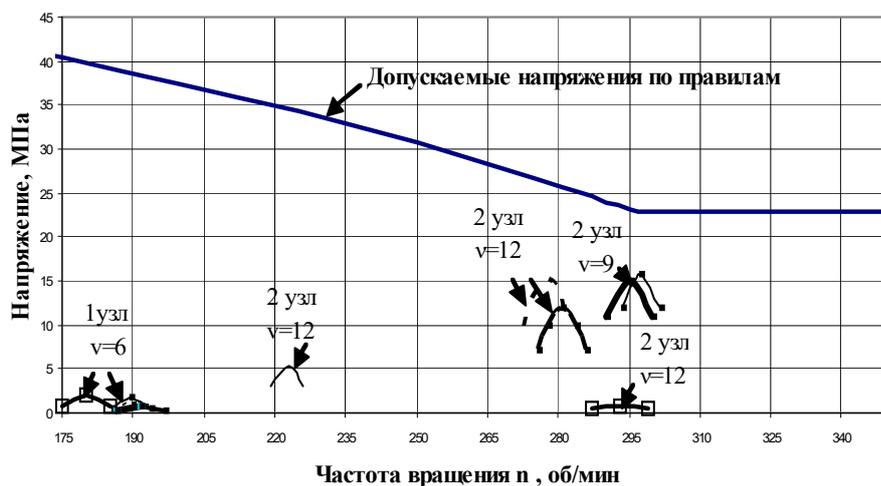


Рис. 5 - Напряжения в коленчатых валах МДК серийного судна проекта 1557: — напряжения, полученные при тензометрировании с демпфером; — расчетные напряжения с демпфером; - - - - - расчетные напряжения без демпфера; — — — расчетные напряжения с М-Д, установленным на месте маховика; □—□—□ расчетные напряжения с М-Д, установленным на месте демпфера.

напряжения без демпфера; — — — расчетные напряжения с М-Д, установленным на месте маховика; □—□—□ расчетные напряжения с М-Д, установленным на месте демпфера.

МДК судна проекта 1557 представляет собой двухвальные дизельные установки с двигателями марки 6NVDS48AU ($N_{ном}=485$ кВт, $n_{ном}=330$ об/мин), прямой передачей мощности на винты фиксированного шага.

Таблица 4. Результаты расчета степени неравномерности вращения для МДК судов проекта 1557

Судно (проект)		$\delta_{ж}$	$\delta_{к}$	δ
Вилла-мун (1557)	Без демпфера	0,0257	0,0043	0,0300
	С демпфером	0,0244	0,0044	0,0288
	М-Д на месте маховика	0,0277	0,0047	0,0324
	М-Д на месте демпфера	0,0277	0,0038	0,0315
Сормовский-27 (1557)	Без демпфера	0,0178	0,0023	0,0201
	С демпфером	0,0172	0,0027	0,0199
	М-Д на месте маховика	0,0197	0,0026	0,0223
	М-Д на месте демпфера	0,0197	0,0025	0,0222

Установка М-Д для МДК судов этого типа также эффективно снижает напряжения от крутильных колебаний и степень неравномерности вращения не противоречит рекомендуемым значениям.

МДК судна проекта 621 представляет собой двухвальные дизельные установки с двигателями марки 6NVDS48A2U ($N_{ном}=640$ кВт, $n_{ном}=375$ об/мин), оборудованные силиконовыми демпферами марки А-701/1 («Ленанефть-2069», «Анна») и В-790 («Ленанефть-2070») при прямой передаче мощности на винты фиксированного шага.

Установка М-Д на месте маховика существенно снижает напряжения от крутильных колебаний.

Применение М-Д позволяет более эффективно понизить крутильные колебания, довести степени неравномерности вращения до рекомендуемых значений.

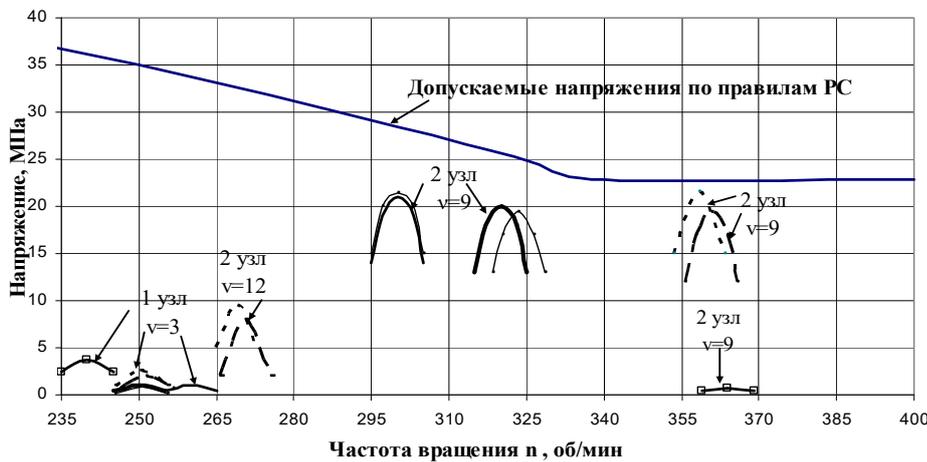


Рис. 6 - Напряжения в коленчатых валах МДК судна проекта 621: — напряжения, полученные при тензометрировании с демпфером А701; — напряжения, полученные при тензометрировании с демпфером В790;

— расчетные напряжения с демпфером А701 и В790; - - - расчетные напряжения без демпфера; — — расчетные напряжения с М-Д, установленным на месте маховика; □—□—□ расчетные напряжения с М-Д, установленным на месте демпфера.

Таблица 5 –Результаты расчета степени неравномерности вращения для МДК судна проекта 621

Судно (проект)		$\delta_{ж}$	$\delta_{к}$	δ
Анна (621)	Без демпфера	0,0121	0,0079	0,0200
	С демпфером	0,0119	0,0077	0,0198
	М-Д на месте маховика	0,0128	0,0083	0,0211
	М-Д на месте демпфера	0,0128	0,0081	0,0209

Литература:

1. Пат. № 59176 Российская Федерация, МПК F 16F 7/00. Маховик дизеля с демпфером / Покусаев М.Н., Сибряев К.О. (Российская Федерация); опубли. 10.12.2006 Бюл. №34.
2. Российский морской регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов, том 2, 2003,- 619 с.
3. Очередное освидетельствование на предмет оценки технического состояния демпферов крутильных колебаний главных двигателей т/х «Нефтерудовоз-31М»: Отчет по НИР (х/д № 93/2005 от 08.04.2005 заключительный) / ФГОУ ВПО «АГТУ»; рук. Покусаев М.Н. – М., 2005. – 24 с.
4. Расчет и торсиографирование машино-двигательного комплекса сухогруза «Богсан-4» пр. 19620: отчет о НИР (х/д № 68/2004 от 20.08.2004 заключительный)/ФГОУ ВПО «АГТУ»; рук. Покусаев М.Н.– М., 2004. – 28с.
5. Замеры эффективной мощности и крутильных колебаний главных двигателей танкера «Ленанефть-2070» методом тензометрирования валопровода и оценка результатов: Отчет по НИР (х/д № 83/2005 от 08.02.2005 заключительный)/ФГОУ ВПО «АГТУ»;рук. Покусаев М.Н.– М., 2005. – 29 с.
6. Расширение возможностей Тензометрического комплекса «Astech Electronics» по замерам параметров крутильных колебаний дизельных установок судов / М.Н. Покусаев, А.Н. Глухов, О.П. Золин // Транспортное дело России.2005.Спецвыпуск №4
7. Терских В.П. Крутильные колебания валопровода силовых установок. Т.1-4., Приложение – Л.: Судостроение, 1969 -1970 гг.
8. Судовые двигатели внутреннего сгорания/ Ю. Я. Фомин, А.И. Горбань и др.- Л.: Судостроение, 1989.- 344с
9. Проектирование тепловозных двигателей/ В.В. Водолажченко и др.- М.: Транспорт, 1972.-224с.