

УДК 621.438

А. И. ТАРАСЕНКО

Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина

«ЛЕДОВЫЕ» МАХОВИКИ В СУДОВОМ ПРОПУЛЬСИВНОМ КОМПЛЕКСЕ С МАЛОБОРОТНЫМИ ДВС В УСЛОВИЯХ ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ

В условиях ледового плавания важно обеспечить прочность дизеля при попадании льда под гребной винт. С точки зрения эксплуатации, в случае ледового воздействия, малооборотный дизель не должен остановиться (заглохнуть) и не должен получить механические повреждения. Рассматриваются способы защиты малооборотного дизеля от внешнего ледового воздействия. Осуществить защиту двигателя возможно с помощью ледового маховика и путем рационального управления. Для выбора оптимальных параметров необходимо рассмотреть нестационарные крутильные колебания на основе решения волнового уравнения. Реализованная на ЭВМ методика позволяет выполнить варианты расчеты и определить место установки ледового маховика.

Ключевые слова: ледовый маховик, дизель, крутильные колебания, волновое уравнение, собственная частота, форма колебаний, демпфирование.

Введение

Важность проблемы крутильных колебаний показана в работе [1]. Расчеты стационарных крутильных колебаний должны выполняться в силу требований классификационных обществ. В условиях ледового плавания интерес представляют нестационарные крутильные колебания, возникающие при взаимодействии гребного винта со льдом.

Воздействие, при котором лопнет коленчатый вал малооборотного дизеля маловероятно, но коленчатые валы малооборотных дизелей составные и в местах посадки одна часть вала может провернуться относительно другой, что нарушает газораспределение и выводит двигатель из строя.

Защитить двигатель можно установкой ледового маховика и рациональным управлением. Для выяснения целесообразности установки ледового маховика необходимо проанализировать нестационарные крутильные колебания пропульсивного комплекса при взаимодействии гребного винта со льдом.

Формулирование проблемы

Требуется на основе решения волнового уравнения, согласно методикам изложенным в [2], провести анализ нестационарных крутильных колебаний и сделать вывод относительно целесообразности установки ледового маховика.

Цель работы – путем анализа параметров нестационарных крутильных колебаний подтвердить целесообразность установки ледового маховика для защиты двигателя и дать рекомендации для формирования алгоритма управления двигателем.

Общие соотношения

Параметры пропульсивного комплекса, на базе которого производились варианты расчеты на ЭВМ, близки к параметрам пропульсивного комплекса проекта 10621. Судно этого проекта спроектировано в городе Николаеве и четыре судна этого проекта построены в городе Херсоне. Наиболее известно судно «Снежный дракон», построенное для Китая.

Рассматривается пропульсивный комплекс, состоящий из восьмицилиндрового малооборотного дизеля мощностью десять мегаватт, валопровода длиной четырнадцать метров и гребного винта с моментом инерции 116 тм^2 . Податливость валопровода $14 \cdot 10^{-9}$ радиан/(нм). Податливость секции дизеля $0,9 \cdot 10^{-9}$ радиан/(нм). Момент инерции секции дизеля $7,8 \text{ тм}^2$.

Гидродинамический крутящий момент на гребном винте подчиняется винтовой характеристике. Дополнительно к гидродинамическому моменту добавляется так называемый ледовый момент, который считается постоянным в течении ледового воздействия.

Чтобы не затемнять картину переходного процесса, крутящие моменты в отсеках дизеля считаются зависимыми только от значения топливоподачи, которое формируется регулятором скорости. Это значит, что момент в отсеках дизеля не зависит от угла поворота коленчатого вала. Такое допущение имеет право на жизнь вдали от резонансов. Преимущество такого подхода в возможности аналитического определения параметров стационарного режима. Крутящий момент определен по пяти формам колебаний. При этом вычисляется изменение

угла для участка с известной податливостью.

Переходный процесс исходного варианта при ледовом воздействии показан на рис. 1.

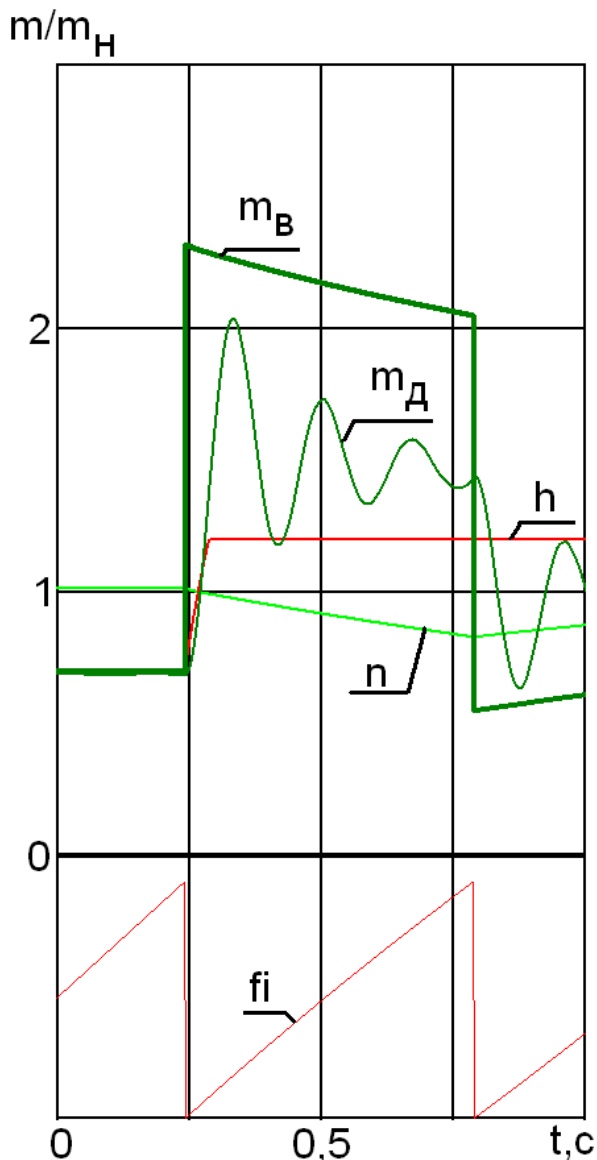


Рис. 1. Переходные процессы при внезапном приложении ледовой нагрузки при работе на 70% мощности

На этом рисунке:

m_B – суммарный крутящий момент на гребном винте, отнесенный к номинальному;

m_D – крутящий момент на выходном фланце дизеля, отнесенный к номинальному;

n – скорость вращения дизеля, отнесенная к номинальной;

h – топливоподача, отнесенная к номинальной;

fi – угол поворота коленчатого вала (отметчик оборотов).

С целью анализа влияния режима работы на перегрузочный момент рассмотрим график на рис. 2, на котором показан переходный процесс при внезапном приложении ледовой нагрузки на номинальном режиме работы двигателя.

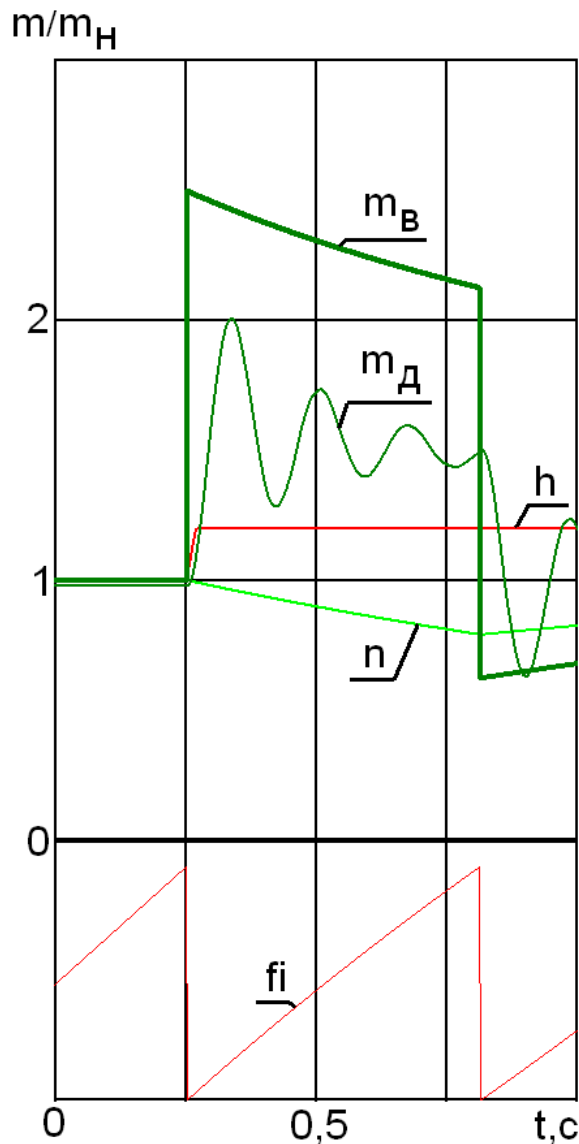


Рис. 2. Переходные процессы при внезапном приложении ледовой нагрузки на номинальном режиме

Вызывает удивление тот факт, что максимальные значения крутящих моментов на фланце дизеля практически одинаковы в обоих случаях. Иными словами, при ледовом моменте равном полтора номинальных и суммарном равном 2,2 и 2,5 соответственно, максимальный момент на фланце дизеля равен двум номинальным моментам. Можно сделать вывод, что максимальный момент не зависит от режима работы двигателя.

На рис. 3 рассмотрен случай, когда максимальная разрешенная топливоподача регулятора равна 0,95 от номинальной топливоподачи. Дело в том, что судно ледового плавания идет во льдах с незначительной скоростью, развивая при этом мощность 0,7-0,8 от номинала [3]. Для осуществления такого режима не требуется топливоподача 1,2 от номинала.

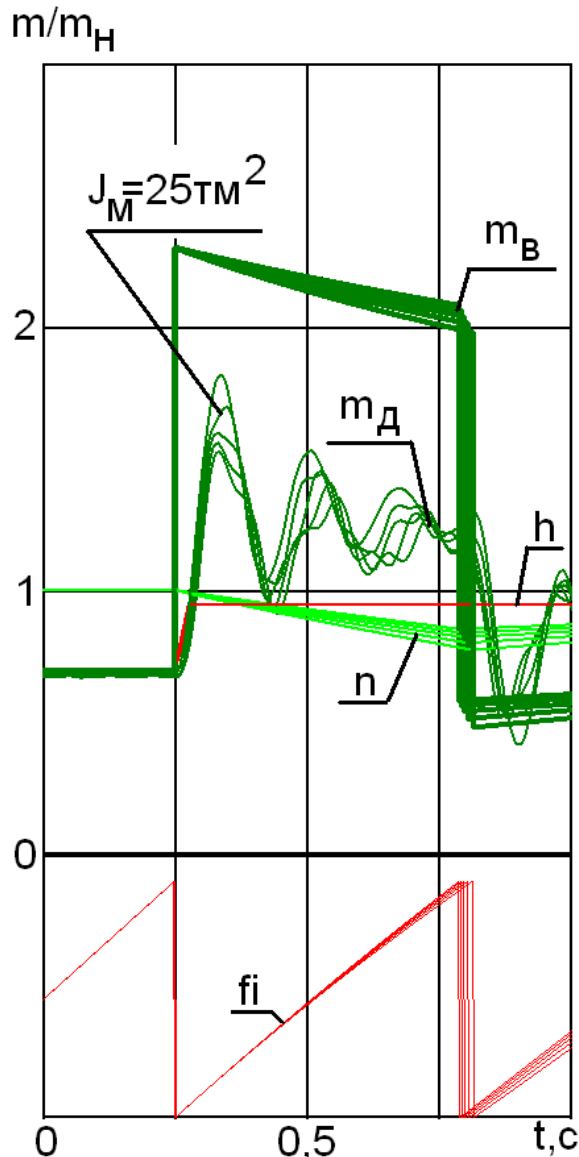


Рис. 3. Переходные процессы при максимальной топливоподаче регулятора 0,95

Из графика рис. 3 следует, что максимальный момент на фланце дизеля будет 1,8 от номинального момента. Удивительно, что таким простым способом удалось уменьшить перегрузку на 20 %. Этот эффект напоминает ситуацию молот-наковальня. Если наковальня будет податливой, то эффект от удара молотом снизится. В рассматриваемом случае роль молота играет гребной винт, а роль наковальни

играет момент развиваемый дизелем. На этом же графике показаны кривые моментов при установленных ледовых маховиках 25, 50, 75 и 100 тм^2 . Ледовый маховик 25 тм^2 позволяет понизить максимальный момент до 1,67 от номинала. Ледовый маховик 50 тм^2 понижает максимальный момент до 1,57 от номинала. Дополнительный эффект от установки более тяжелых маховиков есть, но незначительный.

Следует отметить, что эффект от ледового маховика зависит от его расположения. Рациональное расположение ледового маховика выбирается путем вариантных расчетов. Рациональное расположение смещено от центра к фланцу дизеля. Маховик «срежет» верхние гармоники, которые не очень стабильны и подвержены существенному влиянию отклонений от расчетной схемы. Тем не менее, есть смысл установить ледовый маховик «терпимых» размеров в оптимальное место на валопроводе.

Самый простой способ управления регулятором скорости – задать в режиме «лед» заниженное значение ограничения по подаче топлива, например, на уровне 0,95. Из графиков рис. 3 видно, что длительность первого (максимального) воздействия порядка 0,2 секунды. Следовательно, через полсекунды воздействия ограничения регулятора можно повышать, а после завершения действия ледового момента ограничение регулятора устанавливается на прежний заниженный уровень. Такой подход годится при редких, одиночных ледовых воздействиях. Следует подчеркнуть, что на величину максимального момента на фланце не влияет быстрдействие регулятора и наклон его характеристики. В заключение анализа графиков рис. 1 - 3. следует подчеркнуть, что момент на фланце дизеля в чистой воде практически совпадает с моментом на гребном винте и относительной топливоподачей. Если уменьшить число суммируемых форм, то разница будет существенной.

Выводы

В условиях ледового плавания на номинальной скорости вращения дизеля необходимо поддерживать уровень мощности в пределах 0,7-0,8 от номинальной мощности.

Для осуществления работы, согласно указанного выше пункта, необходим винт регулируемого шага (ВРШ).

В условиях ледового плавания ограничение на подачу топлива должно быть установлено заниженным.

Для ограничения 0,95 от номинала, по сравнению с традиционным 1,2, снижается максимальный крутящий момент на фланце дизеля на 20 %.

Через 0,5 секунды от начала ледового воздействия ограничение по топливоподаче можно увеличивать. После прекращения ледового воздействия ограничение должно быть снова понижено.

Применение ледовых маховиков позволяет снизить максимальный крутящий момент на фланце дизеля на 7–15 % при моментах инерции ледовых маховиков 15–30 % от момента инерции гребного винта.

Применение ледовых маховиков с моментом инерции более 50 % от момента инерции гребного винта – не рационально. Вес растет сильно, а эффект – несущественно.

Ледовый маховик можно рассматривать как отжигатель или корректор, но не как аккумулятор энергии, повышающий тяговые свойства пропульсивного комплекса.

Ледовый маховик должен быть рационально установлен. Точка рациональной установки смеще-

на от центра валопровода к фланцу дизеля и должна определяться путем вариантных расчетов.

Литература

1. Истомин, П. А. Крутильные колебания в судовых ДВС [Текст] / П. А. Истомин. – Л. : Судостроение, 1968. – 304 с.
2. Тарасенко, А. И. Крутильные колебания разветвленного несимметричного пропульсивного судового дизельного комплекса [Текст] / А. И. Тарасенко // Двигатели внутреннего сгорания. – 2013. – № 1. – С. 37–42.
3. Тарасенко, А. И. Работа пропульсивного судового малооборотного дизельного комплекса в условиях ледового плавания [Текст] / А. И. Тарасенко // Авиационно-космическая техника и технология. – 2014. – № 10 (117). – С. 105–110.

Поступила в редакцию 27.05.2015, рассмотрена на редколлегии 23.06.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Н. И. Радченко, Национальный университет кораблестроения, Николаев.

«КРИЖАНІ» МАХОВИКИ В СУДНОВОМУ ПРОПУЛЬСИВНОМУ КОМПЛЕКСІ З МАЛООБЕРТОВИМИ ДВЗ В УМОВАХ АРКТИЧНОГО ПЛАВАННЯ

О. І. Тарасенко

В умовах арктичного плавання важливо забезпечити міцність дизеля при потраплянні криги під гребний гвинт. З точки зору експлуатації, у випадку крижаного нападу, мало обертовий дизель не повинен зупинитися (заглухнути) і повинен одержати механічних ушкоджень. Розглядаються способи захисту малооборотного дизеля від зовнішнього крижаного нападу. Здійснити захист двигуна можливо за допомогою «крижаного» маховика і шляхом раціонального управління. Для вибору оптимальних параметрів необхідно розглянути нестационарні крутильні коливання на базі рішення хвильового рівняння. Реалізована на ЕОМ методика дозволяє виконати варіантні розрахунки і визначити місце установки крижаного маховика.

Ключові слова: дизель, крутильні коливання, хвильове рівняння, власні частоти, форми коливань, демпфірування, розрахункова схема, крижаний маховик.

"ICE" FLYWHEEL IN SHIP PROPULSION SYSTEMS WITH LOW-SPEED DIESEL ENGINE IN ICE NAVIGATION

A. I. Tarasenko

Under the conditions of ice navigation is important to ensure the strength of the diesel engine in contact with the ice beneath the propeller. In terms of operation in the case of ice exposure low-speed diesel should not stop (stall) and should not receive mechanical damage. The ways of protection for low speed diesel engines from the outside of the ice impact are considered. Implementation of the protection of the engine is possible by using the ice flywheel and by good governance. Transient torsional vibrations based on the solution of the wave equation should be considered to select the optimum parameters. Made on a computer technique allows to perform alternative calculations and determine where to install the ice flywheel.

Keywords: diesel, torsional vibration, wave equation, the natural frequency, the shape of the oscillations, damping, the calculation scheme, waveform, ice flywheel.

Тарасенко Александр Иванович – канд. техн. наук, доц., доц. каф. механики и конструирования машин Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина, e-mail: tai777@ukrpost.net.