Жадобин Н.Е., Крылов А.П.
Zadobin N.E., Krylov A.P.

ДАТЧИКИ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И ИЗМЕРЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В СУДОВЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

PICKUP UNIT'S OF CONTROL'S SYSTEM OF HULL'S INTENSITY

Санкт-Петербург, Государственная морская академия имени адмирала С.О.Макарова
Admiral Makarov State Maritime Academy, St-Peterburg

In this article are tolking about argument of necessarity to use automatik system of takind measures and control of hulls intensity. Analise of magnetoelastic transduser characteristic which was got by taking measures of mechanical strain to allow recommending as pickup unit of mechanical strain.

Применение современных технологий в судостроении, разнообразные методы расчета судовых конструкций с использованием ЭВМ, к сожалению, не привели к прекращению гибели судов из-за повреждения их корпусов.

Анализ аварийности балкерного флота [1] показал, что за период с 1993 г по 1997 г потеряно 52 балкера. Конструктивные повреждения составляют 25% общего числа аварий.

Для повышения безопасности и эффективности работы транспортных судов необходима объективная информация о механических нагрузках на корпус судна в любых эксплуатационных режимах. На основании этой информации появляется возможность управлять судном в штормовых условиях, не допуская перегрузки корпуса , в то же время, работая на предельно безопасном уровне возникающих в нем напряжений.

Данные о нагрузке на корпус необходимы также для автоматизации грузовых операций на судах. Таким образом, автоматические системы контроля напряженности корпуса позволяют снизить эксплуатационные расходы за счет сокращения времени перехода морем, сокращения времени под грузовыми операциями, экономии портовых расходов, максимального использования грузовых помещений и, следовательно, уменьшения числа рейсов судна. Уменьшаются также расходы на ремонт повреждений корпуса судна в результате аварий от неправильно выбранного режима его эксплуатации, которые могут достигать значительных размеров. Кроме того, при правильном выборе значений предельных уровней нагрузок, уменьшается износ корпуса судна от малоцикловой усталости, что увеличивает время между доковыми ремонтами и срок службы судна в целом.

В настоящее время на некоторых судах уже установлены первые системы контроля напряженного состояния корпуса.

Анализ систем показывает, что существуют три основных направления в создании систем определения напряженного состояния корпуса судна: вычисление нагрузки на корпус, измерение нагрузки, одновременное вычисление и измерение нагрузок.

Системы, построенные на вычислении нагрузки, применяются, главным образом, на танкерах и предназначены для определения напряженности корпуса во время грузовых операций. Это связано с тем, что для танкера проще, чем для других типов судов, определить общую картину нагрузки судна в данный момент.

Приборы, построенные на непосредственных измерениях, позволяют наиболее полно информировать о напряженности корпуса в данный момент времени. Они обладают универсальностью в том смысле, что производят контроль и измерения во всех режимах эксплуатации судна, включая и грузовые работы. Сложность создания измерительных приборов состоит в отсутствии точных и надежных преобразователей механических напряжений и деформации. Применяемые сейчас тензопреобразователи обладают рядом существенных недостатков.

В журнале Marine Science and Technology. 2000 г. №5, с.40-47 приводится статья японских специалистов о возможности использования пьезоэлектрических преобразователей в датчиках механических напряжений. С помощью пьезоэлектрических преобразователей можно измерять только динамические нагрузки.

Отсутствие преобразователей, способных измерять напряжения, вызванные слемингом, привело к созданию системы, включающей в себя как измерение, так и вычисление нагрузок на корпус. Наряду с измерением основной волновой нагрузки вычисляется вероятность слеминга по величине вертикальных ускорений. Иначе говоря, вычисляется возможность увеличения напряженности корпуса вместо измерения величины этой напряженности.

В ГМА им.адм.С.О.Макарова разработаны датчики механических напряжений с использованием трансформаторных магнитоупругих преобразователей, отличающихся простотой конструкции, большой мощностью выходного сигнала, точностью измерений, стабильностью характеристик, малой инерционностью, высокой надежностью [2].

Выходной сигнал трансформаторных магнитоупругих преобразователей зависит от взаимного положения его магнитопровода относительно направления механических напряжений. Изменение знака механических напряжений приводит к изменению знака ЭДС преобразователя.

Трансформаторный МУП позволяет определять как значение, так и направление механических напряжений. Применение в датчиках механических напряжений трансформаторных магнитоупругих преобразователей (ТМУП) позволит измерять механические напряжения на тихой воде, волновых и ударных нагрузках. Проведенные исследования работы ТМУП в ходе малоцикловой усталости судостроительной стали показали, что на стадии интенсивного развития усталостных процессов в стали наблюдается значительное изменение выходного сигнала. Высокая чувствительность к структурным изменениям в материале чувствительного элемента ТМУП, позволяет рекомендовать магнитоупругий метод при разработке и проектировании средств диагностики состояния судовых конструкций. Система измерения и контроля механических напряжений должна включать в себя две группы ТМУП. Одна группа ТМУП предназначается для измерения механических напряжений на тихой воде и волновых нагрузках. Вторая группа ТМУП – для измерения механических напряжений от ударных нагрузок при слеминге. Конкретное расположение ТМУП зависит от конструкции корпуса судна и должно определяться для каждого типа судна в отдельности. Количество ТМУП в первой группе определяется из условия получения допустимой погрешности определения максимальных значений механических напряжений. При установке рассредоточенных по длине судна пяти ТМУП погрешность уменьшается до 1%. Расположение максимального значения вертикального изгибающего момента в том или ином сечении корпуса зависит от распределения масс вдоль судна и от скорости хода судна. Максимальное значение механических напряжений можно определить с помощью схемы определения экстремальных значений, на вход которой подаются сигналы с распределенных вдоль судна ТМУП. Проверка работы ТМУП, предназначенных для применения в системах контроля и измерения механических напряжений корпусе судна, проводилась на теплоходе «Профессор Щеголев». Выходной сигнал ТМУП после обработки подавался на измерительный прибор и шлейфный осциллограф. Для проверки воспроизведения процесса изменения механических напряжений в обшивке судна рядом с ТМУП был установлен тензорезисторный преобразователь (ТРП). Совместное осциллографирование выходных сигналов ТМУП и ТРП показало их синхронное изменение во времени (рис.1).

В отличие от ТМУП, которые сохранили свою работоспособность в течение всего времени испытаний и через полтора года при контрольной проверке, тензорные преобразователи вышли из строя через два месяца. На рис.2 показаны записи изменений механических напряжений, измеренных двумя преобразователями ТМУП1 и ТМУП2, при плавании судна в условиях волнения различной интенсивности, при разных скоростях судна (ν) и курсовых углах (φ).

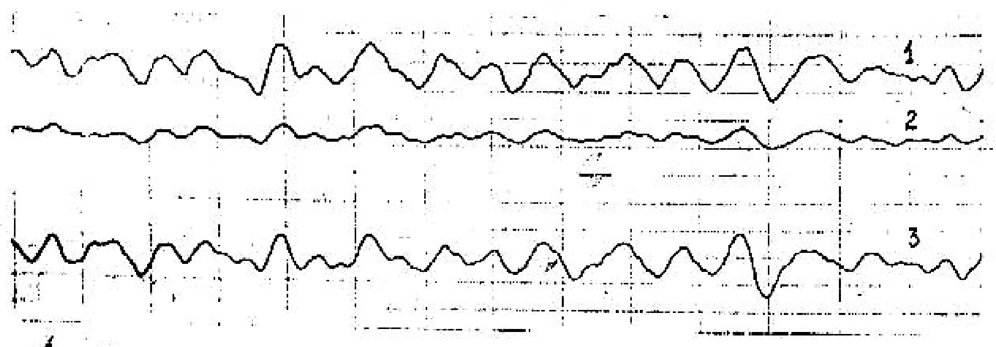
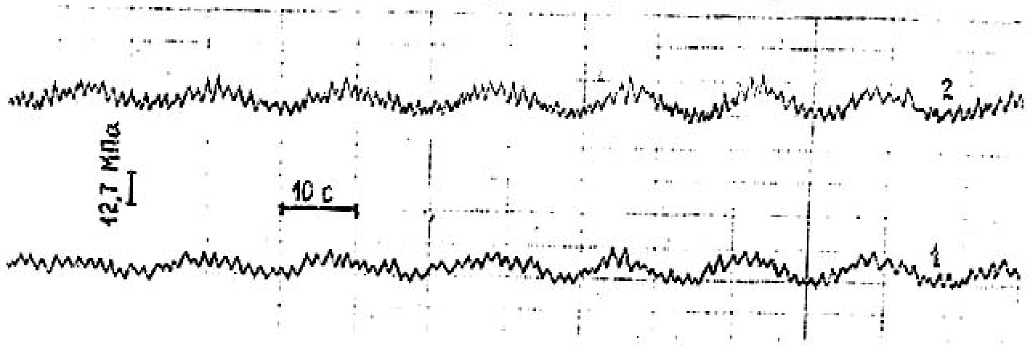


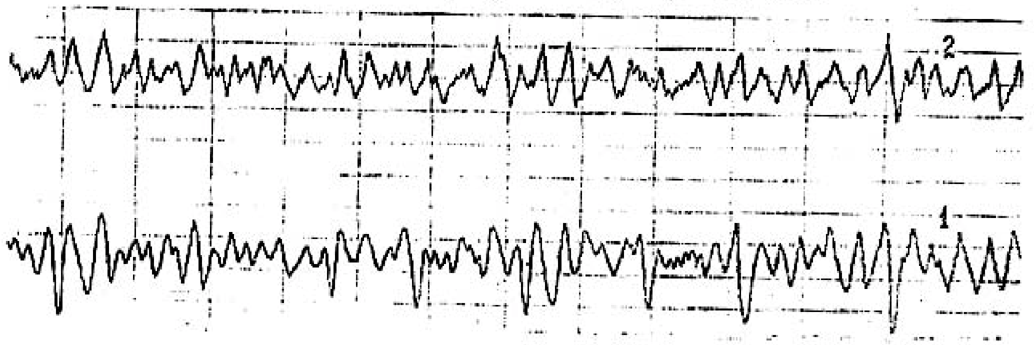
Рис. 1. Осциллограммы сигналов магнитоупругих и тензорезисторного преобразователей (волнение 3 балла, υ_c = 13 узл, $\varphi_в$ = 150°, судно в балласте): 1 - МУП1; 2 - МУП2; 3 - ТР

Осциллограммы записывались в течение одних суток по мере ухудшения погодных условий плавания.

а). Волнение 2 балла, $\varphi_в = 340^\circ$, υ_c = I4 узл



б). Волнение 4 балла, $\varphi_в = 340^\circ$, υ_c = I2 узл



в). Волнение 5 баллов, $\varphi_в = 350^\circ$, υ_c = II узл

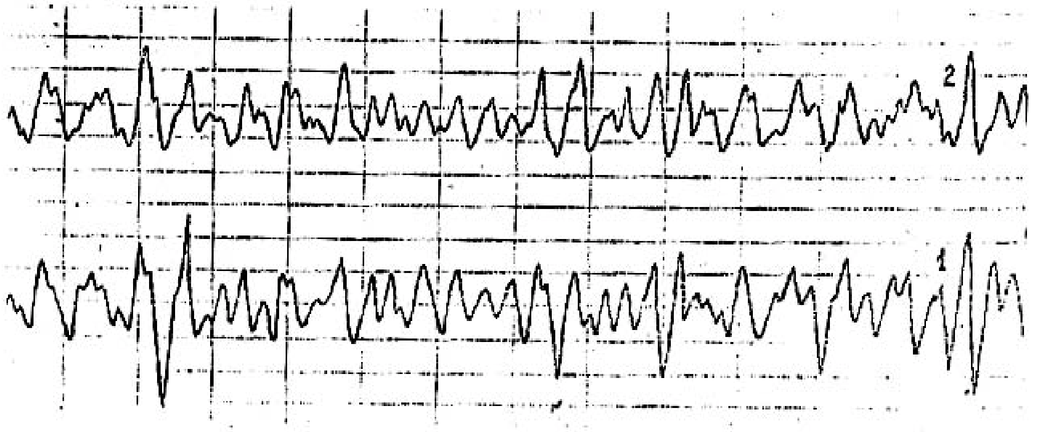
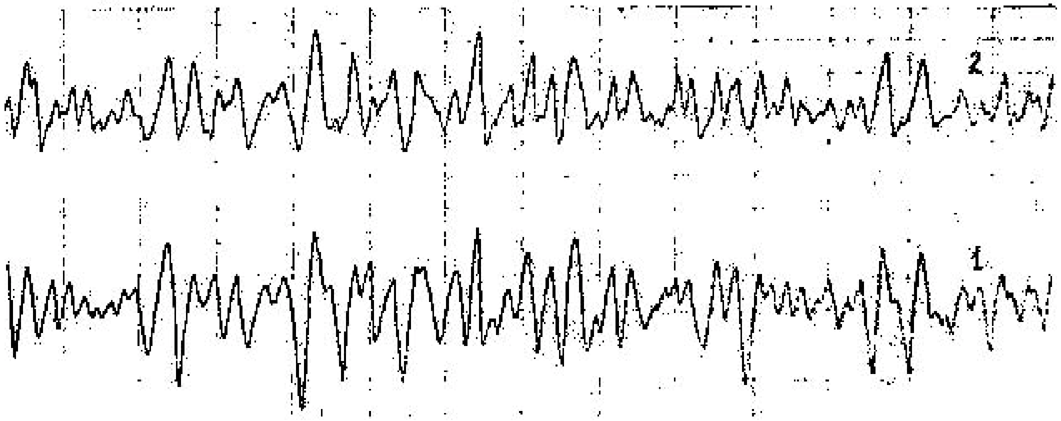
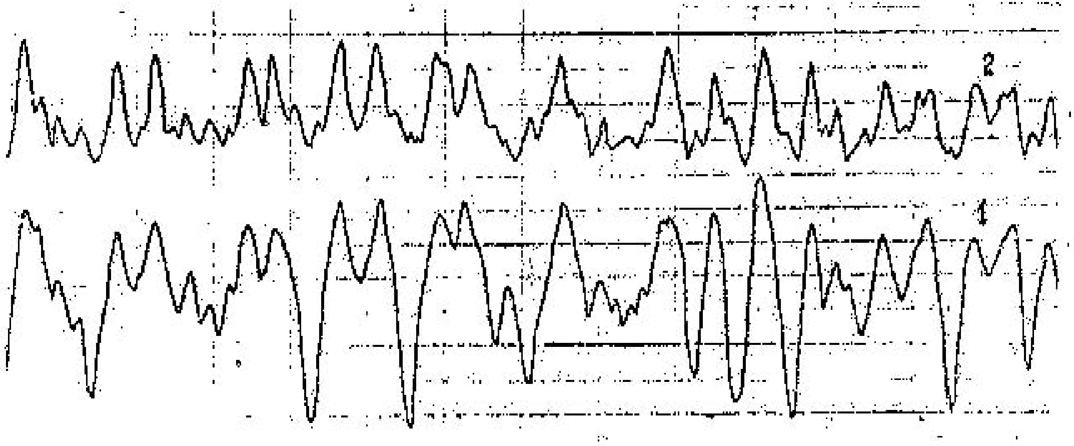


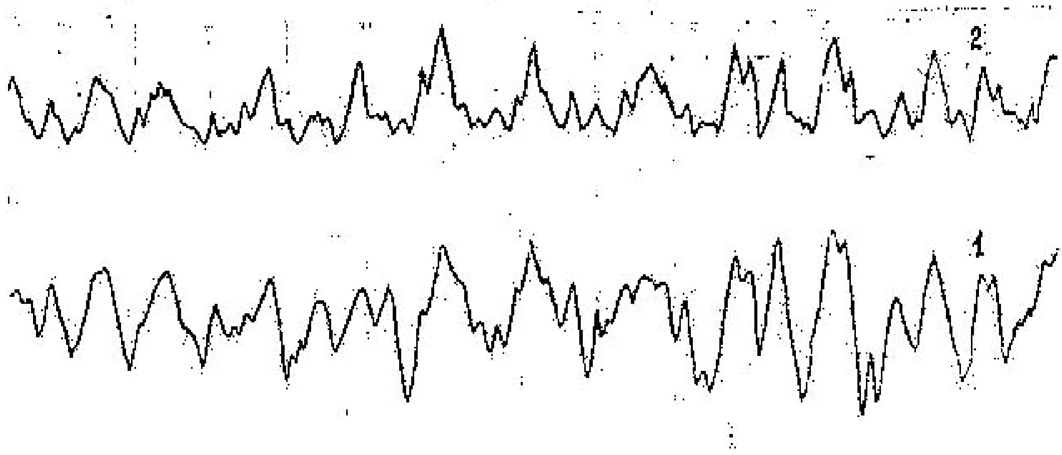
Рис. 2 . Осциллограммы изменения механических напряжений в точках контроля МУПI и МУП2 при плавании судна в штормовых условиях г). Волнение 6 баллов, $\varphi_в = 350^\circ$, $\upsilon_c = 10$ узл



д). Волнение 6 баллов (зыбь), $\varphi_в = 30^\circ$, $\upsilon_c = 14$ узл



е). Волнение 6 баллов (зыбь), $\varphi_в = 60^\circ$, $\upsilon_c = 14$ узл



Продолжение рис. 2

На волнении 2 балла резко выражены высокочастотные составляющие механических напряжений с частотой собственных колебаний судна, равной 1,1 Гц.

Максимальное значение вибрационных напряжений достигало 50% размаха суммарных волновых напряжений, которые в этих условиях были равны 17,8 МПа.

При усилении волнения до 4 баллов резко увеличилась низкочастотная составляющая механических напряжений, средняя частота колебаний которой равна 0,27Гц при максимальном размахе напряжений до 41 МПа.

При осциллографировании выходных сигналов ТМУП при шторме 5 баллов (высота волн до 3 м) максимальный размах механических напряжений равняется 73 МПа, а при более сильном волнении в 6 баллов (высота до 4 м) – 67 МПа. Влияние курсового угла на значения механических напряжений видно из кривых *g* и *l*, которые записывались в условиях зыби с ветровым волнением. При $\varphi=30^0$ значение максимального размаха напряжений достигло 89 МПа, а при увеличении φ до 60^0 оно снизилось до 65 МПа. Средняя частота изменений низкочастотной составляющей напряжений в этих случаях была равна 0,14 Гц и 0,16 Гц.

На рис.3 показана осциллограмма, полученная при входе судна в сплоченные льды. В момент удара о лед в точке контроля наблюдались напряжения импульсного характера с амплитудой 82 МПа и длительностью 1 с.

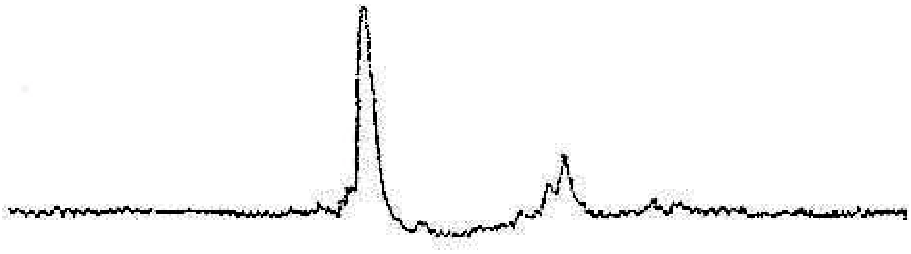


Рис. 3. Механические напряжения при ледовых нагрузках.

При контроле механических напряжений во время грузовых операций в порту выходной сигнал ТМУП изменялся от 32 до 420 мВ в зависимости от загрузки трюмов. Минимальное значение выходного сигнала соответствовало моменту окончания погрузки.

Для уменьшения вероятности повреждения корпусов судов можно рекомендовать комбинированную систему измерения и контроля механических напряжений и обнаружения усталостных трещин в судовых конструкциях с использованием трансформаторных магнитоупругих преобразователей.

Литература

1. Behind the losses. Stvart Denzil. Int. Balk.l. 2000 Apr. p.46-47.
2. Жадобин Н.Е. Магнитоупругие преобразователи в судовой автоматике. Л., «Судостроение», 1985.