

## МЕТОДИКА ТОРСИОГРАФИРОВАНИЯ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ ФОРСИРОВАННЫХ ДИЗЕЛЕЙ

© 2010 С.П. Косырев, И.О. Кудашева, Н.Л. Марьина

Балаковский институт техники, технологии и управления

Поступила в редакцию 04.03.2010

В процессе работы форсированного дизеля может возникнуть резонанс колебаний, поэтому каждый новый дизель подвергается расчетным и экспериментальным исследованиям на крутильные колебания. Применение термопластичного полимера в демпферах крутильных колебаний повышает коэффициент запаса усталостной прочности. При этом снижается вес, уменьшаются инерционные нагрузки на элементы конструкции, которая упрощается.

Ключевые слова: *коленчатый вал, форсированный дизель, крутильные колебания, торсиографирование*

В процессе работы форсированного дизеля коленчатый вал воспринимает и передает периодически изменяющийся крутящий момент в соответствии с очередностью работы цилиндров. Под воздействием переменного крутящего момента вал с той же основной частотой изменяет скорость и ускорение своего вращения. Инерционные массы, связанные с валом (сам вал, противовесы, шатуны, демпфер, маховик), создают силы инерции, которые создают крутильные колебания в дополнение к крутильным колебаниям, создаваемым рабочим моментом. Если частота вынужденных крутильных колебаний совпадает с частотой собственных свободных колебаний коленчатого вала, возникает резонанс колебаний, который может привести к катастрофическому увеличению амплитуды крутильных колебаний вала и его поломке. Резонансной частоте крутильных колебаний соответствует определенная частота вращения вала, называемая запретной. Поэтому каждый новый дизель подвергается расчетным и экспериментальным исследованиям на крутильные колебания. Запись последних производят с помощью торсиографов сейсмического типа ТРАК-12. Общая схема монтажа представлена на рис. 1, рис. 2.

*Косырев Сергей Петрович, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология и автоматизация машиностроения»*

*Кудашева Ирина Олеговна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология и автоматизация машиностроения»*

*Марьина Надежда Леонидовна, кандидат технических наук, ассистент кафедры «Сопротивления материалов». E-mail: rdan64@mail.ru*

Торсиограф 3 жестко крепится к демпферу 2 коленчатого вала 1. Для обеспечения надежного вывода проводов с торсиографа на токосъемник 5 применяется упругая муфта 4, далее сигнал с торсиографа передается через тензостанцию 8АНЧ-7 (поз.6) на осциллограф Н117 (поз.7). Частота вращения коленчатого вала регистрируется индукционным датчиком 9. Для изменения колебаний угла закручивания коленчатого вала применяют тензорезисторы ПКБ5-100. В качестве соединительных линий (проводов) применяют гибкие медные провода сечением 0,1-0,35 мм<sup>2</sup> с хлорвиниловой, полиэтиленовой, стеклотканевой изоляцией типа МШВ, МГШВ или МГШВЭ. Эти провода присоединяются к клеммам торсиографа и токосъемника. Для передачи электрической связи от токосъемника до тензостанции 8АНЧ-7М используют одножильные кабели типа РД или РК.

Методика торсиографирования коленчатого вала включает статическую тарировку до и после проведения исследований. Запись колебаний свободного конца вала для дизеля 6ЧН 21/21 проводят на режиме  $n=900-1400$  об/мин,  $P_e=100\%$  через 25 об/мин. Целью торсиографирования ставится определение резонансных чисел оборотов и развитие амплитуд вынужденных колебаний в исследуемой установке. Для определения расположения резонансов необходимо иметь непрерывную запись колебаний свободного конца коленчатого вала при переменных числах оборотов. С этой целью производится медленное и плавное увеличение числа оборотов от пуска до наибольшего в исследуемом диапазоне. Затем, не прерывая записи, также медленно снижается

число оборотов до наименьшего или до остановки движения. После первого торсиографирования просматривается запись, уточняются параметры (масштаб, скорость протяжки и т.д.), в случае необходимости запись повторяется. Окончательно должна быть получена качественная запись как минимум двух полных проходов.

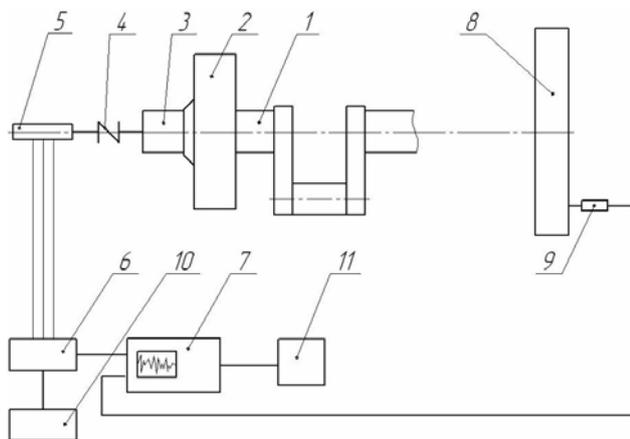


Рис. 1. Общая схема монтажа для торсиографирования коленчатого вала

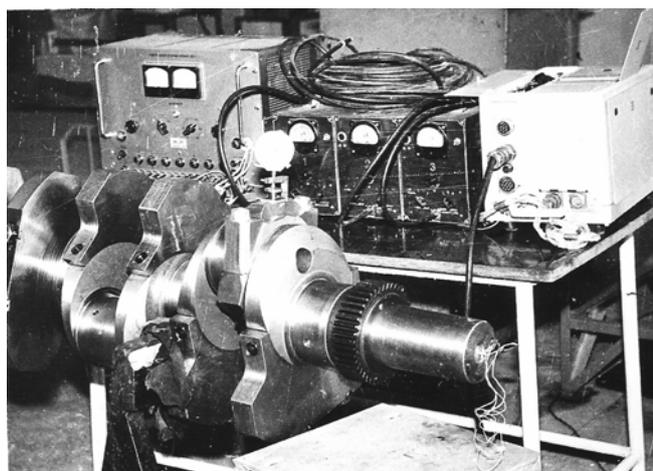


Рис. 2. Комплекс аппаратуры для торсиографирования коленчатого вала форсированного дизеля

Осуществление максимального развития вынужденных колебаний осуществляется путем торсиографирования по точкам. В число таких точек включают прежде всего те числа оборотов, которые являются рабочими для режима двигателя в эксплуатации. Кроме того, включают еще несколько точек вблизи этих режимов. Иногда включаются также точки в районе наиболее сильных резонансов. Запись колебаний в каждой намеченной точке производят на протяжении нескольких секунд после непродолжительной работы двигателя при данном числе оборотов.

Обработку записи колебаний для получения зависимости  $A=f(n)$  (рис. 3) начинают с определения по торсиограмме числа оборотов коленчатого вала  $n=(60b/ak)$ , где  $k$  – временные интервалы на осциллограмме, в секундах (0,02; 0,01; 0,005; 0,002);  $b$  – длина временного интервала в пределах одного оборота коленчатого вала, мм. Например, для торсиограммы на рис. 4  $n=(60 \times 10 / 30 \times 0,02) = 0,37$  об/мин.;  $k=0,02$  (1/50 с),  $b=10$  мм,  $a=30$  мм. Затем определяют амплитуду колебаний  $A_{min}=(h_{max}k_{тар})/2$ , радиан, где  $h_{max}$  – максимальный размах колебаний;  $k_{тар}$  – тарировочный коэффициент торсиографа.

Порядок колебаний  $\nu$  определяют по количеству пиков на длине 1 оборота коленчатого вала (например, на рис. 4  $\nu=4,5$ ). На графике (рис. 4) выявляются резонансные числа оборотов, определяется порядок колебаний, собственные частоты крутильных колебаний:  $N=\nu n$ , кол/мин.

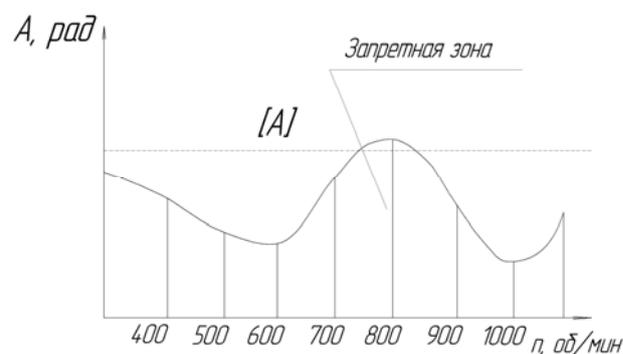


Рис. 3. Амплитуда колебаний  $A$  коленчатого вала в зависимости от числа оборотов

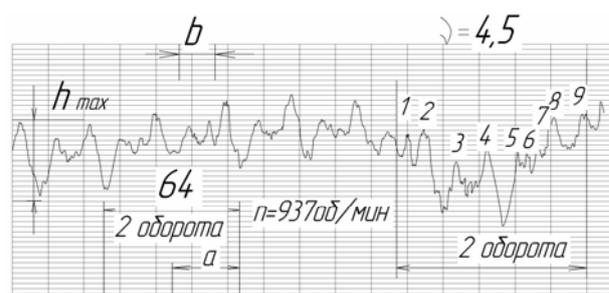


Рис. 4. Торсиограмма крутильных колебаний коленчатого вала

Заключение по торсиографированию составляется на основании анализа экспериментального материала. Его задачей является окончательная оценка работоспособности крутильной схемы исследуемой установки, уточнение запретных чисел оборотов, сравнение действующих напряжений, возникающих в коленчатом вале, а также эластичных моментов, возникающих в элементах муфт и

сравнение их с допустимыми. Определение запретных зон чисел оборотов, т.е. тех интервалов, в пределах которых в коленчатом вале возникали напряжения, превышающие допустимые, является заключительным этапом обработки и анализа торсиограмм. Числа оборотов в пределах намеченных запретных зон объявляются недопустимыми для постоянной работы. Работа же дизеля на границах запретных зон считается допустимой. В установках по условиям эксплуатации вообще недопустимы запретные зоны во всем рабочем числе оборотов дизеля. Необходимо решать вопрос об исключении их путем дополнительного конструирования элементов демпфирования или путем смещения запретных зон из рабочего диапазона чисел оборотов двигателя. Для этой цели разработана конструкция демпфера крутильных колебаний по патенту РФ №2304244, особенностью которого является изготовления шкива демпфера из термопластичного полимера путем его формирования в пресс-форме. Технический результат заключается в уменьшении веса изделия, снижении

инерционных нагрузок на элементы коленчатого вала. Прототип изделия – конструкция демпфера ЗАО «Волжский дизель им. Маминых», отличительной особенностью которого является силиконовый демпфер крутильных колебаний с кремний-органической жидкостью. Ввиду сравнительно большой трудоемкости изготовления демпфера крутильных колебаний прототипа и сложностью заполнения кремний-органической жидкостью представляется целесообразным проведение сравнительных исследований демпферов вязкого трения путем торсиографирования коленчатых валов на дизеле 6ЧН 21/21 и определение запасов усталостной прочности коленчатых валов по результатам торсиографирования. Последние представлены таблицей 1 амплитуд крутильных колебаний в радианах свободного конца коленчатого вала двухузловой формы. Графики изменения амплитуды крутильных колебаний свободного конца коленчатого вала дизеля 6ЧН 21/21 при  $P_e=0$  МПа представлены на рис. 5.

**Таблица 1.** Амплитуды крутильных колебаний (в радианах,  $\times 10^{-4}$ ) свободного конца коленчатого вала двухузловой формы

без демпфера	58	52	53	43	42	52	58	62	70	58	52	55	53	43
демпфер ЗАО ВДМ	23	25	28	23	30	35	33	34	35	30	35	33	35	38
демпфер по патенту РФ №2304244	20	26	19,9	25	30	22	32,5	30	32	28	28,5	25	32	40



**Рис. 5.** Графики изменения крутильных колебаний свободного конца коленчатого вала дизеля 6ЧН 21/21

Результаты торсиографирования свободного конца коленчатого вала с различными конструкциями демпферов позволяют сделать следующие **выводы**:

1. Уровни крутильных колебаний по напряжениям  $\tau$  не высоки и изменяются от  $\tau \pm 29,3$  МПа до  $\tau \pm 45$  МПа.

2. Для двухузловой формы колебаний максимальные амплитуды свободного конца коленчатого вала изменяются от 0,00750 рад (при работе без демпфера) до 0,0035 рад (при работе с демпфером по патенту РФ №2304244), что указывает на повышение

эксплуатационной надежности и работоспособности коленчатого вала в 2,14 раза с демпфером предложенной конструкции.

3. Применение термопластичного полимера в демпферах крутильных колебаний повышает коэффициент запаса усталостной прочности, что указывает на увеличение эксплуатационной надежности и работоспособности коленчатого вала. При этом снижается вес, уменьшаются инерционные нагрузки на элементы конструкции, которая упрощается.

## TORSIOGRAPHY METHOD OF BENT SHAFTS TORSION OSCILLATIONS IN THE FORCED DIESEL ENGINES

© 2010 S.P. Kosyrev, I.O. Kudasheva, N.L. Maryina

Balakovo Institute of Technics, Technology and Management

During work of the forced diesel engine there can be a resonance of oscillations, therefore each new diesel engine is exposed to desing and experimental researches on torsion oscillations. Application of thermoplastical polymer in impulse neutralizers of torsion oscillations increases reserve factor of fatigue strength. Thus the weight decreases, inertia loadings decrease for elements of construction which becomes simpler.

Key words: *bent shaft, forced diesel engine, torsion oscillations, torsiology*

---

*Sergey Kosyrev, Doctor of Technical Sciences, Professor  
at the Department of Technology and Automation of  
Machine Industry*

*Irina Kudasheva, Candidate of Technical Sciences, Associate  
Professor at the Department of Technology and Automation  
of Machine Industry*

*Nadezhda Maryina, Candidate of Technical Sciences,  
Assistant at the Department "Strength of Materials".  
E-mail: rdan64@mail.ru*