

Анализ влияния виброзащитного устройства на долговечность вала редуктора

Постановка задачи – оценить эффективность применения виброзащитного устройства в редукторе. На примере одного вала редуктора определить его долговечность с помощью средств компьютерного моделирования и инженерного анализа.

Виброзащитное устройство предназначено для снижения вибраций в редукторе, возникающих в процессе работы оборудования. Сравнительная эффективность виброзащитного устройства характеризуется коэффициентом ослабления и (или) коэффициентом виброгашения в каждой из частотных полос. Определение амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) редуктора и параметров виброзащитного устройства в данной работе не рассматривается. Эти данные рассматриваются как исходные.

Исходными для анализа являются:

- Трехмерная твердотельная модель вала;
- Напряженно- деформированное состояние (НДС) вала;
- АЧХ редуктора.

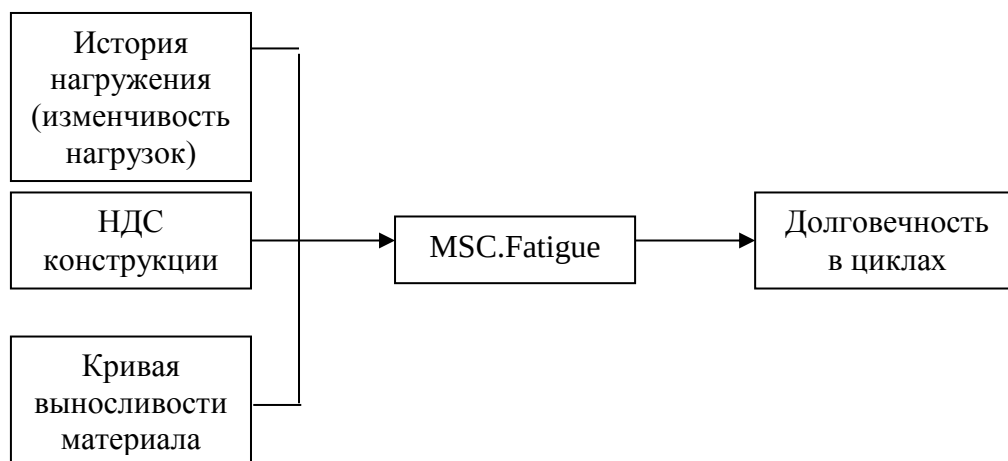


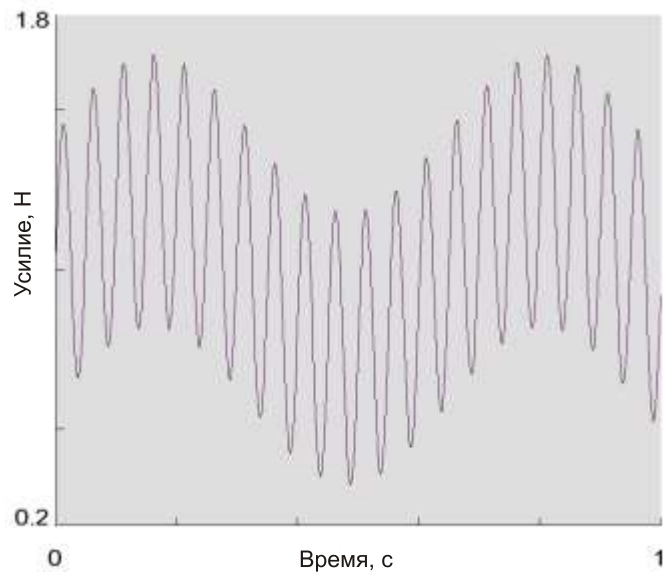
Рисунок 1 – Блок схема анализа долговечности с помощью программного комплекса MSC.Fatigue

НДС вала было определено методом конечных элементов (МКЭ) в MSC.AFEA для режима работы приводного двигателя, соответствующего его номинальной мощности. Номинальный крутящий момент на валу равен $M_{\text{ном}}=28000\text{Нм}$.

Анализ долговечности проводился в программном комплексе MSC.Fatigue, который позволяет проводить углубленные исследования длительности усталостного разрушения [1].

Анализ проводился для двух случаев: без виброзащитного устройства и с учетом виброзащитного устройства, т.е. история нагружения для этих случаев имеет вид, приведенный на рисунке 2.

а)



б)

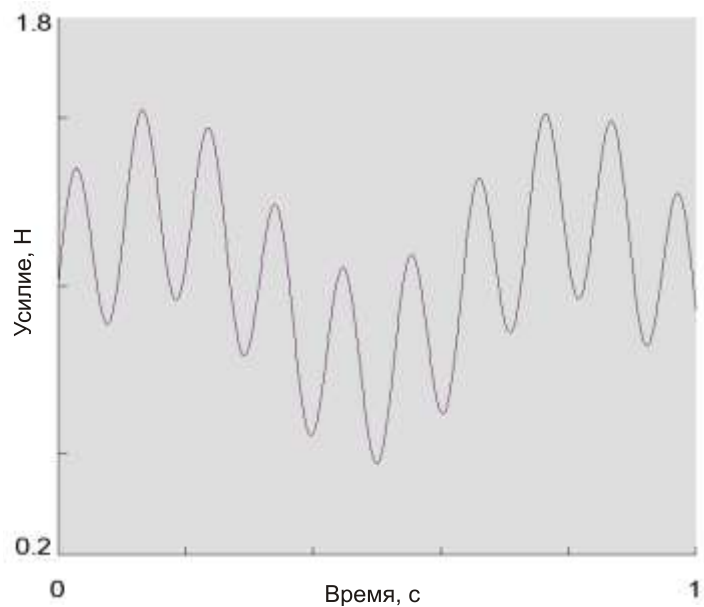


Рисунок 2 – История нагружения вала без виброустройства (а) и с виброустройством (б)

Используемое виброзащитное устройство позволяет снизить высокочастотную составляющую в редукторе.

Для случая без виброустройства низкочастотная составляющая имеет значение 1,55 Гц, высокочастотная – 20 Гц. Для случая с виброустройством, низкочастотная – 1,55 Гц, высокочастотная – 9,5 Гц. Средняя этих характеристик в обоих случаях равна 1,0, что соответствует нагрузке двигателя указанной выше (номинальному моменту). Амплитуды цикла приведены на рисунке и составляют: $A_B=0,4280$, $A_H=0,2471$ и $A'_B=0,2854$, $A'_H=0,2471$ соответственно для первого и второго случая. Длительность цикла в обоих случаях принята $t_{\text{ц}} = 1,0$ сек.

Кривая выносливости была сгенерирована средствами программного комплекса (по эмпирическим зависимостям) для материала со следующими механическими свойствами: $\sigma_B = 1050$ МПа, $\sigma_T = 850$ МПа, $\sigma_{-1} = 310$ МПа. Общий вид кривой выносливости приведен на рисунке 3.

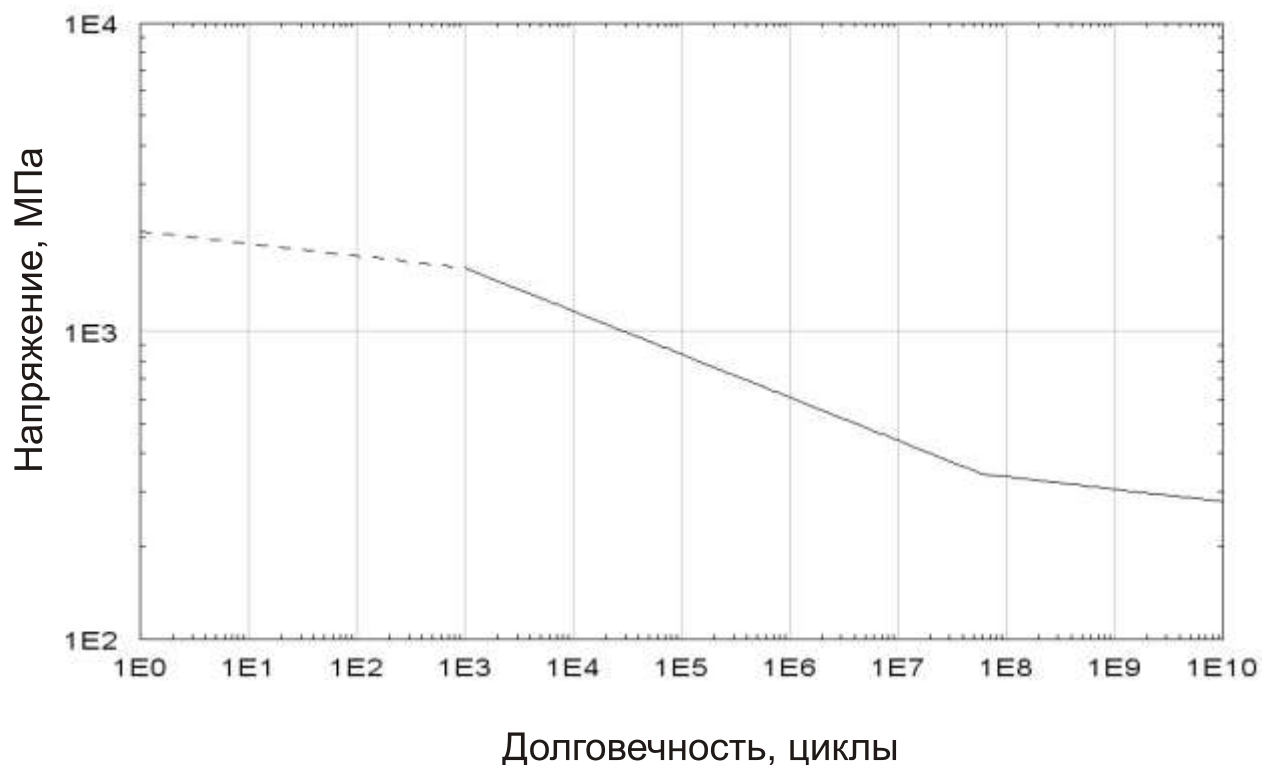


Рисунок 3 – Кривая выносливости материала вала

В анализе использовался S-N метод определения усталости, метод «падающего дождя» и закон Пальмгрена-Майнера суммирования повреждений.

S-N метод позволяет определить общую долговечность конструкции (Total life) до появления трещины, без анализа ее времени образования и

роста. Этот метод используется только для задач многоциклового усталости ($N > 10^4$) и применяется для анализа конструкций, в которых уровень пластических деформаций невысок (пластические деформации существенно локализованы) [3].

Метод падающего дождя проиллюстрирован на рисунке 4.

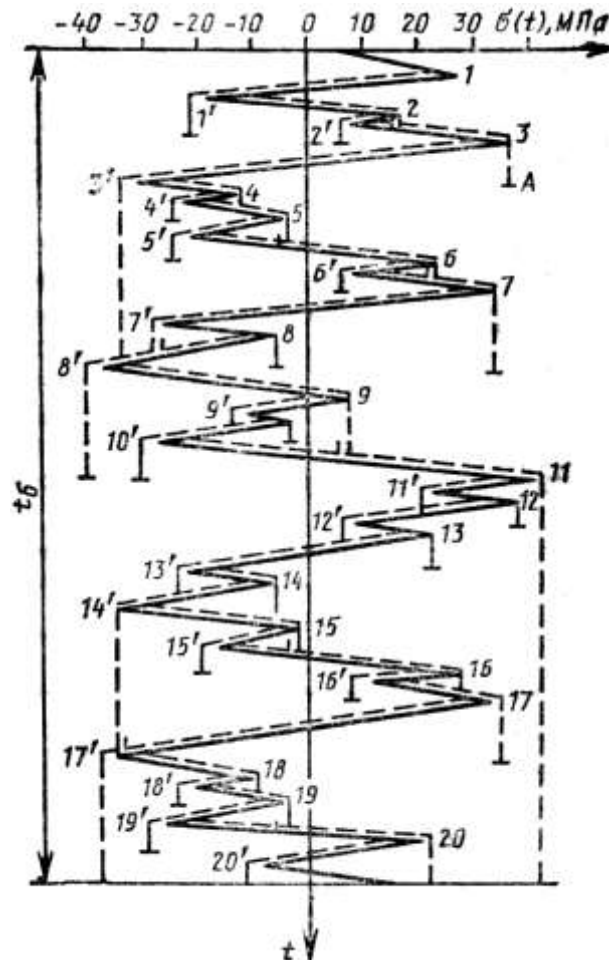


Рисунок 4 – Метод падающего дождя

Суть метода в следующем. На рисунке осциллограмма изменения напряжений во времени, расположенная так, что ось времени направлена вертикально, а ось напряжений – горизонтально. Штриховые линии, напоминающие струи дождя начинаются с внутренней стороны экстремумов. Струя должна быть остановлена, если она встретит на пути другую струю, стекающую с более высокой «крыши». Каждая часть осциллограммы должна быть пройдена струями только один раз.

Размах напряжений, соответствующий некоторому потоку дождя, равен расстоянию, пройденному потоком по горизонтали (проекция) [2]. В итоге

MSC.Fatigue преобразовывает исходный сигнал в виде осциллограммы (рис.5) в вид, приведенный на рисунке 6.

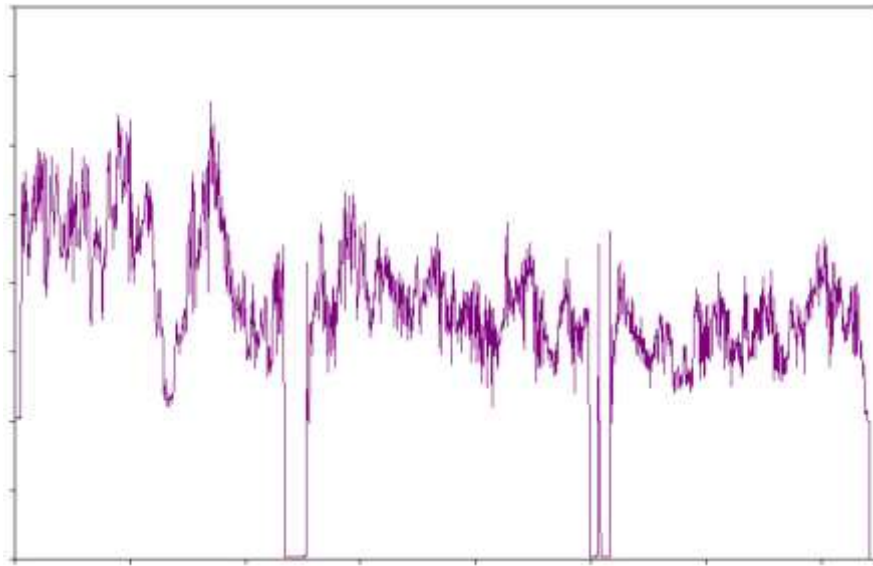


Рисунок 5 – Характер изменения нагрузки (исходный сигнал).

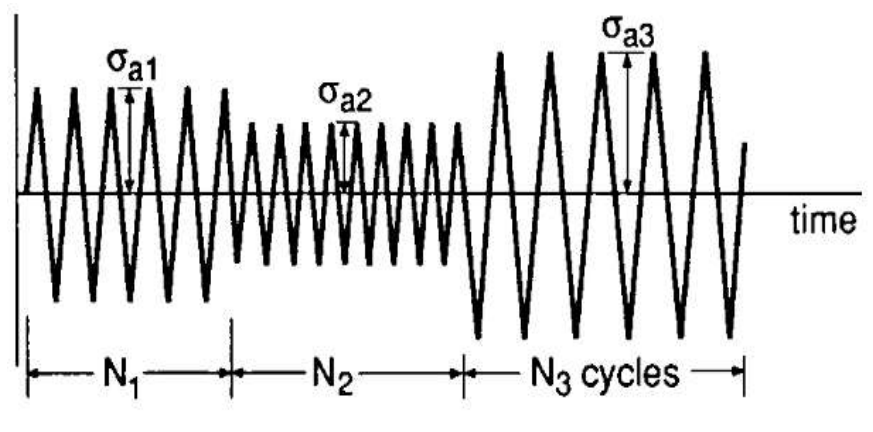


Рисунок 6 – Блочная структура сигнала после обработки методом «падающего дождя».

Здесь σ_{a1} , σ_{a2} , σ_{a3} — размахи напряжений;

N_1 , N_2 , N_3 — количество циклов данных размахов, соответственно.

Накопленное повреждение по закону Пальмгрена-Майнера определяется по формуле [2]:

$$\sum_{\sigma_{ai} \geq \sigma_{-1}} \frac{N_i}{N_{fi}} = 1$$

где N_{fi} – долговечность, соответствующая размахам напряжений σ_{ai} по кривой выносливости материала.

N_i – количество циклов данных размахов.

Так как цикл нагружения носит несимметричный характер, то это учитывается корректировкой по средним напряжениям.

Корректировка по Гудману имеет вид [2]:

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_e} + \frac{\sigma_m}{\sigma_B} = 1$$

где σ_a – амплитуда напряжений;

σ_e – напряжение при симметричном цикле;

σ_m – среднее напряжение цикла;

σ_B – предел прочности при растяжении-сжатии.

В результате исследования было установлено, что долговечность вала редуктора составляет $L_1 = 1,22 \times 10^7$ циклов, а долговечность этого же вала при использовании виброзащитного устройства составит $L_2 = 7,07 \times 10^7$ циклов. Если учесть, что длительность цикла $t_{ц} = 1,0$ сек, то срок службы вала в часах составит соответственно: $L_{h1} = 3390$ ч. и $L_{h2} = 19600$ ч. соответственно.

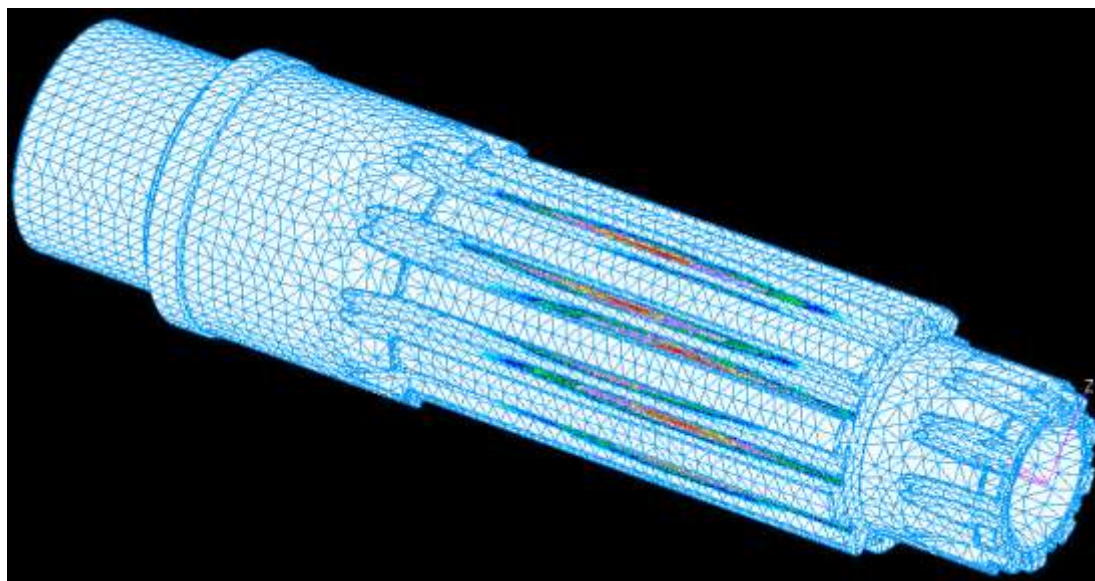


Рисунок 7 – Места возможного появления трещин при первом варианте нагружения

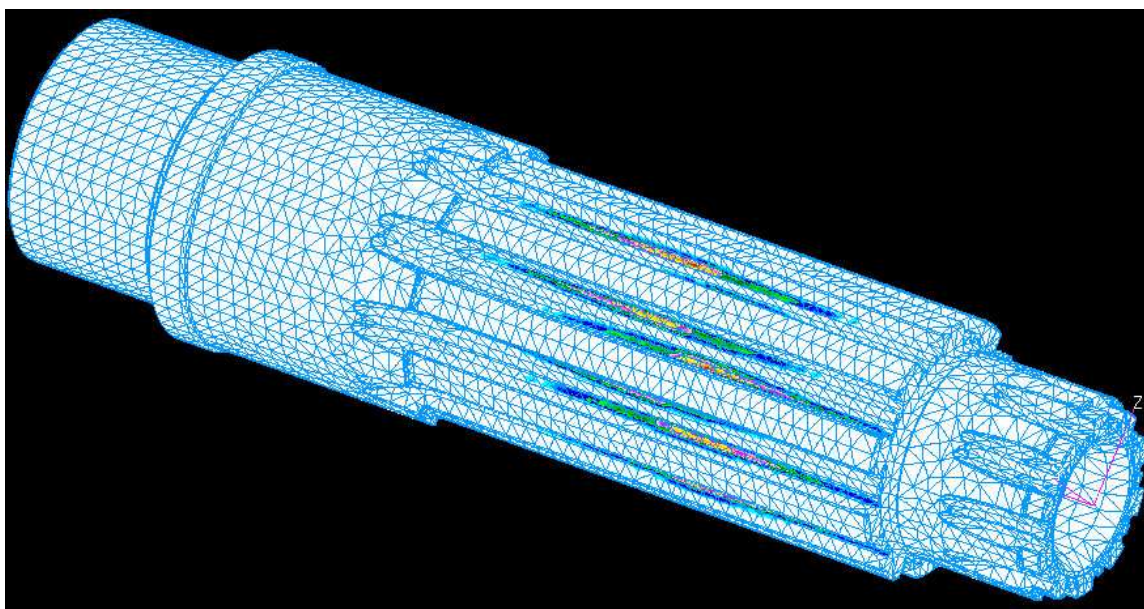


Рисунок 8 – Места возможного появления трещин при втором варианте нагружения

На рисунках 7 и 8 приведены результаты анализа долговечности в виде цветовых полей, где красным цветом показано место возможного появления трещины через указанное количество циклов. Далее по мере изменения цвета по спектру количество циклов увеличивается.

Очевидно, что применение виброзащитного устройства позволяет повысить долговечность этого вала в 5,8 раза.

Полученные циклы долговечности (часы) рассчитаны при условии бесперебойной работы редуктора с номинальным моментом приводного двигателя. Если учесть, что работа оборудования сопровождается циклами «включения-выключения», т.е. появляется дополнительная низкочастотная амплитуда, то долговечность вала понизится, однако следует учесть, что периоды «включения-выключения» сопровождаются простоями, что выражается в коэффициенте машинного времени. Следовательно, общий срок службы вала, выраженный во времени повысится.

Список использованной литературы

1. Материалы ежегодных конференций пользователей MSC. MSC.Software - комплексные технологии виртуального проектирования изделий (VPD). Опыт применения на предприятиях СНГ и стран Балтии: Москва, 2005-2006гг.
2. Когаев В.П., Махутов Н.А., Гусенков А.П./ Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность: Справочник – М.:Машиностроение, 1985. – 224с.
3. MSC FATIGUE 2005 “Quick Start Guide”.