

СИНТЕЗ ЭЛЕМЕНТОВ НЕСУЩИХ СИСТЕМ С ЗАДАНЫМ УРОВНЕМ НАДЕЖНОСТИ

Маньшин Ю.П., Маньшина Е.Ю.

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассматривается алгоритм анализа результата полевых тензометрических исследований конструкций машин, позволяющий получить данные для модернизации элементов в форме коэффициентов изменения параметров. В качестве объекта применения методики выбран конструктивный элемент жатки, имевший отказы по причине недостаточной выносливости при циклических напряжениях изгиба.

Ключевые слова: прочность, долговечность элементов, ресурс, предел выносливости деталей, коэффициент снижения амплитуд.

SYNTHESIS OF ELEMENTS OF LOAD-BEARING SYSTEMS WITH A GIVEN LEVEL OF RELIABILITY

Manshin Y. P., Manshina E. Yu.

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract. The article considers an algorithm for analyzing the results of field strain-measurement studies of machine structures, which allows obtaining data for the modernization of elements in the form of coefficients of parameter changes. As the object of application of the method, the design element of the header was selected, which had failures due to insufficient endurance under cyclic bending stresses.

Keywords: strength, durability of elements, resource, endurance limit of parts, amplitude reduction coefficient.

Экспериментальные исследования, рассмотренные в данной статье, касаются исследования прочности и долговечности несущих систем. Методика проведения этих исследований уже достаточно известна и основывается на скорректированной линейной гипотезе суммирования усталостных повреждений при нерегулярном нагружении для расчета относительных долговечностей элементов при одноразовом нагружении.

В работе [1] рассмотрен подход в использовании расчетов долговечности элементов. Для элементов, расчетный ресурс которых значительно ниже требуемого, повышать ресурс можно либо за счет повышения предела выносливости деталей, либо за счет снижения амплитуд напряжений. Изменение предела выносливости возможно лишь в узких пределах, или невозможно в условиях конкретного производства. Изменения амплитуд напряжений достигаются путем конструктивных изменений опасных сечений. При этом, на основе анализа направлений действия нагрузок усиления могут иметь направленный экономический характер [2, 3]. Коэффициент уменьшения амплитуд для достижения необходимого ресурса, есть обратная величина увеличения геометрических характеристик сечения (например, в плоскости изгиба).

Из структуры формулы расчета ресурса (3) следует, что умножение амплитуд на коэффициент эквивалентно делению предела выносливости на тот же коэффициент.

На рисунке 1 изображены расчетные ресурсы, полученные при испытании рамы жатки «ЖР 3500». При этом ресурсы рассчитаны для предела выносливости, изменяемого от 20 до 120 МПа. Это позволяет найти величину предела выносливости, необходимую для обеспечения требуемого ресурса с требуемой вероятностью [4].

Следует отметить, что при этом точность рассчитываемого ресурса не изменится, так как идентифицируемый временной ряд при расчетах для разных величин предела выносливости остается тем же, но изменяются коэффициенты, на которые он умножается.

Расчет ресурса элементов, проводимый по скорректированной линейной гипотезе предполагает, что сумма накопленных усталостных повреждений [2]:

$$\sum_{i=1}^r \frac{n}{N} = a_r, \quad (1)$$

где, a_r - корректирующая функция

$$a_r = \frac{\sigma_{a \max} \xi - 0,5\sigma_{-1\delta}}{\sigma_{a \max} - 0,5\sigma_{-1\delta}} \quad (2)$$

при $a_r > 0,1$ и $\xi = \sum_{i=1}^r \frac{\sigma_{ai} t_i}{\sigma_{a \max} V_\delta}$, $t_i = \frac{V_i}{V_\delta}$,

где n – количество амплитуд в блоке нагружения;

N – количество циклов до разрушения;

$\sigma_{a \max}$ – максимальная амплитуда нагружения;

$\sigma_{-1\delta}$ – предел выносливости детали;

V_δ – число циклов в блоке нагружения;

V_i – число циклов в блоке нагружения без амплитуд $\sigma_a < 0,5\sigma_{-1\delta}$.

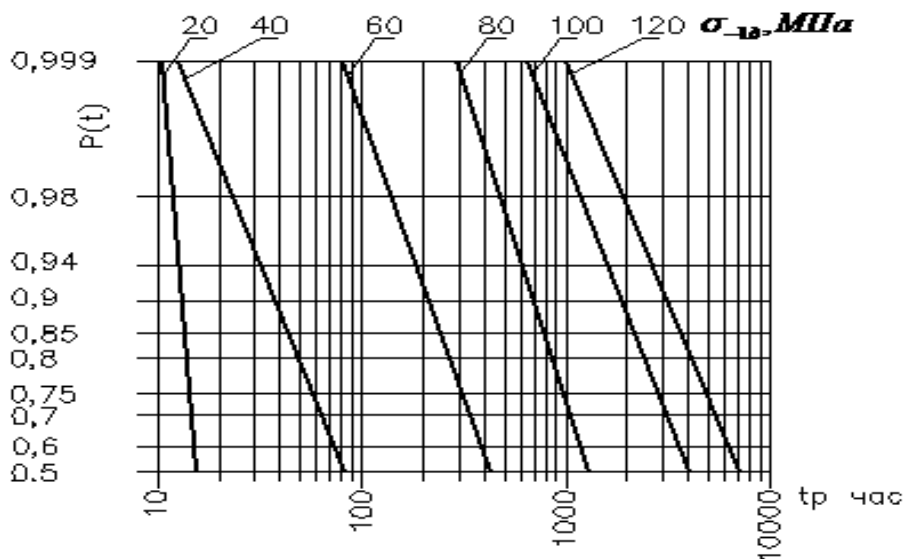


Рисунок 1 — Влияние изменения предела выносливости на ресурс жатки, датчик 1

Тогда, при изменении σ_a (при условии, что рассматриваются все σ_a), величина A_r не изменится.

Рассчитываем ресурс:

$$N = \frac{a_r \sigma_{-1\delta}^m N_0}{r \sum_{i=1}^m \sigma_{ai}^m t_i} \quad (3)$$

где N – базовое число циклов.

При пропорциональном изменении σ_{ai} в l раз, ресурс изменится в $(l)^m$ раз.

Таким образом, точность прогнозируемой долговечности не изменится [4, 5, 6]. Примером синтеза размеров элемента рамы жатки «ЖР – 3500» в одном из перегруженных сечений могут служить расчеты ресурсов (рис. 1, 2), полученные по результатам полевого тензометрирования.

Для датчика 1, (рис. 1) 95 % ресурс при реальном пределе выносливости 40 МПа составляет 25 часов. достаточный ресурс 400 часов может быть получен с пределом выносливости 80 МПа. Это эквивалентно двукратному снижению амплитуд напряжений, что достигается двукратным увеличением момента сопротивления сечения в плоскости действия изгиба. Отсюда следуют новые размеры сечения. Для датчика 2 (рис. 2) достаточный ресурс 400 часов может быть получен с пределом выносливости 85 МПа согласно степенной зависимости (3) между ресурсом 22 часа с пределом выносливости 40 МПа и требуемым ресурсом. Это соответствует коэффициенту снижения амплитуд $40/85=0,47$ (или коэффициенту увеличения геометрических характеристик сечения $1/0=2,125$).

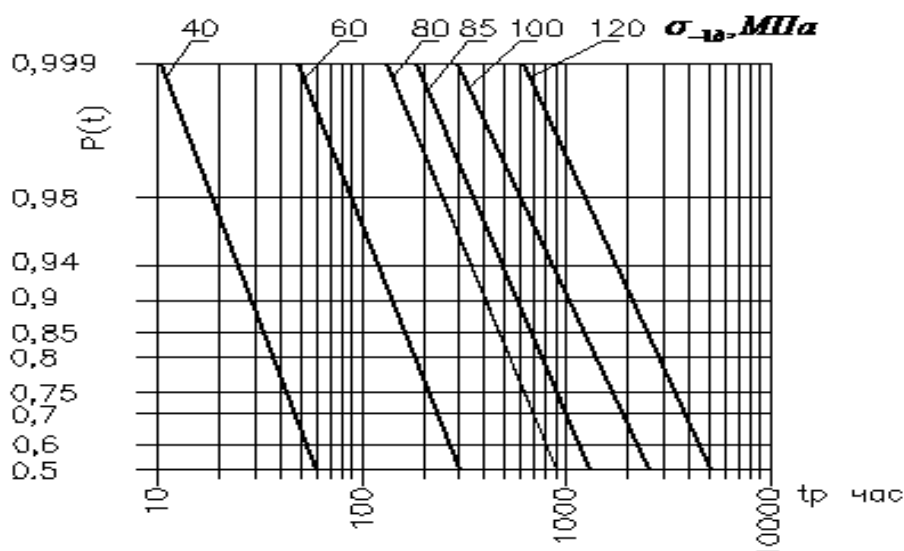


Рисунок 2 — Влияние изменения предела выносливости на ресурс жатки, датчик 2

Таким образом, эффективность экспериментальных данных для выработки конструктивных рекомендаций можно повысить, если использовать коэффициенты изменения амплитуд напряжений, их обратную связь с коэффициентом изменения пределов выносливости и геометрических характеристик сечений, степенную зависимость между отношениями ресурсов и амплитуд напряжений [7, 8].

Изложенный метод позволяет рассчитывать требуемые коэффициенты изменения геометрических характеристик не только для элементов с недостаточным рассчитанным ресурсом, но и для расчета коэффициентов в случае избыточного ресурса с целью снижения металлоемкости [9].

Список использованных источников

1. Когаев, В. П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность / В. П. Когаев, Н. А. Махутов, А. П. Гусенков. М.: Машиностроение, 1985. - 223 с.
2. МУ Расчеты деталей машин на выносливость в вероятностном аспекте. / А.П. Гусенков, И.М. Петрова, И.В. Гадолина М.: МЦНТИ, 1991, С.85.
3. Маньшин Ю. П. Приближенная оценка ресурса детали, обеспечивающая ее требуемый ресурс с заданной вероятностью безотказной работы/Ю.П. Маньшин, Е.Ю. Маньшина//Вестник машиностроения. - 2017. - №12. - С.20-24.
4. Man'shin Yu.P. Estimating the Life of a Machine Part / Yu.P. Man'shin, E. Yu. Man'shina// Russian Engineering Research. - 2018. - Vol. 38, №3. - P. 157-162.
5. Дьяченко А.Г. Методологические особенности использования параметризации при проектировании/ А.Г. Дьяченко, Т.П. Савостина // В сборнике: Инновации в машиностроении сборник трудов IX Международной научно-практической конференции. Под редакцией А.М. Маркова, А.В. Балашова, М.В. Доц. 2018. С. 106-112.
6. Сиротенко, А. Н. Особенности проектирования цепной передачи в CAD/CAE КОМПАС-GEARS и APM Winmachine / А. Н. Сиротенко // Инновационные технологии науке и образовании. ИТНО-2017: материалы V Междунар. науч.-практ. конф. 11-15 сентября 2017 г./ Донской гос. техн. ун-т. - Ростов-на-Дону: ДГТУ-Принт, 2017. - С. 570-574.
7. Маньшин Ю. П. Вопросы надежности деталей при проектировании механических систем/Ю.П. Маньшин, Е.Ю. Маньшина//Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Машиностроение. -2019. № 5 (128). -С. 56-73.
8. Болотин, В. В. Ресурс машин и конструкций / В. В. Болотин. М.: Машиностроение, 1990. - 447 с.
9. Борисов, Ю. С. Совершенствование методов прогноза ресурсов изделий, разрушающихся от усталости / Ю. С. Борисов, Ю. Н. Благовещенский. М.: Машиностроение, 1990. - 56 с.

Работа выполнена в рамках инициативной НИР.