

Механика материалов: прочность, ресурс, безопасность

УДК 620.172.2

МЕТОД КОРРЕКЦИИ СКОРОСТИ НАГРУЖЕНИЯ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЯХ НА ПРОЧНОСТЬ

© А. Я. Стерлин¹

Статья поступила 29 мая 2014 г.

Предложен метод автоматической самонастройки скорости нагружения испытываемых образцов материалов или элементов механических конструкций при многоцикловых испытаниях на прочность. Этот метод позволяет оптимально использовать энергетические возможности оборудования, нагружающего объект испытаний, и сократить сроки испытаний. Сущность метода состоит в определении в каждом цикле нагружения максимальной величины тока управления электрогидравлическим усилителем, сравнении этой величины с допустимым током управления и в случае, если это величина менее допустимого тока управления, увеличении скорости нагружения до ликвидации этой разности.

Ключевые слова: ресурсные испытания; ток управления; следящая система; программа нагружения; скорость нагружения.

Изучение прочностных характеристик материалов и элементов конструкций в конечном счете сводится к определению условий достижения их предельных состояний. При этом под предельными понимаются такие состояния, при которых дальнейшее использование рассматриваемых объектов становится недопустимым². Одним из направлений определения предельных состояний являются циклические ресурсные испытания изделий до разрушения.

В настоящее время для проведения таких испытаний широко применяются электрогидравлические испытательные машины и стенды. Следует отметить, что ресурсные испытания, предполагающие многоцикловые программы нагружения, требуют значительных временных и материальных затрат. Для сокращения сроков испытаний необходимо максимально возможное увеличение скорости нагружения при допустимых уровнях нагружающих усилий. Данная задача включает две составляющие. Первая состоит в создании максимально интенсивной программы нагружения в пределах ее адекватности условиям эксплуатации, вторая — в использовании максимального уровня использования энергетических возможностей испытательного оборудования.

В данной работе описана структура системы управления электрогидравлическим приводом, обеспечивающая максимальное использование энергетических возможностей испытательного оборудования. Суть принципа, положенного в основу системы, состоит в определении в каждом цикле нагружения максимальной величины тока управления электрогидравлическим усилителем, сравнении этой величины с допустимым током управления и в случае, если она менее допустимого тока, увеличении скорости нагружения до ликвидации этой разности.

На рис. 1 приведена структурная схема коррекции тока управления электрогидравлическим приводом. Она включает в себя блок задания программ; сумматор; формирователь программных сигналов; регулятор; электрогидравлический усилитель; тензодинамометр; объект испытаний; аналого-цифровой преобразователь (АЦП); накопитель разности; блок выборки и хранения; ключ; первый и второй логические элементы «И», причем второй с инверсными входами; амплитудомер; блок вычитания; блок задания допустимого тока управления.

В блок задания программ первоначально заносят экстремальные значения циклических функций нагружения и частоту их генерации. Если программа испытаний содержит несколько ступеней циклического нагружения, то вышеуказанные параметры задаются для каждой ступени. Цифровой выход 1 блока задания программ (БЗП) соединяется с одним из входов формирователя программных сигналов (ФПС), а выход 2 через сумматор — с другим цифровым входом ФПС.

¹ ФГУП «ЦАГИ», г. Жуковский Московской обл., Россия; e-mail: andrey.sterlin@tsagi.ru

² Махутов Н. А. Обоснование предельных состояний материалов и конструкций в штатных и нештатных ситуациях / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2013. Т. 79. № 12. С. 3 – 5.

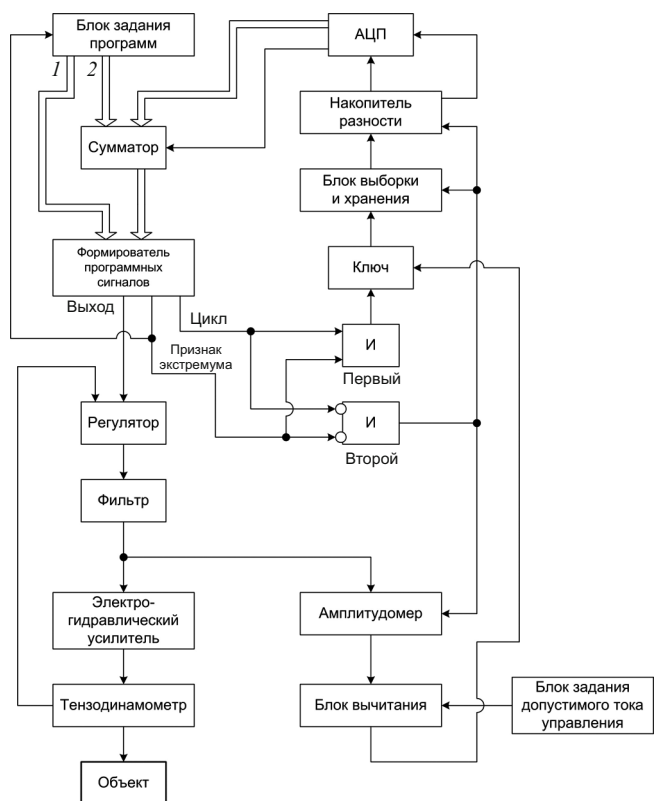


Рис. 1. Структурная схема системы коррекции тока управления электрогидравлическим приводом

ФПС имеет три выхода: программного управляющего сигнала; «Признак экстремума», появляющийся при возникновении локального экстремума циклической функции нагружения; «Цикл» — признак пуска программы либо начала новой ступени нагружения. Сигнал «Цикл» определяет длительность (число циклов) каждой ступени нагружения. Выход программного управляющего сигнала соединен с управляющим входом регулятора, другой вход которого подключен к датчику обратной связи — тензодинамометру. Выход ФПС «Цикл» соединен с первыми входами первого и второго логических элементов «И», а выход «Признак экстремума» — со вторыми входами первого и второго элементов «И». Выход первого элемента «И» подключен к управляющему входу ключа. Информационный вход ключа связан с выходом блока вычитания, определяющего разность между величиной допустимого тока управления и его фактическим амплитудным значением, которое амплитудомер измеряет на выходе регулятора. Фильтр устраняет высокочастотные помехи на выходном сигнале регулятора. Выход ключа соединен с входом блока выборки и хранения (БВХ). Блок выборки и хранения предназначен для хранения в течение одного цикла нагружения разности величин допустимого тока управления и локального максимума тока нагружения. Выход БВХ связан с информационным входом накопителя разностей (НР). Последний служит для формирования корректирующей поправки к программному сигналу скорости

нагружения. Информационный выход НР связан с входом АЦП, управляющий выход НР — с управляющим входом АЦП. Выход АЦП подключен к второму входу сумматора. Управляющие входы НР и БВХ подключены к выходу второго логического элемента «И».

Система работает следующим образом. Перед началом испытаний на входах первого элемента «И» сигналы «Цикл» и «Признак экстремума» равны нулю. На его выходе сигнал также равен нулю, следовательно нормально разомкнутый ключ открыт. Эти же сигналы поступают на инверсные входы второго элемента «И», поэтому на его выходе сигнал равен единице. Этим сигналом накопитель разности и блок выборки и хранения информации приводятся в исходное (нулевое) состояние.

При пуске и в начале каждой ступени циклической многоступенчатой программы нагружения на выходе «Цикл» формирователя программных сигналов появляется сигнал, который поступает на первые входы первого и второго элементов «И», в результате чего сигнал на выходе второго элемента «И» пропадает, что запрещает приведение в исходное состояние БВХ и накопителя разностей, а также подготавливает первый элемент «И» к приему сигнала «Признак экстремума». Поскольку накопитель разностей обнулен, выход аналого-цифрового преобразователя также равен нулю, поэтому код частоты, выдаваемый блоком задания программ через сумматор, поступает на вход формирователя программных сигналов в первоначальном виде, соответствующем программе. На аналоговом выходе указанного формирователя при этом начинает генерироваться программный сигнал нагружения, который поступает на вход регулятора, где сравнивается с сигналом от тензодинамометра. Выходной сигнал регулятора, зависящий от разности сигналов на его входах, поступает на вход электрогидравлического усилителя, создающего необходимое воздействие на объект испытаний. Величина этого воздействия через тензодинамометр поступает на вход обратной связи регулятора. Таким образом, система автоматически отслеживает программную функцию, заданную блоком формирования программных сигналов.

Сигнал управления с выхода регулятора подается на вход фильтра, который практически исключает из него высокочастотные наводки. Максимальные значения тока управления на выходе регулятора, а следовательно, и фильтра возникают в момент наибольшей скорости изменения программного сигнала, т.е. между точками экстремумов программной функции (как правило, форма программы нагружения имеет синусоидальный вид). Выходной сигнал фильтра поступает на амплитудомер, который определяет амплитуду тока управления электрогидравлическим усилителем в каждом цикле. Найденное значение амплитуды блоком вычитания вычитается из предельно допустимой

величины тока управления, заданной блоком задания допустимого тока управления.

Сигнал, пропорциональный вычисленной разности, с выхода блока вычитания поступает на вход нормально разомкнутого ключа. Если нет сигнала «Цикл», то на выходе первого элемента «И» нулевой сигнал и ключ, который управляется этим сигналом, открыт. Если формируется сигнал «Цикл», то при появлении сигнала «Признак экстремума» на выходе элемента «И» возникает сигнал, который замыкает ключ и тем самым соединяет выход блока вычитания с входом блока выбора и хранения. Поскольку ток управления достигает максимальной величины между экстремумами циклической синусоидальной программной функции, то амплитудомер определяет эту величину до появления сигнала «Признак экстремума» программы. Ввиду этого имеется достаточно времени для вычисления разницы между амплитудой тока управления и ее максимально допустимой величиной; эта операция выполняется блоком вычитания. Найденная разность по сигналу «Признак экстремума» записывается в блок выбора и хранения, а затем — в накопитель разности и, как корректирующая поправка поступает в формирователь программных сигналов. Эта процедура от экстремума к экстремуму циклической функции будет повторяться до тех пор, пока разность не станет равной нулю. При переходе на другую ступень программы сигнал «Цикл» снимается, импульсный сигнал «Признак экстремума» временно исчезает и сигнал с выхода второго элемента «И» приводит в исходное состояние накопитель разности и блок выборки и хранения информации. На новой ступени программы описанная последовательность операций повторяется вновь. Таким образом, осуществляется автоматическая самонастройка скорости нагружения (частоты) циклической функции.

Работа рассматриваемой системы коррекции скорости нагружения поясняется рис. 2, где схематически приведены графики сигналов, содержащие основную информацию. На рис. 2, *а* показана форма сигнала «Цикл» на выходе формирователя программных сигналов, а на рис. 2, *б* — изменение частоты программного сигнала и, как следствие, увеличение скорости нагружения. Появление сигналов «Признак экстремума», управляющих записью корректирующих поправок в накопитель разности, иллюстрирует рис. 2, *в*, изменение тока управления на входе в электрогидравлический усилитель — рис. 2, *г*, изменение локальных экстремумов тока управления — рис. 2, *д*, накопление

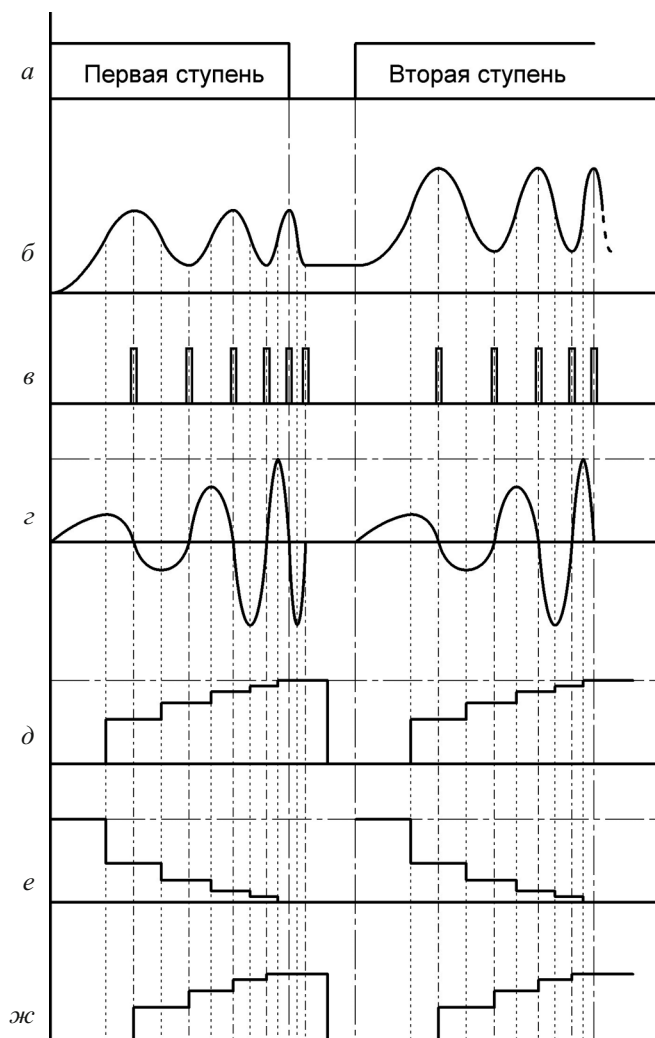


Рис. 2. Графики сигналов на выходах основных элементов системы

сигнала, корректирующего скорость нагружения, — рис. 2, *ж*.

Использование предложенного метода проведения усталостных испытаний образцов материалов позволяет полностью реализовать энергетические возможности нагружающих устройств и сократить продолжительность испытаний на 15 – 20 %.

Для исключения увеличения погрешности нагружения в экстремальных точках программы целесообразно совместно с предложенным способом использовать метод коррекции экстремумов³.

³ Стерлин А. Я., Свирский Ю. Н. Принцип управления циклическим нагружением при прочностных испытаниях / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2014. Т. 80. № 4. С. 64 – 66.