

А. М. СОЙФЕР

ВИБРАЦИИ И НАДЕЖНОСТЬ**(Вместо предисловия)**

В настоящий сборник вошли статьи, содержание которых отражает некоторые результаты работы последних лет отраслевой научно-исследовательской лаборатории «Вибрационная прочность и надежность» Куйбышевского авиационного института. Материалы большинства статей были доложены на конференции, прошедшей в начале 1966 года.

Наименование проблемы «вибрационная прочность и надежность изделий», которой посвящена деятельность лаборатории и тематика настоящего сборника, заслуживает обсуждения. Некоторые специалисты полагают, что основная связь между вибрациями и надежностью заключается во временном характере развития вибрационных дефектов. Действительно, большинство дефектов, вызываемых колебаниями, проявляется с течением времени (усталостные разрушения, износы и др.). Однако надежность изделий, подверженных временным дефектам, обычно можно увеличить или уменьшить, сокращая или удлиняя срок службы, но гарантия надежности не может быть дана изделию, находящемуся в тяжелых вибрационных условиях даже при весьма малом сроке работы. В чем же заключается особая связь между вибрациями и надежностью?

Воспользуемся далее в некотором отношении более удобным негативным термином — ненадежность. Наиболее общим понятием, характеризующим комплекс причин, приводящих к ненадежности системы, служит «степень неопределенности» системы. Смысл этого понятия заключается в невозможности предвидеть с полной достоверностью ход процессов, протекающих как в самой системе, так и вне ее, но на нее влияющих. Причины этого весьма многообразны: недостаточность знаний о самом объекте в начальном его состоянии; несовершенство методов расчета, теории процессов; неполное знание всех внешних условий, в которых

находится объект. Неопределенность вносится и неизбежными отклонениями геометрических, физических и других параметров компонентов системы как предусмотренными проектной документацией, так и вносимыми дополнительно в производстве и эксплуатации. Наряду с разнообразными физическими и другими явлениями, которые мы можем предвидеть, хотя и не всегда точно определить количественно, возникают новые в своем конкретном воплощении явления, которые до данного момента не были известны и потому не поддавались предвидению даже качественно.

Понятие «степень неопределенности» — не новое. Оно адекватно понятию энтропии системы. Эти понятия дают физическое и математическое представление о многочисленности множества возможных микросостояний системы при определенном ее макросостоянии. Естественно, чем больше возможных микросостояний, тем выше степень неопределенности. Для системы с каким-либо непрерывным параметром σ энтропия выражается.

$$H = - \int_{-\infty}^{+\infty} p_{\sigma} \ln p_{\sigma} d\sigma.$$

Здесь p_{σ} — функция плотности вероятности.

Для известного закона распределения плотности вероятности энтропия системы (по данному параметру) пропорциональна квадратному корню из дисперсии, коэффициент пропорциональности зависит от функции распределения плотности вероятности. В качестве иллюстрации можно привести простейший пример: деталь, в которой действуют напряжения. Эти напряжения могут иметь различные значения в зависимости от случайных обстоятельств: изменяющихся условий работы, различий в размерах отдельных экземпляров и т. д. Очевидно, что неопределенность в значениях напряжений будет тем больше, чем больше дисперсия напряжений. А чем больше дисперсия (рассеяние величин напряжений), тем, при прочих равных условиях, ниже надежность.

Так как энтропия является величиной аддитивной, то в принципе представляется возможным оценивать по суммарной энтропии неопределенность той или иной конструкции и сопоставлять по неопределенности несколько конкурирующих вариантов для выбора оптимального. Такой метод числовой оценки ненадежности конструкции может оказаться весьма эффективным на стадии проектирования.

Инженерный опыт указывает, что для того или иного типа изделий существует сравнительно небольшой круг явлений различного порядка, вносящих большую неопределенность в их работу. Так, например, явление, связанное с системой организации производства, заключающееся в дефектах кодирования, ведет к ненадежности из-за подмены одного материала другим, не пригодным

для данного узла. Часто вносится неопределенность концентратора напряжений — это явление физического характера.

Подобные явления можно назвать «усилителями неопределенности». Они характеризуются тем, что между причиной (радиус подрезки) и следствием (коэффициент концентрации напряжений) связь нелинейная с участком резкого возрастания.

К одному из наиболее мощных усилителей неопределенности относятся вибрационные явления. Следствием вибраций может быть увеличенный разброс значений действующих напряжений из-за приближения к резонансу, по той же причине увеличиваются износы. Вибрации сказываются на коэффициентах трения, следствием чего могут быть и расконтрирование резьбовых деталей, и смещения в муфтах трения, и возникновение значительных осевых усилий в прямозубых цилиндрических шестернях, и многое другое. Тем или иным путем вибрации ведут к увеличению дисперсии распределения величины того или иного параметра, существенно влияющего на работоспособность изделия. Таким образом, увеличивается неопределенность состояния последнего, падает надежность.

Для анализа степени неопределенности и повышения надежности проектируемого изделия мы рекомендуем практический метод, по своей сущности организационно-технический. Этот метод придает систематизированную форму тому приему оценки конструкции, которым пользуются опытные инженеры.

Прежде всего определяются характерные для данной категории изделий усилители неопределенности. Не представляет большого труда составить перечень их в первичном виде. Для этого должны быть проанализированы и классифицированы дефекты, возникающие при испытании и эксплуатации изделий данной категории или близких к ним. Необходимо сформулировать в обобщенной, но вполне доступной для понимания форме механизм усиления неопределенности, вызвавшей дефект. К этому следует очень кратко и уже конкретно для наиболее характерных случаев изложить первопричину и окончательное проявление дефекта. Указанные материалы составляют «Методику анализа неопределенности изделия при проектировании». По мере накопления новых материалов их обрабатывают и включают в соответствующем виде в «Методику».

Конструктор, проектирующий изделие, должен в соответствии с «Методикой анализа неопределенности...» сопроводить проект кратким анализом разработанной конструкции, указывая на те разделы технического задания, узлы изделия, режимы и условия работы, которые, по его мнению, могут внести неопределенность в состояние изделия.

Лицо, которому поручен контроль надежности проекта, также и независимо приводит аналогичный анализ и делает свои выводы.

При окончательном рассмотрении проекта рассматриваются документы, составленные конструктором и контролером надежности.

Об эффективности предлагаемой системы свидетельствует практика прогнозирования опытными конструкторами дефектов, которая, хотя и в нерегламентированном виде, сводится к изложению.

После накопления фактического материала представляется возможность давать числовую оценку степени неопределенности того или иного варианта конструкции. При этом необходимо ввести некоторую условную единицу и в этих единицах давать субъективную первичную оценку. Такая оценка не должна нас смущать, если мы вспомним, что подобные приемы используются в теории стратегических игр, в теории массового обслуживания, при сетевом планировании и управлении.

В свете сказанного выше, уменьшение неопределенности есть наиболее общее определение пути увеличения надежности.

Расширение знаний, уточнение методов расчета, усовершенствование экспериментальных исследований — это основное в уменьшении неопределенности, и хотя все это представляется само собой понятным, систематический учет данного направления может выражаться в нетривиальных формах. Так, предложенная выше «Методика анализа неопределенности» выполняет не только организующую роль, но и служит делу обобщения и передачи опыта. К этому же направлению относится задача «ограничения» научно необоснованных, волевых решений. Известно, что в условиях большой срочности при устранении дефектов не всегда удается тщательно и научно обосновать и проверить принятое конструктивное решение. В дальнейшем иногда оказывается, что устранен дефект не за счет этого решения, а благодаря другим мерам, проведенным параллельно. Бывает и так, что данное решение, пригодное для определенного случая, в некоторых конкретных условиях при распространении его на другие случаи ведет к дефектам. Во избежание подобных недоразумений вводится правило, по которому любое волевое решение должно быть научно проверено, проанализировано даже в том случае, если осуществление его дало положительный эффект.

Если обратиться к задаче устранения или уменьшения неопределенности, связанной с вибрационными явлениями, то и здесь всякое расширение наших знаний и учет их при проектировании снижает неопределенность. При этом, естественно, особенно важно соотносить результаты теоретических исследований с инженерной практикой.

Ряд материалов в настоящем сборнике посвящен именно этой задаче. К таковым можно отнести статьи В. П. Иванова, П. Д. Вильнера, Т. С. Горошкевича, М. И. Курушина, В. А. Письменнова, В. В. Ярыгина.

Практика и теоретические соображения свидетельствуют о большом эффекте в вибрационной защите методов демпфирования и амортизации в соединении с демпфированием. В лаборатории вибрационной прочности и надежности серьезное место занимают работы, связанные с созданием виброзащитных устройств из материала МР. Исследования в этом направлении отражены в статьях А. М. Сойфера, Д. Ф. Пичугина, Г. Ф. Несолонова, В. Н. Бузицкого, А. Д. Пичугина.

Значительное рассеяние энергии может быть достигнуто в элементах, представляющих собой соединение в один пакет упругих пластин. Вопросы теории подобных демпферов рассмотрены в статьях И. Д. Эскина.

В сборнике помещены некоторые результаты исследований в области демпфирования пульсации жидкости в трубопроводах, а также теории гидростатических опор (статьи В. П. Шорина, Р. Н. Старобинского, А. И. Белоусова). Целевая установка этих работ, так же как и остальных, в конечном счете направлена на повышение вибрационной надежности изделий.

В статье В. А. Борисова, Д. Ф. Пичугина, Г. Н. Надеждина рассматриваются некоторые результаты исследований уплотнений, выполняемых с использованием материала МР.

Закономерно, что среди материалов, обсуждающих вопросы и методы виброисследований, нашли место статьи А. М. Сойфера, Г. П. Федорченко, Е. Н. Чукреева, Ю. Г. Бондаренко, В. И. Костина, в которых привлечены методы теории вероятностей.

В статье Н. Д. Степаненко, Р. В. Чураева изложены результаты некоторых исследований пластических масс с точки зрения вибрационной прочи
лий из этого материала.