

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
"Воронежский государственный технический университет"

Кафедра автоматизированного оборудования
машиностроительного производства

ДИАГНОСТИКА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению практических работ
для студентов направления 15.04.01 «Машиностроение»
(программа магистерской подготовки «Обеспечение качественно-точных
характеристик при изготовлении изделий в автоматизированном
машиностроительном производстве»)
всех форм обучения

Воронеж 2021

УДК 621.01 (07)
ББК 34.5я7

Составители: д-р техн. наук, проф. С. Ю. Жачкин,
канд. техн. наук, доц. М. Н. Краснова

Диагностика многофункционального оборудования: методические указания к выполнению практических работ для студентов направления 15.04.01 «Машиностроение» (программа магистерской подготовки «Обеспечение качественно-точностных характеристик при изготовлении изделий в автоматизированном машиностроительном производстве») всех форм обучения / ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический университет; сост.: С. Ю. Жачкин. М. Н. Краснова. - Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021.- 18 с.

В методических указаниях изложены требования и общие вопросы по выполнению практических работ, рассматривается сценарный анализ и расчет сложных технических систем, объектов на предмет локальных предельных состояний.

Предназначены для проведения практических работ по дисциплине «Диагностика многофункционального оборудования» для студентов 2 курса всех форм обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ.ДМО.ПР.pdf.

Ил. 5. Библиогр.: 2 назв.

УДК 621.01(07)
ББК 34.5 я7

Рецензент – С. Н. Яценко, канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры
автоматизированного оборудования машиностроительного
производства ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

СЦЕНАРНЫЙ АНАЛИЗ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Для сложных технических системы характерны сложные нелинейные взаимодействия между входящими в их состав элементами, сложные цепочки (сценарии) причинно-следственных связей между опасными событиями и процессами, протекающими в течение срока их эксплуатации, которые носят вероятностный характер. Эти сценарии могут реализовываться по сложным разветвленным сценарным деревьям. Функционирование рассматриваемой сложной технической системы может, как правило, быть представлено в виде траектории S_0 в пространстве состояний, называемой сценарием успеха, призванным обеспечить переход из исходного состояния (ИС) (строительство системы) в заданное конечное состояние (КС0) (плановый вывод системы из эксплуатации), которое принадлежит области допустимых конечных состояний (рис. 1). В ходе работы системы ее отдельные элементы могут достигать локальных предельных состояний (ЛПС) ($i = 1, 2, \dots, n$), каждое из которых способно инициировать последовательность неблагоприятных событий, составляющих сценарий аварии. Подобные сценарии представляют собой процессы, реализующиеся на различных масштабных уровнях.

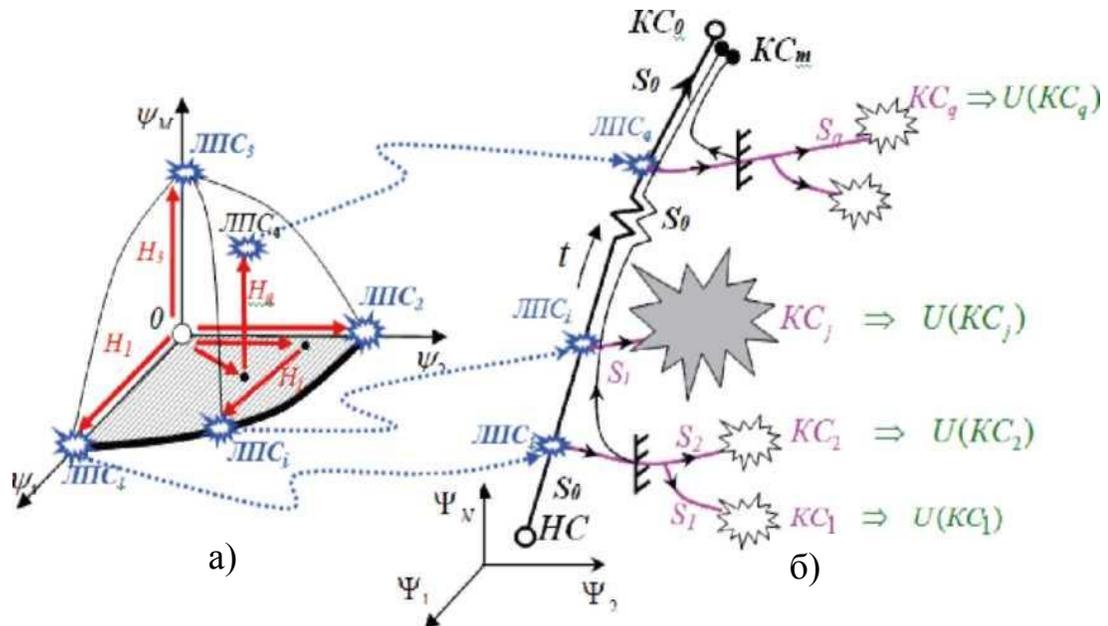


Рис. 1. Дерево сценариев, иллюстрирующее процесс разрушения СТС на локальном и системном уровнях:
а) локальный уровень; б) системный уровень

Вследствие наличия высокого уровня неопределенности, связанного с (а) естественной вариативностью параметров, характеризующих нагрузки на систему и ее несущую способность при различных механизмах достижения предельных состояний, (б) ограниченностью знаний о сложных процессах, протекающих в сложной технической системе (СТС), а также (в) возможностью совершения ошибок операторов и персонала, на различных этапах жизненного цикла системы, ее функционирование является многовариантным и происходит по разветвленным сценарным деревьям, узлы которых являются вероятностными событиями. Причем среди ветвей сценарных деревьев присутствуют и катастрофические, которые связаны с разрушением самой системы, гибелью людей, значительными ущербами для природной среды и техногенной сферы.

Введение систем мониторинга состояния и технической диагностики призвано снизить уровень неопределенности относительно текущего состояния сложных технических систем, своевременно идентифицировать опасные состояния элементов конструкции и оборудования СТС и принимать обоснованные решение о проведении ремонта или замены поврежденных элементов.

В процессе функционирования конструкции и оборудование СТС подвергаются непрерывным повреждающим и разрушающим воздействиям с постоянным ухудшением их технического состояния. Это обусловлено результатом воздействия технологических и внешних эксплуатационных нагрузок и ряда факторов окружающей среды, которые носят случайный характер [1]. Данные воздействия и факторы ведут к возникновению и накоплению в элементах конструкций, деталях машин и оборудования различных видов повреждений $d(x)$ (износ, усталость, физическое старение, появление и рост трещин и др.). Достигнув критического уровня, накопленные в результате процесса эксплуатации повреждения приводят к нарушению работоспособного состояния оборудования, выработке и исчерпанию ресурса, и как следствие, к чрезвычайным ситуациям (отказам, авариям и катастрофам).

Расчет характеристик поврежденности и надежности конструктивных элементов и узлов сложных технических систем (СТС) в настоящее время, как правило, основан на статистических и детерминированных моделях, которые не учитывают изменения напряженно-деформированного состояния и свойств материала и кинетики повреждаемости деталей во времени t . Большинство процессов накопления повреждений $d(r)$ происходит в течение длительных промежутков времени при многопараметрических воздействиях.

Введение фактора времени t в анализ поврежденности $d(r)$ конструкций возможно на основе кинетических представлений о процессе накопления в материале детали необратимых повреждений механического, физического и химического происхождения с учетом сценариев многофакторных статических, циклических и динамических воздействий рабочих процессов и окружающей

среды. Основой решения данной задачи является разработка методов анализа, расчета и прогноза предельных состояний отдельных ответственных деталей, машины и объекта в целом, а также разработка квалиметрии повреждений — методов технической диагностики, позволяющих проводить численную оценку степени повреждения деталей, различных по своей природе и характеру [2].

При исследовании прочности, ресурса и надежности, основанной на расчете предельных состояний отдельных деталей и элементов конструкций и машин, используются классические и современные критерии прочности и уравнения накопления повреждений. С позиций теории прочности обычно рассматривают следующие базовые типы локальных предельных состояний технических объектов:

- разрушение (вязкое и хрупкое);
- пластическое деформирование по всему сечению элемента;
- потеря устойчивости;
- возникновение недопустимых формоизменений;
- появление макротрещин при циклическом нагружении;
- разгерметизация (не связанная с макроразрушениями);
- износ, эрозия, фреттинг;
- коррозия.

Каждый из перечисленных механизмов достижения предельных состояний требует привлечения специальных методов, программных и аппаратных средств технической диагностики, позволяющих осуществлять своевременную идентификацию локальных повреждений и служить основой для принятия обоснованных решений о проведении ремонтных работ или замены поврежденных элементов СТС.

Задание:

1. Получить данные у преподавателя.
2. Определить тип локальных предельных состояний технического объекта.
3. Построить сценарий развития предельного состояния у заданного объекта.

Практическая работа № 2

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ИСТОРИИ НАГРУЖЕНИЯ И НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННЫХ СОСТОЯНИЙ

Совместное рассмотрение режимов нагружения и местных напряженно-деформированных состояний позволяет подойти к анализу истории местной нагруженности и выявлению амплитуд местных напряжений $\sigma(\tau)$ и деформаций

$e(\tau)$. Особенности длительного статического (по времени τ) циклического (по числу циклов N) деформирования и кинетические процессы в локальных зонах повышенных местных напряжений σ_{\max} и деформаций e_{\max} , как правило, отличаются от общих закономерностей циклической нагруженности объектов. Особое внимание здесь следует уделять анализу сочетаний нагрузок $F(\tau)$, способных приводить к высоким местным напряжениям $\sigma_{\max}(\tau, N)$, деформациям $e_{\max}(\tau, N)$.

Анализ особенностей статических и длительных статических и циклических процессов и закономерностей эксплуатационной и местной нагруженности дает возможность оценки механизмов накопления повреждений $d(\tau, N)$ и видов предельных состояний по уровню повреждаемости $d_c(\tau, N)$. Большинство оборудования опасных промышленных объектов работает при переменных нагрузках $F(\tau)$ и температурных t воздействиях. Поэтому наиболее вероятными механизмами накопления эксплуатационных повреждений $d(\tau, N)$ будут статическая, повторно-статическая, малоцикловая и многоцикловая усталость [2].

Определение допустимых (расчетных) значений нагрузок $[F(\tau, N)]$, напряжений $[\sigma(\tau, N)]$, деформаций $[e(\tau, N)]$, чисел циклов $[N]$ и времени $[\tau]$ нагружения основывается на использовании силовых, энергетических или деформационных критериев разрушения.

Выбор критерия предельного состояния позволяет подойти к расчету ресурса конструкции для различных стадий её повреждения и разрушения.

В общем случае при эксплуатации на технические системы во времени τ действуют три основных типа нагрузок $F(\tau)=F$:

- механические F_m (от давления, массы, сил инерции контактного взаимодействия и т.д.);
- тепловые F_t (от неравномерного распределения температур t и (или) неоднородности теплофизических свойств материалов);
- электромагнитные F_{em} (от воздействия электромагнитных полей).

Суммарные эксплуатационные нагрузки

$$F_{\tau} = F = \{F_m, F_{em}, F_t\} \quad (1)$$

создают соответствующие напряжения $\sigma=\sigma(\tau)$ и деформации $e=e(\tau)$:

$$\{a, e\} = \{(\sigma_m, e_m), (\sigma_{em}, e_{em}), (\sigma_t, e_t)\} = F(F(T))$$

$$\{\sigma, e\} = \{(\sigma_m, e_m), (\sigma_{em}, e_{em}), (\sigma_t, e_t)\} = F(F(\tau)) \quad (2)$$

При этом определяющими для последующих расчетно-экспериментальных оценок прочности, ресурса, надежности и безопасности принимаются следующие характеристики истории нагружения:

- максимальная расчетная нагрузка F_{\max} ;
- максимальная (или минимальная) расчетная температура t_{\max} (t_{\min});
- время заданного режима нагружения τ_i и общее время всех режимов и блоков режимов τ_{Σ} (временной ресурс).

По этой истории устанавливаются дополнительные расчетные параметры:

- размахи усилий ΔF и амплитуды усилий $F_a = \frac{\Delta F}{2}$;
- размахи температур Δt ;
- размахи усилий ΔF_B вибрационного (двух- или многочастотного) нагружения.

Из анализа всех i — режимов устанавливаются наиболее неблагоприятные сочетания F и t ; F_{\max} — t_{\max} для повышенных и высоких температур, а также F_{\max} — t_{\min} для низких и криогенных температур. Число таких сочетаний определяется с учетом числа и геометрических форм рассчитываемых деталей или элементов и числа опасных зон и сечений в них.

Комплекс базовых параметров, определяющих предельное состояние элементов технической системы, можно представить в виде функциональной зависимости:

$$\Phi_{N,t,\tau} \{ \{ \sigma, e \}, N, t, \tau \} = \Phi_c \quad (3)$$

Левая часть которой характеризуется совокупностью параметров (силовых, деформационных и др.) состояния технической системы, отражающих реакцию технической системы на внешние (в том числе аварийные воздействия), а правая — комплекс аналогичных, но критериальных характеристик материалов (элемента конструкции). Значение $\Phi_{N,t,\tau}$ в критериальных соотношениях устанавливают расчетом, а критериальные характеристики материала Φ_c определяют из эксперимента на образцах, моделях или натуральных элементах конструкций.

С учетом сказанного суммарные динамические нагрузки $F(\tau, N)$ создают соответствующие напряженно-деформированные состояния $\{ \sigma, e \}$, которые, в конечном счете, и определяют накопление эксплуатационных повреждений $d(\tau, N)$ по времени τ и числу циклов нагружения N при заданной температуре t . Накопленные повреждения являются функционалом напряжений, деформаций, времени, числа циклов и температур

$$d(\tau, N) = \Phi \{ \{ \sigma, e \}, \{ \tau, N \}_t \} \quad (4)$$

Характер нагружения технических систем — последовательность приложения нагрузок с различным уровнем возникающих напряжений в элементах, перегрузки, нестационарный характер нагружения системы влияют на

напряженно-деформированные состояния « $\sigma - \epsilon$ » и на величину накопленных повреждений $d(\tau, N)$ рис. 2.

При этом нужно учитывать, что при использовании различных методов полученные оценки могут быть консервативными или неконсервативными в зависимости от используемых законов суммирования повреждений, которые влияют на точность оценки уровня поврежденности элементов конструкции и, в конечном счете, на оценку вероятности и риска отказа, аварии или катастрофы.

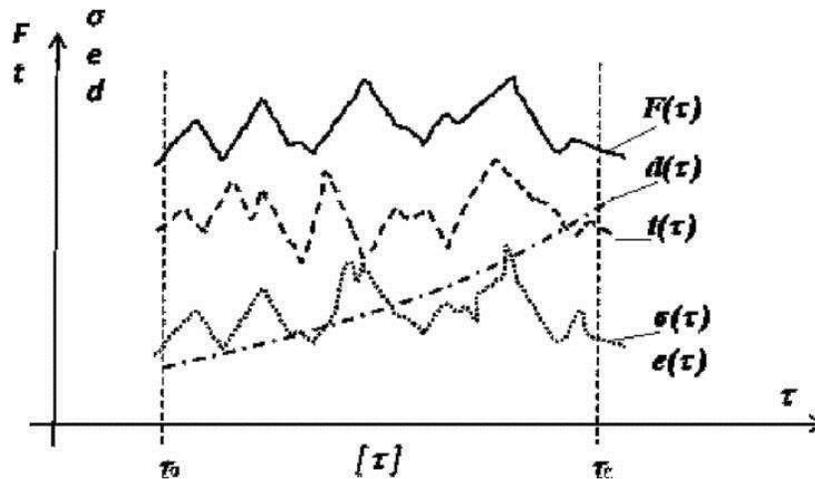


Рис. 2. Временные процессы эксплуатационного нагружения и накопления повреждений

В механике накопления повреждений под поврежденностью понимается сокращение упругого отклика тела вследствие сокращения эффективной площади, передающей внутренние усилия от одной части элемента конструкции к другой его части, обусловленного появлением и развитием рассеянного поля микродефектов (микротрещины, дислокации, микропоры, поверхностные микротрещины) [1].

Задание:

1. Получить данные у преподавателя.
2. Определить суммарные эксплуатационные нагрузки заданного технического объекта.
3. Построить карту временного процесса эксплуатационного нагружения и накопления повреждений.

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ И РАЗРУШЕНИЯ НА РАЗНЫХ МАСШТАБНЫХ УРОВНЯХ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЗМА ДОСТИЖЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ

Накопление повреждений и разрушение при $d_c = d(\tau_c, N_c)$ объекта, рассматриваемого в качестве сложной технической системы, представляет собой иерархически организованный процесс, который развивается по всей иерархии масштабов, начиная от наномасштабов, соизмеримых с межатомными расстояниями, вплоть до макроскопического масштаба, определяемого характерным размером исследуемого объекта. В настоящее время ключевое место занимает многоуровневый анализ, объединяющий группу микро-, мезо- и макромасштабов, отражающих наиболее значимые структурные элементы, ответственные за доминирующие механизмы реализации деградиационных процессов в материалах [2].

На основании моделей и подходов, разработанных в рамках физической механики, было показано, что для обеспечения адекватных качественных результатов моделирования процессов накопления повреждений и разрушения, а в ряде случаев и получения достаточно точных количественных оценок, явный одновременный учет всего множества масштабов является избыточным и для описания указанных процессов вполне достаточно четырех масштабных уровней:

1) системного уровня, описывающего возможные последовательности разрушения конструктивных элементов СТС, образующих последовательность разрушения системы в процессе эскалации аварии;

2) макроуровня, описывающего конструктивные элементы и условия их сопряжения с учетом макротрещин;

3) мезоуровня, на котором вводятся в рассмотрение наиболее значимые структурные элементы материала. Снизу мезоуровень задается минимальным объемом структурно-неоднородного материала, который можно наделить осредненными свойствами макрообъема. Для тела с трещиной мезоуровень определяется зернистостью материала в окрестности трещины;

4) микроуровня, который интегрально учитывает более мелкие масштабы. Для структурно неоднородных материалов микроуровень характеризуется размерами микрообъема (для поликристаллов — размерами зерна). В частности для тел с трещинами на микроуровне описывается конкретное строение и дефектность атомной решетки в окрестности микротрещины.

При этом уровни 2-4 являются локальными и в более простой постановке с учетом возможностей современных методов технической диагностики (металлография, дефектоскопия, дефектометрия) могут быть заменены одним локальным уровнем, описывающим процессы накопления повреждения и

разрушения на уровне отдельных элементов, при этом процессы, протекающие на мезо- и микроуровнях учитываются через механические характеристики конструкционных материалов.

Кроме того, необходимо отметить, что ввиду высокой неопределенности относительно интенсивности режимов эксплуатационного нагружения и структуры и механических свойств конструкционных материалов, а также геометрических параметров конструктивных элементов рассматриваемого объекта процесс накопления повреждений и разрушения должен анализироваться в вероятностной постановке [1,2].

В этой связи особую роль приобретают методы технической диагностики, позволяющие производить переоценку существующих априорных оценок.

Структурные элементы сложных технических систем в процессе эксплуатации подвергаются комбинированным воздействиям повреждающих факторов ϕ_k .

Вследствие их действия в наиболее нагруженных зонах могут быть реализованы различные механизмы формирования напряженно-деформированных состояний по формуле (2) и достижения локальных состояний по формуле (3) ЛПС_j ($i = 1, 2, \dots, m$) при переходе из начальных (НС) в конечные (КС) состояния. Эти предельные состояния в подпространстве состояний элементов $\psi^k (\psi^k \subset \psi^L)$ (рис. 2) образуют поверхность локальных предельных состояний [1]. В зависимости от свойств конструкционных материалов, размеров конструктивных элементов и характера режима нагружения катастрофический отклик с ущербом U системы на комбинированные воздействия силовых факторов и среды может иметь характер хрупкого, квазихрупкого и вязкого разрушения.

По времени τ , температурам t , числу циклов N и размерам дефектов l могут рассматриваться различные механизмы достижения предельных состояний (рис. 3).



Рис. 3. Механизмы достижения опасных и предельных состояний по деформационным критериям при однократном воздействии и N циклах нагружения

Механизмы разрушения при перегрузках (механизмы типа 1) в начальной стадии деформации ($\tau = \tau_0 = 0$) обусловлены экстремальными воздействиями, которые способны вызывать разрушение при малой исходной степени поврежденности материала. При рассмотрении механизмов достижения предельных состояний, обусловленных перегрузками, исходят из того, что в максимально нагруженном объеме достигается предельное состояние ($\sigma_{\max} = \sigma_c$; $e_{\max} = e_c$) в момент, когда нагрузка F окажется выше предельной несущей способности F_c : $F \geq F_c$. В такой постановке считается, что нагрузки интенсивностью ниже предельного уровня $F < F_c$, не оказывают необратимого влияния на систему (ее несущую способность). В этом случае разрушение трактуется как первый предельный выброс из области защищенных (допускаемых) состояний, а история эксплуатационного нагружения при $\tau < \tau_0$ при этом не учитывается.

Кумулятивные деградационные механизмы разрушения (усталость, износ, ползучесть, коррозия, эрозия) обусловлены непостоянством F и постепенным накоплением повреждений $d(\tau, N)$ материала.

В процессе эксплуатации системы происходит снижение предельной несущей способности F_c , и достижение локальных предельных состояний (механизмы типа 2), при которых разрушение наступает при проектных (ординарных) воздействиях на систему при $N = N_c$ ($\tau = \tau_c$ или $l = l_c$). В этом случае допускаемый циклический ресурс будет $[N]$. Накопление повреждений $d(\tau, N)$ может ускорить переход к предельному состоянию по линии 3 на рис. 3. При эксплуатации объектов на форсированных режимах с экстремальными перегрузками F_ϕ и деформациями $[e_\phi]$ возможна реализация сценария по линии 4.

Разрушение системы в процессе эксплуатации может происходить с форсированием нагружения, а также может сочетаться со снижением несущей способности вследствие накопления повреждений d_ϕ .

Комбинированные механизмы разрушения реализуются при сложных режимах нагружения, представляющих собой сочетание последовательных и/или параллельных нагружений по рис. 4.

В таких случаях траектория достижения поверхности предельных состояний в трехмерном пространстве « $e - N - t$ » может быть представлена в виде ломаной линии, состоящей из участков, соответствующих различным механизмам накопления повреждений $d(\tau, N)$ (воздействие нагрузок F , температур t и агрессивных сред). Эти повреждения в общем случае нелинейных процессов определяются локальными деформациями $e(\tau, N)$. Часть этих участков реализуется естественным образом в процессе эксплуатации системы, а другая часть обусловлена внешними экстремальными воздействиями, причем отдельные нагрузки подобного комбинированного режима нагружения являются проектными, а другие — запроектными (не учитываемыми при проведении

традиционных расчетов несущей способности, прочности, ресурса и безопасности, и приводящими к запроектным авариям СТС).

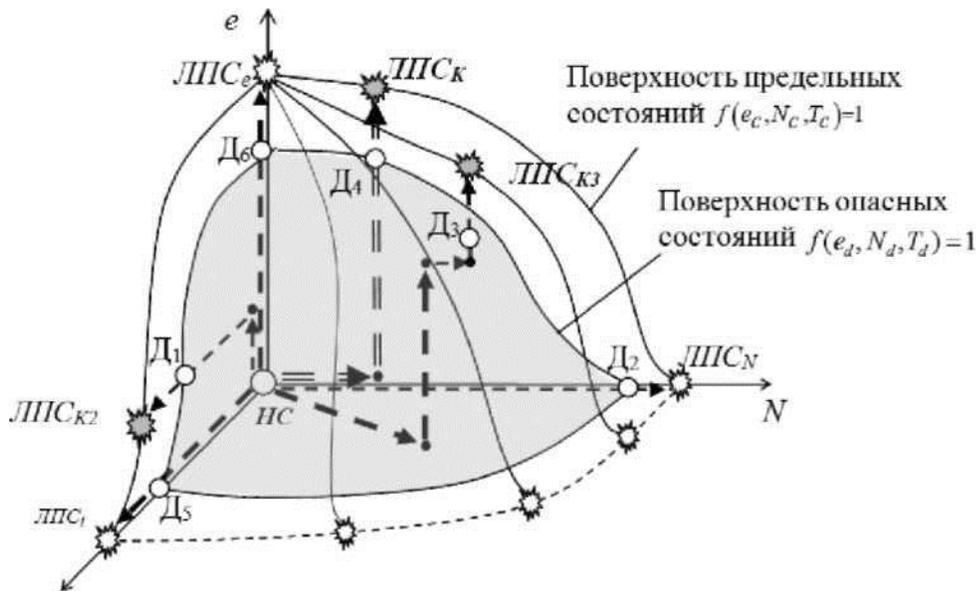


Рис. 4. Механизмы достижения предельных состояний (случай трехфакторного нагружения): НС-исходное состояние системы; ЛПС_e, ЛПС_N, ЛПС_t, - предельные состояния при однофакторном однократном статическом, циклическом и температурном нагружении; ЛПС_{K1}, ЛПС_{K2}, ЛПС_{K3} — предельные состояния при комплексных (многофакторных) режимах нагружения

В любом случае при различных режимах нагружения и механизмах достижения предельных состояний должны предусматриваться свои методы и системы технической диагностики, позволяющие идентифицировать достижение поверхности опасных состояний по рис. 3 и 4.

Задание:

1. Получить данные у преподавателя.
2. Определить механизм достижения опасных и предельных состояний по деформационным критериям для заданного технического объекта.
3. Сделать выводы.

Практическая работа № 4 МАТРИЧНЫЕ МЕТОДЫ ОПИСАНИЯ СЦЕНАРИЕВ АВАРИЙ В СТС

Развитие аварий и катастроф в технической системе — это сложный процесс, протекающий на различных иерархических (масштабных) уровнях. Как было отмечено ранее при современном уровне развития методов технической

диагностики могут быть выделены два масштабных уровня развития катастрофических сценариев разрушения СТС.

1. Локальный уровень (инициация катастрофы). Накопление повреждений и достижение локальных предельных состояний элементов СТС. Для своевременной идентификации локальных повреждений создаются системы штатной технической диагностики.

2. Системный уровень (эскалация катастрофы). Эскалация аварии, когда вслед за выходом из строя отдельных элементов системы происходит перераспределение нагрузок и запускается последовательность отказов других элементов при возрастающих нагрузках и, следовательно, увеличивающихся вероятностях разрушения продолжающих работать элементов.

Достижение элементом СТС локального предельного состояния, не означает обязательного и мгновенного разрушения (отказа) системы в целом (рис.2). Ввиду наличия альтернативных путей передачи нагрузки, резервирования и систем защиты, нагрузка, которая воспринималась разрушенным элементом, может быть перераспределена на оставшиеся элементы, что в свою очередь может инициировать последовательность отказов этих элементов. При этом достижение предельного состояния ЛПС_j элемента СТС является инициирующим событием, при котором происходит отклонение траектории системы от заданного сценария успеха S_0 , и «запуск» сценария отказа S_j , приводящего систему в поврежденные состояния KC_i ($i = 0, 1, 2, \dots, q$).

В такой постановке сложное вероятностное событие KC_i «достижение системой поврежденного конечного состояния KC_i » можно рассматривать как последовательность связанных между собой вероятностных событий:

(1) H_i — «реализация режима многофакторного нагружения H_i »;

(2) $\langle ЛПС_j | H_i \rangle$ — «достижение элементом системы локального предельного состояния $ЛПС_j$, при условии реализации режима многофакторного нагружения H_i »;

(3) $\langle KC_i | ЛПС_j, H_i \rangle$ «достижение системой конечного состояния KC_i при условии достижения локального повреждения $ЛПС_j$ и реализации режима нагружения H_i »

Тогда при проведении сценарного анализа могут использоваться матричные уравнения вида:

$$\underbrace{\begin{Bmatrix} P(KC_0) \\ P(KC_1) \\ \dots \\ P(KC_q) \end{Bmatrix}}_{\{KC\}} = \underbrace{\begin{bmatrix} P(KC_0 | ЛПС_1) & P(KC_0 | ЛПС_2) & \dots & P(KC_0 | ЛПС_m) \\ P(KC_1 | ЛПС_1) & P(KC_1 | ЛПС_2) & \dots & P(KC_1 | ЛПС_m) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P(KC_q | ЛПС_1) & P(KC_q | ЛПС_2) & \dots & P(KC_q | ЛПС_m) \end{bmatrix}}_{[V_s]} \times$$

$$\times \left(\underbrace{\begin{bmatrix} P[ЛПС_1 | H_1] & P[ЛПС_1 | H_2] & \dots & P[ЛПС_1 | H_n] \\ P[ЛПС_2 | H_1] & P[ЛПС_2 | H_2] & \dots & P[ЛПС_2 | H_n] \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P[ЛПС_m | H_1] & P[ЛПС_m | H_2] & \dots & P[ЛПС_m | H_n] \end{bmatrix}}_{[V_e]} \times \underbrace{\begin{Bmatrix} P(H_1) \\ P(H_2) \\ \dots \\ P(H_n) \end{Bmatrix}}_{\{H\}} \right),$$

где $\{V_s\}$ — матрица структурной (системной) уязвимости, компонентами которой являются условные вероятности достижения системой различных конечных состояний KC_i в случае достижения локальных предельных состояний $ЛПС_j$: $P[KC_i | ЛПС_j]$

Значения элементов матрицы структурной уязвимости в значительной мере зависят от эффективности работы систем аварийной диагностики, позволяющей инициировать системы аварийной остановки СТС в ходе реализации аварийных сценариев; $\{V_s\}$ — матрица локальных предельных состояний (матрица локальной уязвимости системы), компонентами которой являются условные вероятности достижения локальных предельных состояний $ЛПС_j$ при различных экстремальных воздействиях H_i ;

(характеризует этап деградации и накопления повреждений): $P[ЛПС_j | H_i]$.

Значения элементов матрицы локальной уязвимости могут быть существенно уменьшены путем введения систем штатной технической диагностики, позволяющих своевременно принимать обоснованные решения о проведении ремонтных работ или замене поврежденных элементов СТС; $\{H\}$ — вектор угроз, компонентами которого являются вероятности осуществления различных режимов нагружения системы $P(H_i)$ (экстремальные однократные воздействия, циклические нагрузки, температурные воздействия, воздействия агрессивных сред и т.д.).

Для учета нелинейных эффектов при комбинированном (многофакторном) воздействия вектор $\{H\}$ может включать дополнительные компоненты, отражающие синергетические эффекты.

Таким образом, матрица локальной уязвимости будет описывать сценарии техногенной аварии на этапе их инициации, а матрица структурной уязвимости будет представлять собой свертку этапов эскалации аварии для различных сценариев. Причем компоненты матрицы структурной уязвимости, соответствующие «быстрым» сценариям аварии, могут считаться равными 1 независимо от существующих систем защиты. Поэтому при обеспечении защищенности от «быстрых» аварий необходимо делать акцент на повышении защищенности на локальном уровне, например, путем задания больших запасов и/или снижения вариации нагрузок или механических свойств (снижения путем ужесточения требований по контролю режимов нагружения и свойств материалов).

Традиционно при анализе и обеспечении защищенности СТС акцент делается на изучении так называемых «медленных» сценариев аварий, для которых характерно наличие достаточно протяженного во времени этапа эскалации аварии, в течение которого могут быть задействованы системы штатной и аварийной диагностики и реализованы защитные мероприятия, направленные на локализацию аварии (рис. 5, сценарии S_{C1}^M и S_{C2}^M). В состав СТС включаются системы штатной и аварийной диагностики и системы защиты $C3_j$ ($j = 1, 2, \dots, h$), направленные на то, чтобы парировать неблагоприятные сценарии развития событий на ранних стадиях эскалации аварии, не допустить катастрофических разрушений и обеспечить «приход» системы в область допустимых конечных состояний $[\delta_{КС}]$.

Кроме того для предотвращения катастрофических сценариев при проектировании СТС предусматриваются также системы дублирования и резервирования, которые позволяют СТС перераспределить нагрузки и продолжить выполнение своих функций после возникновения локальных повреждений.

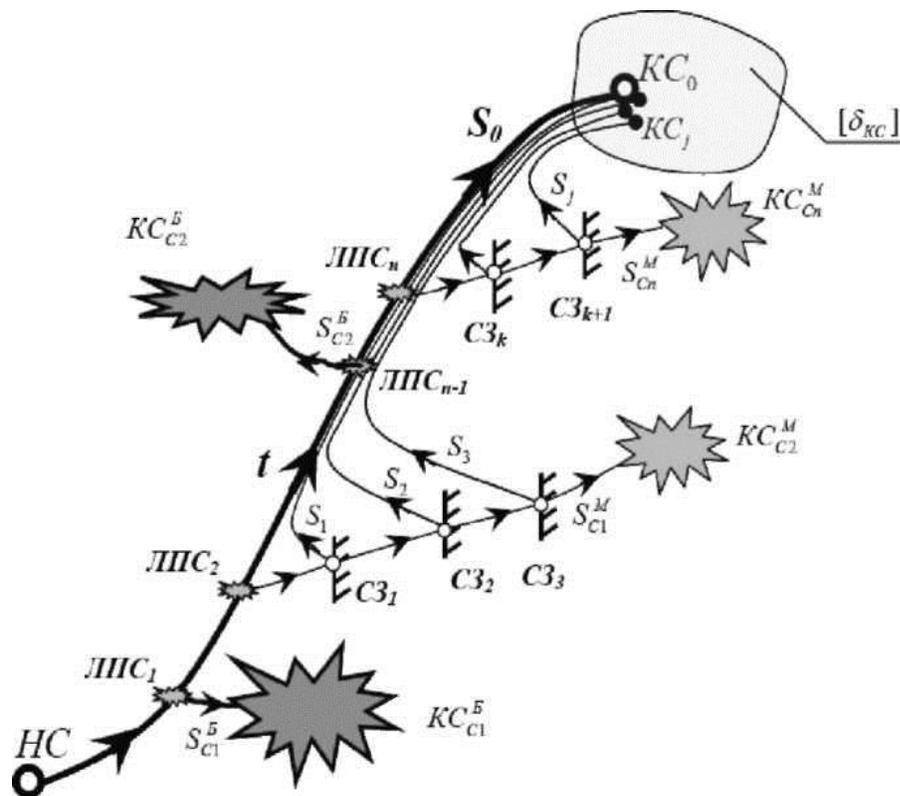


Рис. 5. Сценарное дерево СТС, содержащее сценарии медленных (S_{C1}^M и S_{C2}^M) и быстрых ($S_{C1}^Б$ и $S_{C2}^Б$) катастроф

Вместе с тем, возможны и принципиально иные сценарии достижения катастрофических состояний СТС. Эти сценарии связаны с процессами накопления повреждений и деградации основных механических свойств в критических элементах СТС (роторах турбин, лопатках турбонасосных агрегатов и т.д.). При этом в процессе эксплуатации СТС могут возникать ситуации, связанные с экстремальными воздействиями или серьезными ошибками операторов, когда ресурс этих критических элементов будет исчерпываться очень быстро (по сравнению со временем, необходимым для срабатывания систем штатной технической диагностики и защиты), что приводит к тяжелой катастрофе. Эти сценарии, получившие условное название «быстрых», поскольку для них характерно: (а) достижение предельных состояний в течение одного цикла нагружения при невозможности срабатывания систем штатной технической диагностики и (б) отсутствие протяженного во времени этапа эскалации катастрофы, могут быть представлены на сценарном дереве как короткие ветви, ведущие непосредственно к катастрофе «в обход» или «сквозь» не успевшие быть активированными защитные барьеры. Опыт крупных техногенных аварий, таких как авария на Саяно-Шушенской ГЭС (когда этап инициации длился порядка 30 лет, а этап эскалации аварии продолжался всего лишь 6-7 секунд, в течение

которых и произошло катастрофическое разрушение), свидетельствует о том, что многие тяжелые катастрофы развиваются именно по «быстрым» сценариям (рис. 5, сценарии S_{C1}^B и S_{C2}^B). Поэтому эти сценарии требуют детального рассмотрения и учета на локальном уровне их реализации, что предполагает совершенствование методов и процедур штатной технической диагностики.

Наличие сценариев быстрых катастроф обуславливает необходимость детального рассмотрения этапа инициации катастроф и разработки системы защитных мероприятий, направленных на предотвращение достижения локальных предельных состояний критических элементов СТС.

Задание:

1. Получить данные у преподавателя.
2. Построить матрицу для описания сценариев аварий в СТС для заданного технического объекта.
3. Сделать выводы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дубов, А. А. Оценка остаточного ресурса газонефтепроводов на основе современных методов технической диагностики // А. А. Дубов, А. М. Гнеушев, И. И. Велиюлин. Газовая промышленность. 2005. №2. С.76-78.
2. Власов, В.Т. Физические основы метода магнитной памяти металла/ В.Т. Власов, А. А. Дубов, М.: ЗАО «Тиссо», 2004. 424 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Практическая работа № 1. СЦЕНАРНЫЙ АНАЛИЗ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ.....	3
Практическая работа № 2. КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ИСТОРИИ НАГРУЖЕНИЯ И НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННЫХ СОСТОЯНИЙ.....	5
Практическая работа № 3. АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ И РАЗРУШЕНИЯ НА РАЗНЫХ МАСШТАБНЫХ УРОВНЯХ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЗМА ДОСТИЖЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ.....	9
Практическая работа № 4. МАТРИЧНЫЕ МЕТОДЫ ОПИСАНИЯ СЦЕНАРИЕВ АВАРИЙ В СТС.....	12
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	17

ДИАГНОСТИКА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению практических работ
для студентов направления 15.04.01 «Машиностроение»,
(программа магистерской подготовки «Обеспечение
качественно-точностных характеристик при изготовлении изделий
в автоматизированном машиностроительном производстве»)
всех форм обучения

Составители:

Жачкин Сергей Юрьевич
Краснова Марина Николаевна

В авторской редакции

Компьютерный набор Е.Д. Зотовой

Подписано к изданию 22.09.2021.

Уч.-изд. л. 1,1

ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический университет"
394026 Воронеж, Московский просп., 14