

НЕОБХОДИМЫЙ ЭТАП ПЕРЕХОДА

От расчетов деталей - к ресурсной механике машин

Ресурсные свойства присущи всем материальным объектам. Вместе с тем вопросы ресурса механических систем получили развитие и научное оформление сравнительно недавно.

С возникновением теории надежности вопрос расчета ресурса систем стал формулироваться в явном виде. Однако чисто математические подходы, основанные на перемножении вероятности безотказной работы отдельных элементов, оказались непригодными. В рамках так называемого физического направления теории надежности рассматривается подход нагрузка - ресурс конструкции с учетом возможных вариаций нагрузок и свойств материалов. Такая схема в наибольшей степени пригодна для строительных конструкций, сооружений. Для механических систем, содержащих много элементов, которые имеют, в общем случае, различные источники и факторы нагружения, подобноного подхода недостаточно.

Поэтому предметом **ресурсной механики машин (РММ)** являются ресурсные свойства не только отдельных элементов (предельных состояний деталей), но и механических систем в целом. К главной проблематике этого направления относится создание ресурсной теории нагруженной сборочной единицы (СЕ) машины.

Основным положением ресурсной механики, отличающим ее от других научных направлений, является принцип ресурсно-зависимого поведения элементов в нагруженной механической системе. Иначе говоря, ресурсы различных деталей по их возможному предельному состоянию связаны из-за общих внешних и внутренних факторов, которые действуют в машинах и механизмах.

К методам РММ относится имитационное моделирование, поскольку учет ряда зависимостей элементов без имитации их поведения невозможен. Однако, чисто имитационным (микро) уровнем обойтись нереально из-за большой размерности систем. Наряду с имитацией присутствуют макроуровневые подходы, основанные на численных методах и аналитических зависимостях.

Модели, используемые в РММ, имеют более широкий характер, чем

В. АЛЬГИН,
доктор технических наук



схема «нагрузка-прочность» или «нагрузка-ресурс». Они охватывают рабочие процессы машин и агрегатов, процессы повреждения и предельные состояния деталей, логику отказов деталей, агрегатов, машины в целом. Их можно охарактеризовать как механикологические. Логическая часть включает положения, описывающие наступление предельных состояний машины в зависимости от предельных состояний агрегатов, агрегатов (в зависимости от деталей, деталей (в зависимости от предельных состояний их конструктивных элементов. Структура моделей направлена на согласование процессов и параметров, определяющих ресурс системы в целом.

Сравнение традиционного подхода «Деталей машин», и ресурсной механики при обеспечении работоспособности машин приведено в таблице. Особенности РММ состоят в следующем.

В круг центральных задач РММ входит задача ресурсного проектирования СЕ: выбор размеров конструктивных элементов, удовлетворяющих требованиям ресурса сборочной единицы в целом. Размеры и инерционные параметры указанных элементов существенно определяют динамику системы, которая в большинстве случаев вносит преобладающий вклад в нагруженность элементов механических систем. Для построения расчетных схем и автоматизации решения задач динамики целесообразно использовать концепцию регулярной динамической схемы.

Одна из разработанных методических схем РММ предполагает определенный стандартный интерфейс для встраивания результатов расчетов

элементов в общую процедуру расчета СЕ. Ресурсная форма расчетов (требование данного интерфейса).

В практических расчетах можно использовать дискретный набор характерных типовых условий. Для вероятностного описания условий эксплуатации предлагается следующий формализм. Выделяются типовые условия. По каждому из них задается относительная продолжительность. Относительная продолжительность описывается случайной величиной, в первом приближении, нормальной. Для каждого условия эксплуатации задается среднее значение и характеристика рассеяния относительной продолжительности. Последний параметр является новым в системе ресурсных расчетов. По нему нет пока надежной статистики. Но этот параметр необходим для корректной постановки и решения ресурсных задач. В первом приближении характеристика рассеяния в виде среднего квадратического отклонения относительной продолжительности могут задаваться на основе экспертных оценок.

Наличие оператора (водителя) - особенность машин, отличающая их от чисто физических (механических) конструкций с объективно независимым поведением.

Для мобильный техники проблема исследования и обеспечения ресурсных свойств усложняется в связи с более сложными составляющими системы оператор - мобильный объект - среда, в рамках которой необходимо рассматривать проявление ресурсных свойств.

Среда, в которой эксплуатируются мобильные машины, разнообразна. Использование мобильных машин в отдельных стабилизированных условиях представляет скорее исключение, чем правило. В общем случае для мобильных машин характерна нерегулярность и случайность применения; каждая машина имеет индивидуальный спектр применения, который корректируется в процессе всего ее жизненного цикла.

Оператор мобильной машины из-за особенностей среды и состояния машины вынужден действовать разнообразно и в определенной степени случайно, что привносит дополни-

тельное разнообразие в режимы использования машины (то есть режим обусловлен не только средой, но и действиями оператора).

Расчетные оценки, практика эксплуатации машин, особенно мобильных, показывают, что необходимо признать существенность вклада действий оператора в истощение ресурса многих типов СЕ. Вариация этих действий проявляется в виде случайного выбора начальных условий для динамических процессов. Эти факторы должны быть введены в динамические и ресурсные расчеты.

Обоснование многоуровневой схемы, обеспечивающей корректный прогноз ресурса системы, является принципиальным положением ресурсной методологии. Знания значений ресурса и соответствующих ему вероятностей безотказной работы (ВБР) отдельных элементов недостаточно для определения ВБР системы в целом. Более того, если расчет доведен до значений ВБР элементов, то он оказывается бесполезным с точки зрения расчета системы в целом.

Многоуровневость определяется следующими соображениями.

Во-первых, расчет должен быть построен, начиная с самого общего для элементов фактора - условий эксплуатации машины. Он должен включать на исходном уровне модели условий эксплуатации, водителя и машины. Промежуточные уровни образуются моделями режима работы, нагруженности, повреждения и предельных состояний элементов. Завершает иерархию моделей логическая схема предельных состояний деталей, агрегатов и машины в целом.

Во-вторых, многоуровневая схема необходима, чтобы получить возможность для воспроизведения связей элементов, которые приводят к эффектам ресурсно-согласованного поведения элементов в СЕ.

Основным структурным элементом в технике является сборочная единица. Именно на уровне сборочной единицы проявляются эффекты функциональной интеграции элементов. Функциональная согласованность составных частей сборочной единицы организуется при проектировании объекта для выполнения определенных функций. Менее очевидны эффекты ресурсной согласованности.

Ресурсная согласованность бывает двух видов. Первая, подобно функциональной согласованности, должна быть заведомо обеспечена при

проектировании сборочной единицы машины (СЕМ) как объекта с требуемыми не только функциональными, но и ресурсными свойствами. Вторая - неизбежные эффекты ресурсно-зависимого поведения элементов, организованных в конкретный машиностроительный объект. Указанные эффекты можно классифицировать следующим образом: проявляющиеся при функционировании или обусловленные предысторией СЕМ; связанные с действием внешних или внутренних факторов; накладываемые доминирующим (подчиняющим) фактором или вызванные круговыми связями; основанные на квазидетерминированных или вероятностных зависимостях; глобальные или уникальные.

В качестве примера можно привести эффект общего уровня нагруженности элементов в СЕМ, который проявляется при функционировании, связан с действием внешнего фактора (например, момента двигателя или сил основных технологических сопротивлений машины), основан на квазидетерминированной связи, имеет глобальный характер (то есть присущ всем СЕМ). Уже одного этого эффекта достаточно, чтобы объяснить некорректность перемножения вероятностей безотказной работы (ВБР) отдельных элементов при попытке прогнозировать ВБР системы, которой является сборочная единица машин массового выпуска.

Одна из разработанных схем ресурсного расчета механической системы показана на рисунке.

Прогнозирование ресурса включает три этапа:

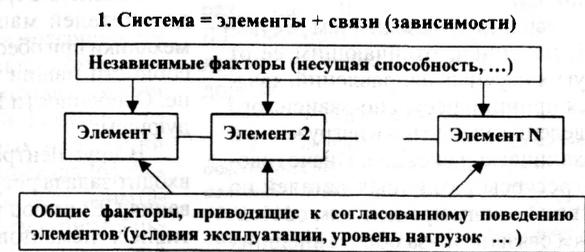
- 1 этап - выделяется анализируемый объект в виде системы со многими взаимодействующими элементами. Вариацию ус-

ловий эксплуатации объекта представляют в виде набора типовых условий и их относительных продолжительностей. Последние описываются нормально распределенными случайными величинами. У каждой машины относительные продолжительности индивидуальны, но их сумма равна единице. При статистическом моделировании характеристики исходных и скорректированных по общей сумме величин отличаются. Это требует предварительного подбора параметров распределений. Необходима также процедура согласования в каждом цикле статистического моделирования.

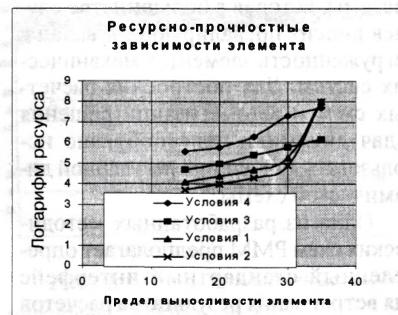
II этап - строятся ресурсно-прочностные зависимости, каждая из которых представляет собой зависимость ресурса от параметра несущей способности элемента в определенных условиях эксплуатации. Эти зависимости могут быть графическими или аналитическими. Например, для распространенных случаев усталостных отказов элементов трансмиссии в качестве характеристик несущей способности используются пределы выносливости по изгибу и контакту зубьев зубчатых колес (графические зависимости) и динамическая грузоподъемность подшипников качения (аналитическая зависимость).

III этап - имитационное моделирование комбинаций относительной продолжительности условий эксплуатации и частных ресурсов элементов в этих условиях. В каждом цикле действует общий

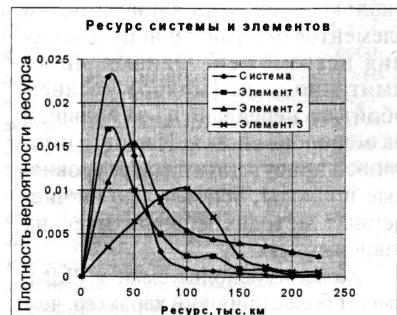
ПРОГНОЗ РЕСУРСА МНОГОЭЛЕМЕНТНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ



2. Построение ресурсно-прочностных зависимостей элементов — промежуточный этап



3. Имитационное моделирование ресурса элементов и системы — заключительный этап



фактор - определенные условия эксплуатации для всех моделируемых элементов, что позволяет исходя из ресурсов элементов и логической схемы предельных состояний определять ресурс системы, а по завершении всех циклов моделирования - распределения ресурса системы и ресурсов отдельных элементов. На основе этих распределений определяются искомые показатели ресурса (гамма-процентный, средний и другие).

В настоящее время методы ресурсной механики машин наиболее полно реализуются в Научном центре проблем механики машин (НЦ ПММ) НАН Беларуси. На основе этих методов в компьютерном центре при НЦ ПММ разрабатываются соответствующие информационные технологии. НЦ ПММ проводит работу по перестройке расчетов, выполняемых специалистами организаций и предприятий республики при проектировании машин, на ресурсную форму. Это является необходимым этапом перехода к широкому применению ресурсных расчетов машиностроительных систем. Подготовка специалистов в области РММ позволит внедрить в расчетную практику самые современные методы ресурсного обеспечения машин при проектировании.

Сравнение подходов к расчету и проектированию машин

Традиционный подход	Подход ресурсной механики
1. Выбор размеров конструктивных элементов (типоразмеров комплектующих) при проектировании	
Проектный расчет размеров конструктивного элемента на основе приближенных, эмпирических зависимостей	Последовательное приближение - многошаговая процедура, включающая прогноз ресурса механической системы в целом
2. Расчет элементов	
Расчет напряженного состояния элемента (расчетные напряжения, нагрузки)	Расчет ресурса (ресурсная форма моделей предельных состояний элементов)
Оценка работоспособности (коэффициенты запаса по долговечности, прочности)	Вероятностный расчет (вероятностный расчет ресурса по постепенным и внезапным отказам)
Расчет по схеме: нагрузка - прочность	Расчет по схеме: условия эксплуатации - ресурс; получение данных для ресурсно-прочностных зависимостей
3. Условия эксплуатации (отчетливое представление об условиях эксплуатации парка машин - основа проектирования)	
Характерные нагрузки, кривые распределения нагрузок в стабилизированных условиях эксплуатации, обобщенные нагрузочные режимы	Вариация общих условий эксплуатации (имитационная модель продолжительности работы машин в отдельных регламентированных условиях эксплуатации)
4. Оператор	
Косвенный учет действий оператора в общем уровне коэффициента внешних динамических нагрузок	Комплекс параметров, описывающих действия оператора по выбору режима работы машины и условий смены режимов (реализационное рассеяние условий эксплуатации) Решение динамических задач
5. Расчет ресурса системы (фундаментальность проблемы - учет зависимого поведения элементов в системе)	
Формула структурной теории надежности: $P = PP_i$ и другие типа $P = (1-a_j)PP_i + a_n$ основанные на информации о надежности отдельно рассматриваемых элементов	Многоуровневая схема, воспроизводящая процессы, обуславливающие поведение элементов, начиная с уровня условий эксплуатации машин Методики расчета, учитывающие организованное поведение элементов в системе

И ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Локальная компьютерная сеть НЦ ПММ:

история создания, современное состояние, перспективы развития

Широкое внедрение компьютерных технологий в практику научных исследований неизбежно приводит к необходимости создания в рамках учреждений локальных сетей с последующим их объединением в более крупные сети и подключением к ИНТЕРНЕТ и электронной почте.

Первая попытка создания компьютерной сети НЦ ПММ была предпринята на закате эры «административно-командной системы управления» в период очередной кампании внедрения передовых технологий в практику научных исследований и, одновременно, с открытием в НЦ ПММ узла ИНТЕРНЕТ. Име-

В.Н. СТУКАЧЕВ, В.П. ЗАГОРСКИЙ



лось несколько независимых компьютеров, в среднем по одному на подразделение НЦ ПММ. Сеть, объединившая некоторые из них, создавалась силами внешних организаций, но вскоре после начала эксп-

луатации прекратила свое существование и была демонтирована, так как каждое подразделение решало свои специфические задачи без необходимости обмена информацией с другими; отсутствовали технические средства коллективного пользования доступные из сети (общие принтеры, факсы, файл-серверы и т.п.); не было ни одного программного приложения на компьютерах НЦ ПММ, ориентированного на работу в рамках сети, например, реализующего технологию клиент-сервер или использующего сетевой вариант установки; отсутствовал обслуживающий персонал, который мог бы оперативно устранять неизбежно возникаю-