

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет»,



Корняков М.В.

2020 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет» на диссертационную работу *Филипповой Юлии Федоровны* по теме **«ОЦЕНКА ЖИВУЧЕСТИ ПОВРЕЖДАЕМЫХ СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ»** по специальности 01.02.06 – «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры» на соискание учёной степени кандидата технических наук.

1. Актуальность темы работы

Стержневые конструкции широко используются в различных направлениях технической деятельности человечества а их проектирование и оценка состояния сопровождаются обилием расчетного и нормативного материала, обоснованного длительным развитием теоретических методов и экспериментальных апробаций. Однако изменение и усложнение условий эксплуатации, а также требований, предъявляемых к функциональным свойствам конструкций различного рода, ставят новые задачи их проектирования и анализа. Одно из направлений задач такого рода формулируется понятием живучести конструкции, появившимся сравнительно недавно и требующим разносторонних исследований и обобщений, вне рамок отдельных нормативных положений, и существующих методов расчетов.

Актуальность таких исследований, проведенных в рамках представленной работы, определяется насущной необходимостью формализовать свойства живучести стержневых конструкций в условиях существования дефектов с целью прогнозирования их дальнейшего поведения.

Цель диссертационной работы, сформулированная как разработка технологий оценки живучести поврежденных стержневых конструкций особо актуальна в условиях необходимости оценки степени риска эксплуатации конструкций, подвергнутых воздействиям техногенного или природного характера, не предусмотренного нормативными условиями. Актуальность решения проблем такого рода наглядно продемонстрирована ситуациями массовых повреждений строительных конструкций в процессе паводковых воздействий на территории Сибири и дальнего Востока.

2. Структура и содержание работы

Поставленная цель диссертационной работы реализована решением ряда логически связанных задач исследования заканчивающихся разработкой и практической апробацией показателей и методики анализа живучести стержневых конструкций.

Диссертационная работа состоит из введения, 4-х глав, основных выводов, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы (242 источника) и 3-х приложений. Работа изложена на 183 страницах, включая 80 рисунков и 13 таблиц.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, цель и задачи исследования, сформулированы научная новизна, практическая значимость полученных результатов, основные положения, выносимые на защиту.

В **первом разделе** анализируются особенности строительных сооружений стержневого типа. Рассматриваются случаи крупных аварий, а также статистика катастрофических разрушений стержневых конструкций на примере мачтовых и башенных сооружений. Подчеркивается наблюдающийся во многих случаях каскадный, многоэтапный характер развития повреждений и разрушения. Выполнен обзор исследований и задач анализа живучести стержневых конструкций. Отмечается большое разнообразие подходов к количественному оцениванию живучести, основанных на учете величин риска (ущерба), связности и избыточности поврежденных конструкций, и других характеристик. Показано устоявшееся преобладание понятия живучести как степени чувствительности объекта к локальным повреждениям в процессе накопления дефектов.

Проведенный всесторонний анализ состояния вопроса позволил автору убедительно продемонстрировать, что используемые показатели живучести не учитывают системных особенностей конкретных классов технических объектов и, как следствие, не позволяют анализировать все аспекты живучести в связи с конструктивной формой объекта. Отмечается отсутствие регламентов практического применения показателей живучести: и отсутствия ясности в учете неблагоприятных факторов и событий, или их последовательности (сценариев), вызываемых ими повреждений и разрушений, алгоритмов получения количественных оценок.

Во **втором разделе** проводится анализ напряженно-деформированного состояния повреждаемых стержневых конструкций, обоснован состав алгоритмов, необходимых для использования в вычислительных моделях живучести. Показано, что кроме анализа напряженно-деформированного упругого состояния (НДС) сооружения неизбежен анализ физико-технических эффектов развития повреждений в условиях превышения нормативных нагрузок, включающих вычислительную модель контактного взаимодействия, вычислительную модель потери устойчивости, а также вычислительную модель упругопластического деформирования.

Использование рассматриваемых вычислительных модулей позволяет в достаточной мере адекватно сформировать различные модели формирования дефектов.

При этом исследуются три возможных варианта практической технологии моделирования разрушения стержней.

Учет импульсных эффектов при разрушении стержневых элементов реализован по методике Г.А. Гениева, рассматривающей условия постоянства полной удельной энергии при возможной потери внутренней связи.

Для получения оценок НДС повреждаемых структурно-сложных стержневых конструкций предложена и апробирована инженерная методика, основанная на использовании численных методов при изменении расчетной модели при последовательном изменении ее в соответствии с выбранным сценарием разрушения.

В зависимости от особенностей постановки задачи анализа живучести предложено использовать различные сочетания технологий моделирования разрушения структурных

элементов и анализа НДС. Показано, что решение модельных задач по анализу НДС повреждаемой пространственной стержневой конструкции со сравнительным анализом результатов, целесообразны результаты анализа переходных процессов с моделированием разрушения с применением технологии РСЭ.

В третьем разделе предложены и апробированы количественные показатели, критерии, методики оценки структурной живучести стержневых конструкций в связи с их функциональным назначением. В качестве степени поврежденности рассматривается количество разрушенных элементов (связей). Далее в разделе предложена *методика оценки структурной живучести*, основанная на анализе назначения конструкции, ее функциональных характеристик, анализ структуры, сценария разрушения, формулировки критериев и показателей живучести

Рассмотрены *показатели и критерии структурной живучести силовых стержневых конструкций*, сформулированные в терминах напряженного состояния и запасов прочности.

Для оценки *структурной живучести систем стержневого типа при динамических процессах* автором используются величины спектра собственных колебаний в натуральных относительных величинах.

В качестве практического объекта анализа живучести рассмотрен металлокомпозитный бак высокого давления электрореактивных двигательных установок космических аппаратов, предназначенный для хранения рабочего тела (ксенона).

В результате анализа сделан вывод о малой чувствительности низшей частоты собственных колебаний к накоплению повреждений в виде разрушений отдельных структурных элементов по одному из сценариев. Проведенные расчеты по другим сценариям позволили сделать выбор сценария по параметрам чувствительности низшей частоты собственных колебаний.

Далее рассмотрены *показатели и критерии структурной живучести прецизионных конструкций стержневого типа* на примере рефлектора параболической антенны наземных систем спутниковой связи. В качестве критериев живучести предлагается рассматривать условия непревышения текущими значениями, параметров прецизионности поврежденной конструкции их критических величин

В результате статического анализа НДС неповрежденной конструкции установлено, что наиболее нагруженными являются стержни каркаса в приступичной области, в связи с этим сформулированы три сценария последовательного повреждения стержней.

Установлено, что повреждения стержней нижнего яруса каркаса в приступичной области вносят наибольший вклад в снижение работоспособности прецизионной конструкции, а повреждения стержней нижнего яруса каркаса, непосредственно соединенных с опорной частью ступицы, вносят наименьший вклад в снижение работоспособности прецизионной конструкции.

Четвертый раздел посвящен оценке живучести повреждаемых структурно-сложных узлов сочленения стержневых элементов. Предложена методика анализа живучести включающая в себя формализованную последовательность процессов, позволяющая в полной мере осуществить оценку живучести повреждаемых структурно-сложных узлов сочленения стержневых элементов. Рассмотрены потенциально возможные варианты исхода реализации сценариев накопления повреждений, отражающие различные последовательности

накопления дефектов, предложено ранжирование реализации сценариев, вносящее возможность количественной оценки процессов.

Заключение диссертации содержит шесть пунктов последовательно и логично отображающих поставленные задачи.

В **приложения** вынесены структурно-логические схемы сценариев аварийных разрушений стержневых конструкций, сценарии накопления повреждений в узлах сочленения, акты о внедрении результатов исследования.

3. Научная новизна работы заключается в том, что предложены показатели, критерии и методики количественной оценки структурной живучести стержневых конструкций, отличающиеся расширенным учетом их функционального назначения (обеспечение несущей способности, частотного спектра свободных колебаний, формостабильности) в составе технического объекта; введены ранговые показатели и разработана методика анализа живучести повреждаемых структурно-сложных узлов сочленения стержневых элементов, отличающиеся тем, что основаны на определении и расчетно-экспериментальном исследовании множества возможных сценариев накопления повреждений.

4. Практическая и научная значимость работы заключается в том, что созданы предпосылки и работающий инструментарий для изучения свойств конструкции в поврежденном состоянии на ранних стадиях ее жизненного цикла, обоснованы, разработаны, апробированы технологии анализа живучести, которые могут быть применены к произвольным стержневым конструкциям независимо от их отраслевой принадлежности; получены количественные оценки живучести стержневых конструкций ряда перспективных технических объектов (крупногабаритных прецизионных антенн наземных систем спутниковой связи, колебательной системы ксенонового бака высокого давления электрореактивного двигателя космического аппарата).

5. Личный вклад автора заключается в постановке (совместно с научным руководителем) и реализации цели и задач исследования, сборе и анализе данных по авариям стержневых конструкций, разработке технологий и проведении исследований напряженно-деформированного состояния и живучести, обработке и анализе результатов.

6. Обоснованность и достоверность полученных результатов обеспечивается сбором и анализом фактических данных по разрушениям и авариям стержневых конструкций, применением теоретически обоснованных и практически априорированных моделей и методов механики деформируемого твердого тела, алгоритмического и программного обеспечения конечно-элементного анализа, проведением детальных экспериментальных исследований повреждений структурных элементов и узлов сочленения стержневых конструкций.

7. Содержание диссертационной работы соответствует специальности 01.02.06 – «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

8. Недостатки работы: В автореферате отсутствуют выводы по разделам диссертации, что в некоторой степени затрудняет обзор материала, хотя и не вносит искажений в отображении диссертации.

На стр. 47 (раздел 2.3) на этапе формирования разрушения предлагается процедура разрезания стержня. Не пояснено, каким изменениям подвергается стержень на участке рассечения? Это обстоятельство определяет обоснованность введения малого модуля Юнга.

9. Содержание автореферата полностью отражает содержание диссертации, противоречия и искажения материалов диссертации отсутствуют.

8. Заключение

Рассмотренная диссертация представляет собой завершенную научно-исследовательскую работу и соответствует требованиям п.п. 9,10 «Положения ВАК о порядке присуждения ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842) в части, касающейся ученой степени кандидата наук, а ее автор, Филиппова Юлия Федоровна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация и отзыв рассмотрены, а отзыв утверждён на заседании кафедры «Механика и сопротивление материалов» ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет» от «28» апреля 2020 г., протокол № 12.

Заведующий кафедрой

«Механика и сопротивление материалов» д.т.н,
профессор Дмитриева Татьяна Львовна
«28» апреля 2020 г.

Секретарь кафедры, к.т.н , доцент
Дорофеева Наталья Леонидовна
«28» апреля 2020 г.

Исполнитель:

Соболев Владимир Иванович,

д.т.н., профессор кафедры

«Механика и сопротивление материалов»

«28» апреля 2020 г.

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет»

664074, Иркутская область, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 83

Тел.: (3952) 40-54-05; факс: (3952) 405-100; e-mail: info@istu.edu