

Требования к прогнозным моделям накопления повреждений стержневых систем

Буйницкая Юлия Федоровна
СКТБ "Наука" КНЦ СО РАН (Красноярск), Россия
e-mail: julfila@rambler.ru

Стержневые системы являются неотъемлемой составной частью машин и оборудования объектов техносферы. Свойства этих систем в поврежденном состоянии слабо изучены, в результате чего высока опасность непрогнозируемого их поведения, приводящего к тяжелым авариям и техногенным катастрофам. Установление источников потенциальной опасности разрушения стержневых систем, их нейтрализация и снижение рисков аварий и катастроф объектов техносферы наиболее эффективно с использованием прогнозных моделей накопления повреждений стержневых систем на базе распределенных информационно-вычислительных ресурсов.

В настоящее время приобретен опыт анализа стержневых систем карьерных экскаваторов, антенно-мачтовых сооружений, каркасов телекоммуникационных контейнеров.

Многовариантный анализ напряженно-деформированного состояния позволил сформулировать четыре фактора формирования системных свойств стержневых конструкций: 1) свойства элементов, 2) свойства опор, 3) свойства соединений и 4) конструктивная схема. Для этих факторов с позиций строительной механики были отобраны характерные значения (к примеру: шарнирные/жесткие соединения, плоские/пространственные системы, статически определимые/неопределимые системы и т.д.). Вместе с тем, такой вариант организации знаний о свойствах стержневых конструкций не позволяет оценить их поведение в случае дефектов, повреждений, запроектных нагрузок природного и техногенного характера. В связи с этим рассматривается общая проблема разработка прогнозных моделей накопления повреждений стержневых конструкций. Методический подход основан на совместном использовании моделей дефектов и повреждений, причинно-следственных связей живучести и поврежденности и алгоритмов их прогнозирования на базе систем мониторинга технического состояния (рис. 1).

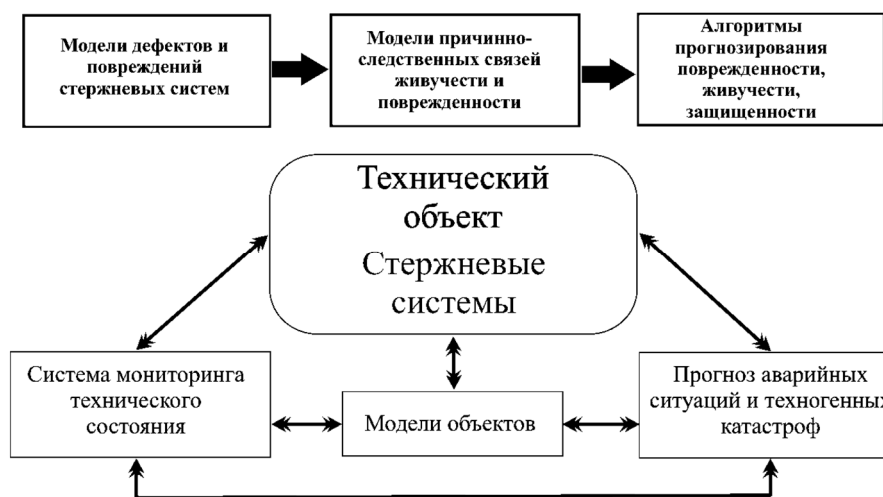


Рис. 1 – Разработка прогнозных моделей накопления повреждений стержневых систем

Разрабатываемые информационные модели стержневых конструкций являются начальным этапом развития этого методического подхода.

Предполагается построение двухуровневой информационной модели, учитывающей все факторы, определяющие свойства стержневой конструкции. *Первый* уровень предполагает разработку информационных моделей соединений стержней, *второй* – моделей структур, учитывающих связи и взаимодействие стержневых элементов.

Описание соединений элементов выполняется с использованием параметрических моделей (рис. 2а), позволяющих сгенерировать твердотельные модели заданных конфигураций в любой системе инженерного проектирования и анализа.

На этом уровне рассматривается возможность введения в модель повреждения (рис. 2в) и анализа реакций на границах соединения в связи с наличием дефекта (рис. 2г). Таким образом, в общем случае пространственной стержневой конструкции на границе узла сочленения с конструкцией возникает 6 силовых факторов (рис. 2б), которые зависят от степени поврежденности, и эта зависимость и является предметом анализа.

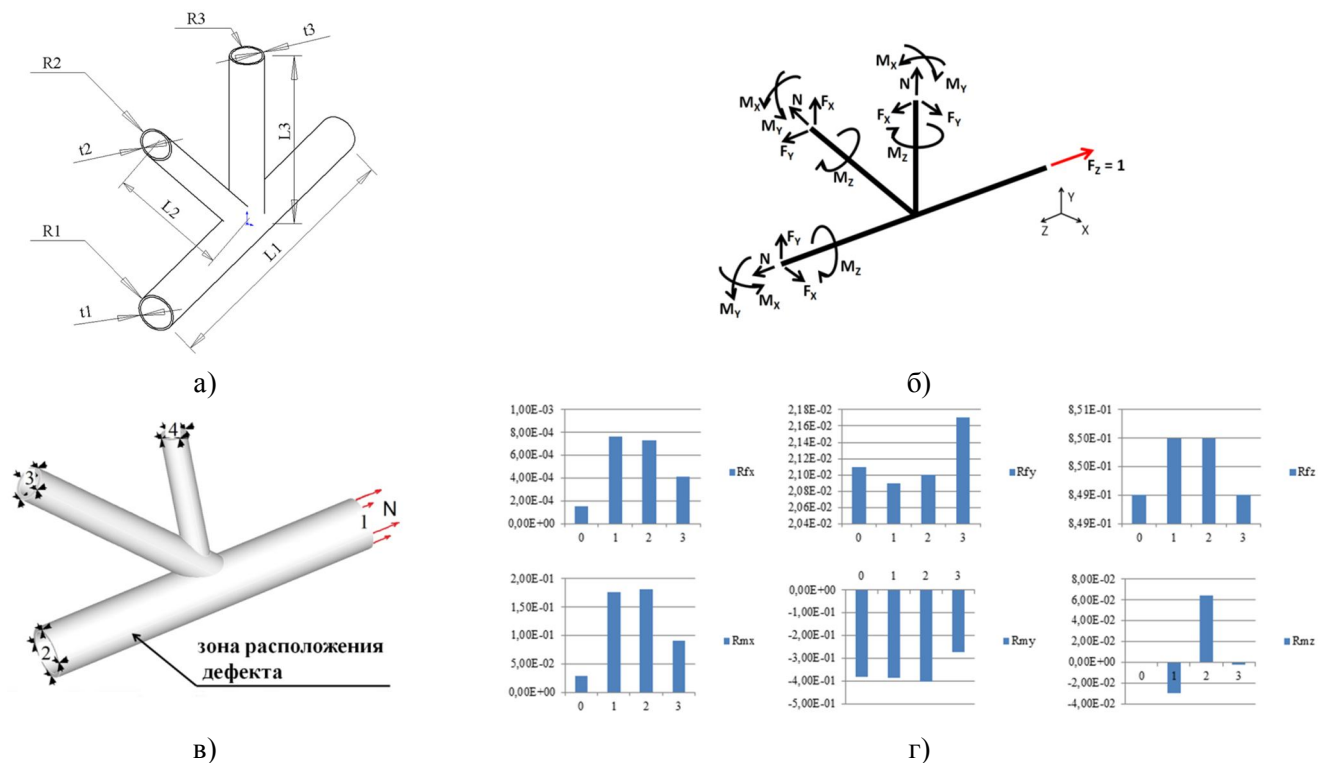
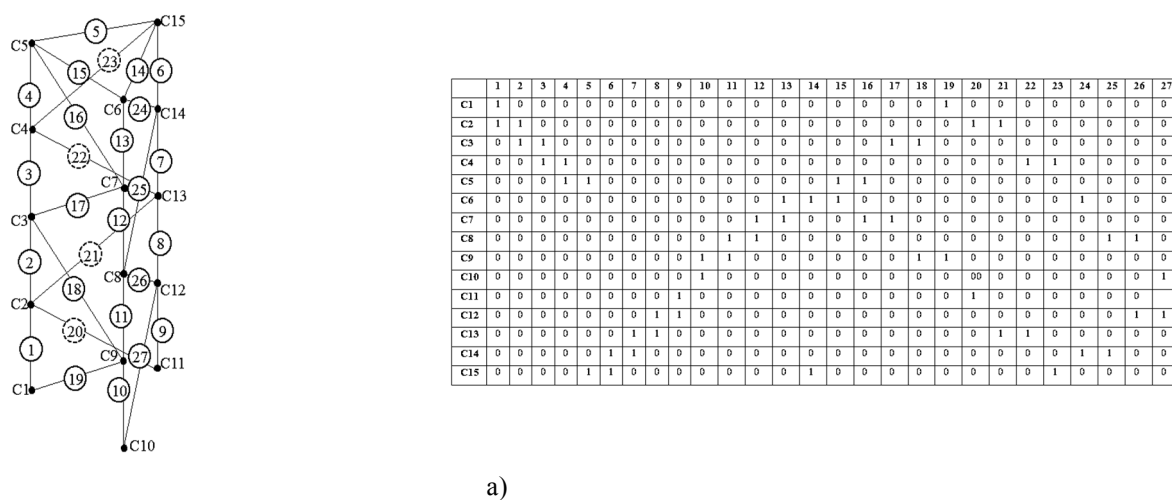


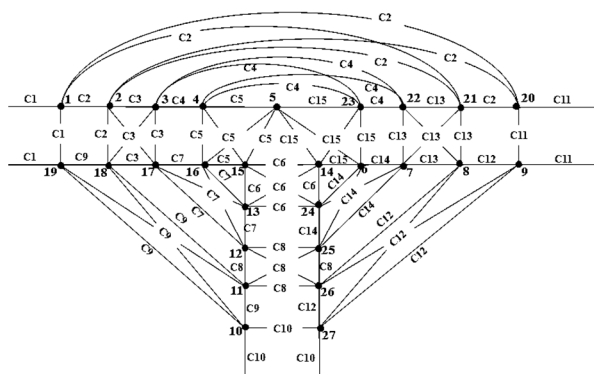
Рис. 2 – Влияние повреждения узла сочленения на деформирование стержневой системы

- а) пример параметрического узла сочленения стержней (соединение из труб); б) расчетная схема узла сочленения;
в) расположение дефекта сплошности; г) диаграммы реакций узла сочленения с дефектом сплошности при различных вариантах его локализации

На втором уровне предполагается построение и анализ графовых моделей структур стержневых конструкций (рис. 3). Рассматриваются варианты отображения вершинами графа либо стержневых элементов (рис. 3а), либо узлов их сочленения (рис. 3б).



а)



	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
19	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
20	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
21	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
22	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
23	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
24	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
25	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
26	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0

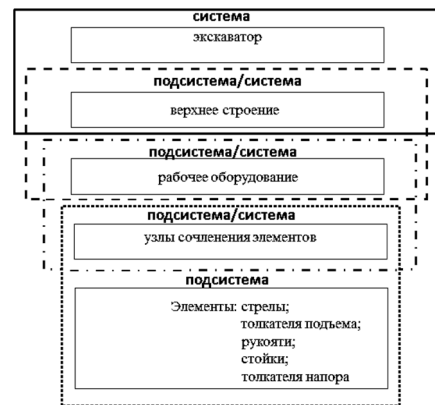
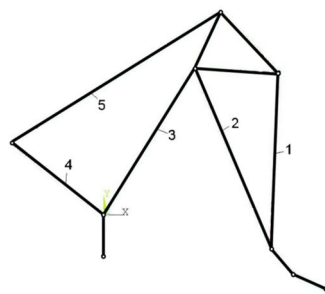
б)

Рис. 3 - Графовые модели сечения мачты

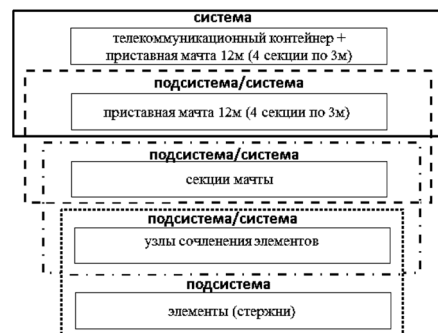
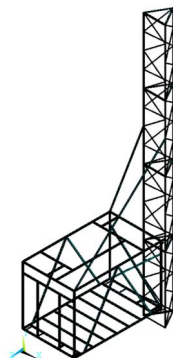
а) вершины графа стержневые элементы; б) вершины графа узлы сочленения стержней

Таким образом, связи между элементами стержневой системы отражаются наличием символов «1» на пересечениях соответствующих строк и столбцов. Дальнейшее развитие модели предполагает обоснование и определение весовых коэффициентов, учитывающих особенности конструктивной реализации и физические свойства связей.

Таким образом, разрабатывается подход к построению многоуровневых стержневых конструкций технических объектов. Для конструкций карьерного экскаватора и телекоммуникационного контейнера многоуровневая декомпозиция выглядит следующим образом (рис. 4).



а)



б)

Рис. 4 - Многоуровневая декомпозиция (МД) стержневых конструкций технических объектов

а) МД конструкции карьерного экскаватора; б) МД телекоммуникационного контейнера с приставной мачтой

Основными требованиями, учитываемыми при разработке прогнозных моделей накопления повреждений стержневых систем, являются:

1) обоснование и реализация методики формализации дефектов и повреждений стержневых систем, построение с ее использованием моделей дефектов и повреждений стержневых систем типичных машин и оборудования, широко применяющихся на объектах техносферы;

2) построение моделей причинно-следственных отношений между поврежденностью стержневых систем, живучестью и защищенностью машин и оборудования;

3) обоснование алгоритмов прогнозирования накопления повреждений стержневых систем с использованием распределенных информационно-вычислительных ресурсов в связи с мониторингом и прогнозом экстремальных явлений природно-климатического и техногенного характера;

Для выполнения этих основных требований сформулирован ряд дополнительных конкретных требований:

1) возможность учета одиночного и множественных дефектов произвольной формы и локализации;

2) установление стержневых элементов, разрыв которых приведет к качественному изменению состояния системы;

3) установление стержневых элементов, разрыв которых приведет к инициации неконтролируемого лавинообразного разрушения системы;

4) оценка чувствительности цепочек связей между элементами к наличию дефектов и повреждений для построения сценариев возможного развития катастрофических разрушений и потери конструкционной целостности системы.

Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ ККФПНиНТД в рамках конкурса «Научно-технического творчества молодежи (студентов и аспирантов)» (проект «Разработка прогнозных моделей накопления повреждений стержневых систем для обеспечения живучести и защищенности машин и оборудования объектов техносферы в экстремальных условиях эксплуатации»).