

ИНФОРМАЦИОННОЕ И СЕМАНТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВРЕЖДЕНИЙ СТРУКТУРНО-НЕОДНОРОДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Доронин Сергей Владимирович

К.т.н., доцент, в.н.с., e-mail: sdoronin@ict.nsc.ru

Рейзмунт Елена Михайловна

К.т.н., н.с., e-mail: e.sigova@gmail.com

Лаборатория вычислительной механики и риск-анализа,
Институт вычислительных технологий СО РАН, Красноярский филиал,
660049 г. Красноярск, пр. Мира 53

Аннотация. С методологических и философских позиций показана неразрывная связь понятий «информация» и «неоднородность». Предложено рассматривать информационные модели как естественный инструмент описания неоднородностей и оперирования ими в рамках конструкторско-технологической информатики. Описывается предлагаемый авторами подход к изучению сложных многоуровневых процессов накопления повреждений в структурно-неоднородных конструкциях с использованием каузальных семантических сетей и фреймовых описаний свойств и характеристик неоднородностей. Приведен пример обобщенной сценарной модели повреждений сосуда давления вследствие структурной неоднородности.

Ключевые слова: структурно-неоднородные конструкции, многоуровневый процесс накопления повреждений, информационное и семантическое моделирование, фреймы, сосудов давления.

Цитирование: Доронин С.В., Рейзмунт Е.М. Информационное и семантическое моделирование повреждений структурно-неоднородных конструкций // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2018. №2 (10). С. 71–79. DOI:10.25729/2413-0133-2018-2-07

Введение. С методологических и философских позиций понятия «информация» и «неоднородность» неразрывно связаны между собой. По мнению академика В.М. Глушкова, существующее объективно создает определенную неоднородность в распределении вещества и потому является источником информации. Информация представляет собой меру неоднородности в распределении энергии или вещества в пространстве и во времени [4]. Профессор А.Д. Урсул считал [8], что информация есть только там, где существует различие, и отсутствует там, где его нет. При этом количество информации характеризует степень различия, его количественную меру. Учитывая, что неоднородность – это иное выражение, вид разнообразия, исследователи [4, 8] сходятся в том, что информация есть разнообразие, а движение этого разнообразия (увеличение или уменьшение) представляет собой информационные процессы, или их проявление. Информация существует постольку, поскольку существуют сами материальные тела и создаваемые ими неоднородности. Это дало основание определить информацию как неоднородность, устойчивую в течение определенного времени [5].

Таким образом, информационные модели являются естественным инструментом описания неоднородностей и оперирования ими в рамках предметной области конструкторско-технологической информатики. Далее рассмотрим возможности применения информационных моделей в описании важнейших характеристик и свойств структурно-неоднородных конструкций, использования их при разработке вычислительных моделей прогнозирования конструкционной прочности и живучести.

Информационные модели структурно-неоднородных конструкций. Следует отметить отсутствие не только общепринятого, но и вообще какого бы то ни было определения понятия структурно-неоднородной конструкции. Это подтверждается анализом большого количества литературных источников. Во всех просмотренных публикациях понятие «структурно-неоднородная конструкция» не имеет существенной семантической нагрузки: если убрать прилагательное «структурно-неоднородные», не возникает необходимости что-либо менять в материалах публикации. Само понятие «неоднородность», вообще говоря, означает любую неодинаковость хоть в чем-либо: в геометрии, свойствах материала и т.д. Таким образом, все конструкции являются структурно-неоднородными хотя бы в силу того, что предполагают наличие нескольких частей, соединенных различным образом. С учетом предметной области исследования сформулировано следующее определение: «структурно-неоднородная конструкция – техническая система, состоящая из неоднородных (неодинаковых) элементов, объединенных неоднородными (неодинаковыми) связями». С этих позиций в рамках информационного подхода неотъемлемым элементом знаний о системе являются ассоциации структурных неоднородностей с порождаемыми ими физико-техническими эффектами (рис. 1).

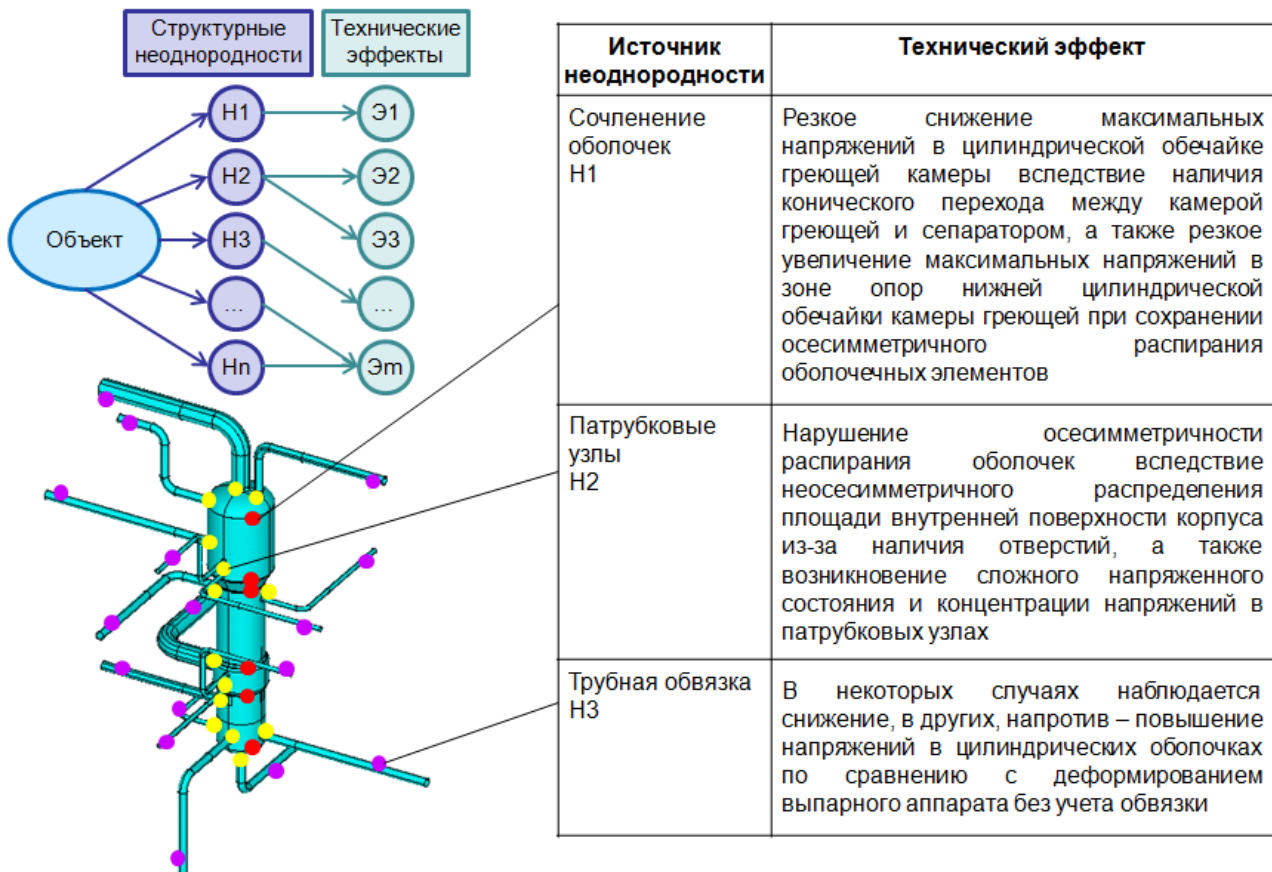


Рис. 1. Влияние структурных неоднородностей на поведение конструкции

В первом приближении сформулирован перечень физико-технических факторов, формирующих комплекс неоднородностей конструкции. Они охватывают структуру и свойства материалов, особенности технологий, условия системного взаимодействия структурных элементов конструкции. Очевидно, этот перечень может изменяться и пополняться. Неоднородность элементов и структуры конструкций технической системы формируется вследствие следующих физико-технических факторов:

- наличия микродефектов структуры материала;
- наличия макроскопических дефектов материала технологического происхождения (дендриты, раковины, поры и др.);
- макроскопических включений различной природы;
- физических, химических и других индуцированных неоднородностей поверхностных слоев элементов конструкций;
- анизотропии свойств материалов от механического воздействия (наклеп и др.);
- использования композитных материалов;
- использования слоистых элементов конструкций;
- использования разнородных материалов (металлических, неметаллических, композитных и др.);
- технологии сборки (монтажа) конструкции, порождающей собственные (остаточные) напряженно-деформированные состояния;
- использования разнотипных соединений элементов (сварные, резьбовые, клеевые и др.);
- формирования собственных напряженно-деформированных состояний при соединении двух и более компонент (преднапряженные конструкции);
- наличия конструктивных особенностей, в том числе регулярных, порождающих неоднородные поля деформаций и напряжений;
- наличия соединений элементов, существенно отличающихся по характеристикам жесткости;
- использования множественных связей элементов;
- наличия переменной структуры изделия, характеризующейся жесткостными свойствами и количеством связей;
- наличия комплекса физических взаимодействий между элементами в составе конструкции (трение, ударное взаимодействие и др.).

В качестве конкретного инструмента информационного моделирования структурных неоднородностей конструкций используются фреймы, представляющие собой структуры данных, однозначно описывающих геометрические и физико-технические характеристики неоднородностей. Примеры фреймов, описывающих типовые структурные неоднородности сварных оболочек сосудов давления, показаны на рис. 2.

Для современных автоматизированных систем инженерного проектирования общепринята иерархическая организация разработки и хранения информации об изделии в виде структурной модели. Ее использование совместно с фрейм-описаниями неоднородностей позволяет разработать информационную модель структурно-неоднородной конструкции.

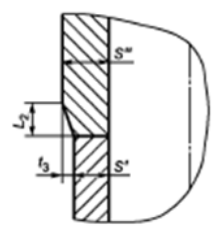

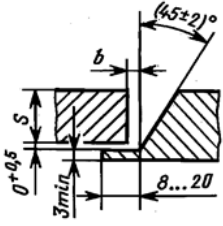
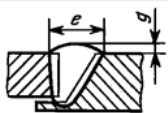
Соединение цилиндрических обечаек		Сварное соединение		Непровар	
Атрибуты	Значения	Атрибуты	Значения	Атрибуты	Значения
Схема		Условное обозначение	C11	Схема	
S', мм	...	Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей (схема)		Описание	Результаты неразрушающего контроля, описывающие геометрическую форму, размеры и локализацию в конструкции
S'', мм	...	Конструктивные элементы сварного шва			
L2, мм	...	s, мм	...		
t3, мм	...	b, мм	...		
		e, мм	...		
		g, мм	...		

Рис. 2. Фреймовые описания структурных неоднородностей

Семантика многоуровневых процессов накопления повреждений. Понятие «повреждение» относится к одному из универсальных и наиболее распространенных в технике. Это выражается в наличии большого количества разнородных и не согласующихся друг с другом определений. С учетом предложенной трактовки понятия структурно-неоднородной конструкции в рамках предметной области конструкторско-технологической информатики сформулируем следующее определение: «Повреждение – изменение состояния конструкции, которое может неблагоприятно повлиять на ее функционирование. Это изменение может касаться структуры и свойств элементов конструкции и связей между ними». Это определение в максимальной степени соответствует международному стандарту ISO 13822 Bases for design of structures – Assessment of existing structures. В структурно-неоднородных и структурно-сложных конструкциях, как правило, возникают и развиваются множественные повреждения, между которыми могут существовать сложные взаимосвязи различной природы. Это дает основание говорить о многоуровневых процессах накопления повреждений.

Эти процессы предлагается рассматривать в первую очередь именно как информационные процессы и описывать их семантической сетью, представляющей собой ориентированный граф, где вершины представляют понятия предметной области, а дуги – отношения между понятиями [2, 3]. Преимуществом семантических сетей является возможность описания неоднородных знаний и сценариев. Эффективным является использование фреймов совместно с семантическими сетями. Заменяя вершины-понятия в сети на вершины-фреймы, можно перейти от громоздкой сети к более компактным диаграммам, где иерархические отношения и структура понятий описываются фреймами, а семантика отношений между понятиями представляется сетью [2]. Если в качестве вершин сети рассматривать состояния поврежденности, ассоциированные с той или иной неоднородностью (описанной с помощью фрейма), а дугам придать смысл отношений причинности, получаем семантическую сеть каузального типа, представляющую собой

сценарий развития повреждений, связанных с теми или иными неоднородностями, вплоть до предельного состояния конструкции. Каузальные отношения, описываемые дугами такой сети, выражают зависимости между вершинами (состояниями поврежденности), при которых изменение в одних состояниях влечет за собой изменение в других [9].

Наиболее простое причинное отношение имеет место, когда между причиной и следствием существует взаимоднозначная связь. В современном понимании причина выступает не как одностороннее воздействие одного предмета на другой, а как взаимодействие материальных систем (их частей), следствие же понимается как изменение, наступающее в этих системах в результате взаимодействия. С позиций системного подхода в органичном целом между его частями существует не простая функциональная зависимость, а гораздо более сложная совокупность связей, в рамках которой причина одновременно выступает как следствие, полагаемое как предпосылка. Иными словами, взаимозависимость частей здесь такова, что она выступает не в виде линейного причинного ряда, а в виде своеобразного замкнутого круга, внутри которого каждый элемент связи является условием другого и обусловлен им [1].

С этих позиций отношения в каузальных семантических сетях не обязательно имеют смысл детерминированной обусловленности, а могут отражать различную степень причинной обусловленности, например [7], «необходимая и достаточная причина», «достаточная причина», «дополнительная сопричина», «возможная сопричина». Более развитые семантически оттенки причинных отношений выражаются рядом характеристик типа [6]: «иногда сопровождается», «часто сопровождается», «приводит к», «может привести к», «может развиться в», «инициирует», «развивается при», «может начаться с», «может увеличить возможность», «увеличивает возможность», «возможная причина», «может быть проявлением» и другими. Причинные отношения, как проявления информационных процессов, могут рассматриваться с философских позиций следующим образом [8]. Воздействие одного тела на другое представляет собой отражение. Объект, являющийся причиной, можно считать отражаемым, а объект, являющийся следствием, – отражающим. Здесь под отражением в широком смысле понимается процесс и результат воздействия одной материальной системы на другую. В случае их не одностороннего воздействия друг на друга, а сложного взаимодействия, следует говорить о взаимоотражении. В качестве отражаемой и отражающей здесь выступают обе взаимодействующие системы.

Таким образом, есть методологические и философские предпосылки для изучения сложных многоуровневых процессов накопления повреждений в структурно-неоднородных конструкциях с использованием каузальных семантических сетей и фреймовых описаний свойств и характеристик неоднородностей. Многоуровневость процесса повреждений характеризуется количеством дуг, связывающих одновременно протекающие процессы развития повреждений. Рассматриваемая информационная модель соответствует пониманию многоуровневого процесса накопления повреждений как системы, в которой существует взаимовлияние и взаимообусловленность развития отдельных повреждений. При этом в зависимости от уровня абстрагирования от конструктивных особенностей такие модели могут носить как обобщенный характер (если сценарий строится для класса объектов), включающий множество возможных сценариев, так и совершенно конкретный, отражающий все особенности элементов конструкции и их системного взаимодействия.

Обобщенная сценарная модель повреждений сосуда давления. Для широко распространенных и серийно выпускаемых технических объектов могут быть построены обобщенные структурные модели, содержащие основные элементы и связи между ними. Так, например, минимальная конфигурация типового сосуда давления представлена цилиндрической обечайкой, эллиптическими днищами, люком, штуцерами и опорами, соединяемыми сварными швами (рис. 3). Различные типы структурных неоднородностей инициируют соответствующие им сценарии развития повреждений. Так, структурной неоднородности сварного шва – непровару – соответствует обобщенный сценарий развития повреждений на рис. 4.

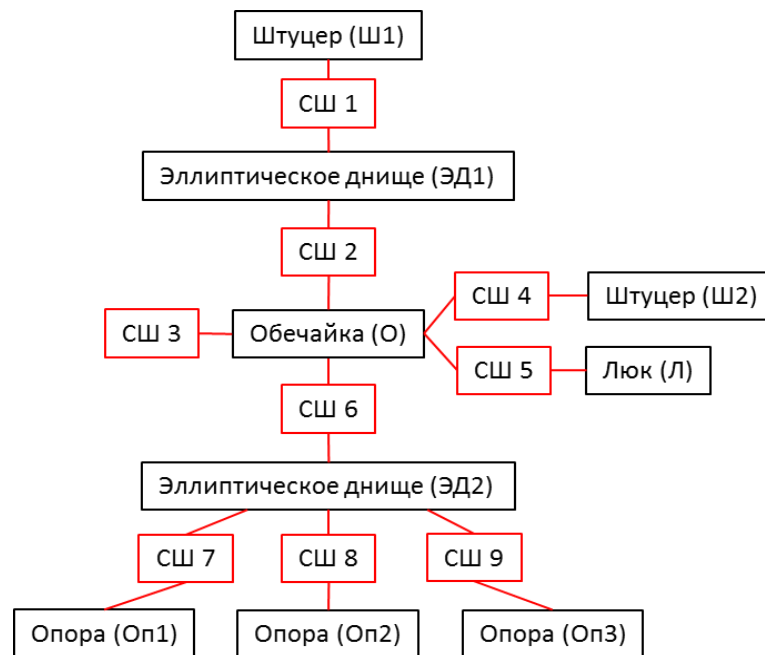


Рис. 3. Структура типового сосуда давления: СШ – сварные швы

Обобщенный сценарий содержит в себе все потенциально возможные реализации развития повреждений в их взаимосвязи и взаимообусловленности. Определение наиболее предпочтительной из них осуществляется с использованием вычислительных моделей конструкционной прочности и живучести с учетом конкретных физико-технических параметров исследуемой системы, характера и уровня нагруженности, предполагаемых событий жизненного цикла.

Заключение. При изучении закономерностей формирования и развития повреждений структурно-неоднородных конструкций технических объектов в рамках предметной области конструкторско-технологической информатики получены следующие результаты, обладающие научной новизной:

- сформулирован перечень структурных неоднородностей с последующим построением их информационных моделей с использованием фреймов;
- обоснован вариант использования информационного подхода в исследовании свойств структурно-неоднородных конструкций, отличающийся трактовкой неоднородностей и повреждений как статического состояния и движения информации;
- предложена трактовка многоуровневого процесса накопления повреждений как системы (целостности), в которой с философской точки зрения существуют взаимные отражения,

закрывающиеся во взаимном причинно-следственном влиянии развивающихся повреждений друг на друга и описываемые семантической сетью каузального типа.

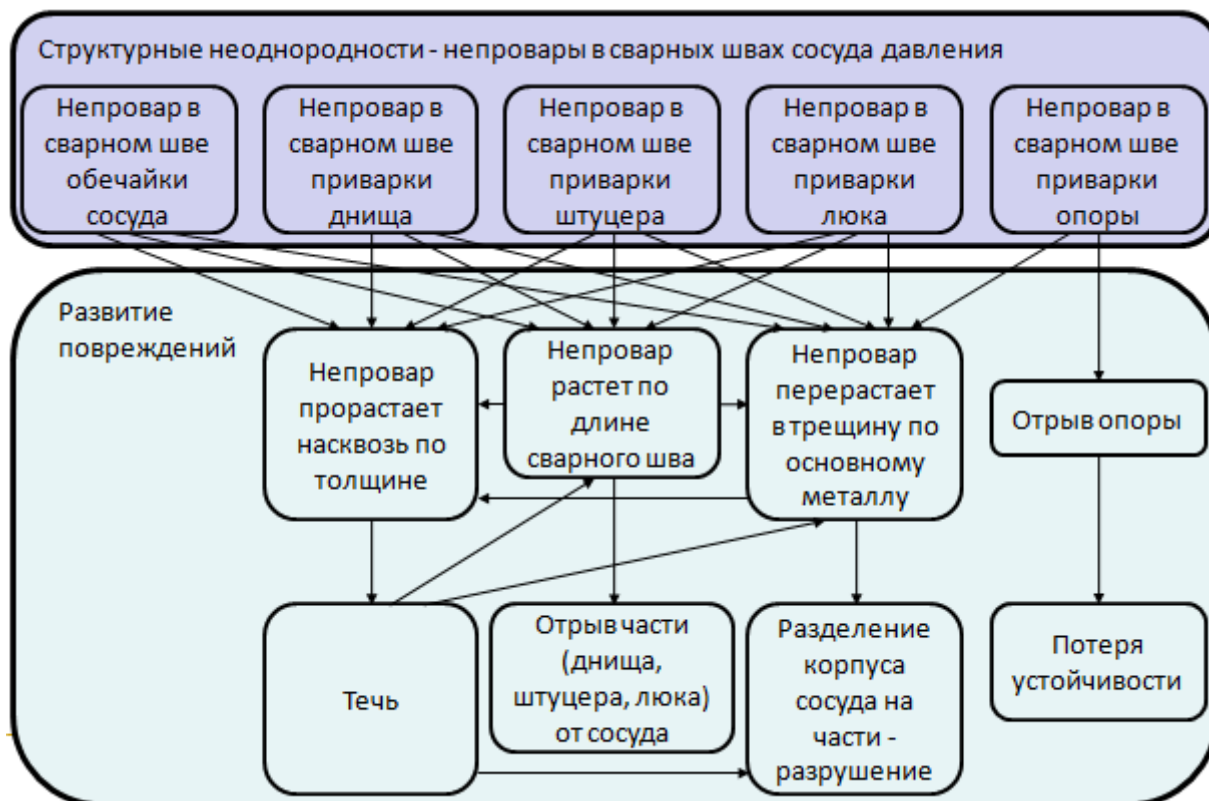


Рис. 4. Обобщенный сценарий развития повреждений вследствие структурной неоднородности

Дальнейшее развитие информационного подхода к структурно-неоднородным конструкциям заключается в постановке и решении следующих задач:

- модификации языков описания семантической сети в целях анализа количественного взаимовлияния многоуровневых процессов накопления повреждений;
- разработке вычислительных моделей оценки конструкционной прочности, живучести, безопасности в связи с информационными моделями структурных неоднородностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блауберг И.В. Проблема целостности и системный подход. М.: Издательская группа URSS. 1997. 450 с.
2. Гаврилова Т.А., Кудрявцев Д.В., Муромцев Д.И. Инженерия знаний. Модели и методы. СПб.: Издательство «Лань». 2016. 324 с.
3. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. СПб.: Питер. 2000. 384 с.
4. Глушков В.М. О кибернетике как науке // Кибернетика. Мышление. Жизнь / под ред. А.И. Берга, В.В. Бирюкова, И.Б. Новика, И.В. Кузнецова, А.Г. Спиркина. М.: Мысль. 1964. С. 53–61.
5. Гуревич И.М. О необходимости и возможности единого определения информации // Системы и средства информатики. 2011. Вып. 21. № 2. С. 194–210.

6. Осипов Г.С. Построение моделей предметных областей. Ч. I. Неоднородные семантические сети // Техническая кибернетика. 1990. № 5. С. 32–45.
 7. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука. 1986. 288 с.
 8. Урсул А.Д. Природа информации. Философский очерк. М.: Политиздат. 1968. 288 с.
 9. Уэно Х., Кояма Т., Окамото Т., Мацуби Б., Исидзука М. Представление и использование знаний / под ред. Х. Уэно, М. Исидзука. М.: Мир. 1989. 220 с.
-

UDK 004.5

**INFORMATIONAL AND SEMANTIC MODELING
OF DAMAGE TO STRUCTURALLY INHOMOGENEOUS CONSTRUCTIONS**

Sergey V. Doronin

PhD, Assistant Professor, Leading Researcher, e-mail: sdoronin@ict.nsc.ru

Elena M. Reizmunt

PhD, Researcher, e-mail: e.sigova@gmail.com

Laboratory of Computational Mechanics and Risk Analysis,

Institute of Computational Technologies Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk Branch Office, 53, Mira avenue, 660049, Krasnoyarsk, Russia

Abstract. The inseparable connection between the concepts "information" and "heterogeneity" is presented on the base of methodological and philosophical positions. It is proposed to consider information models as a natural tool for describing heterogeneities and operating them in the framework of design and technological informatics. The approach proposed by the authors for studying complex multilevel processes of damage accumulation in structurally inhomogeneous constructions using causal semantic networks and frame descriptions of properties and characteristics of inhomogeneities is described. An example of a generalized scenario model of pressure vessel damage due to structural heterogeneity is given.

Keywords: structurally heterogeneous constructions, multilevel process of damage accumulation, information and semantic modeling, frames, pressure vessel.

References

1. Blauberg I.V. Problema tselostnosti i sistemnyy podkhod [Integrity problem and systems approach]. Moscow. Izdatel'skaya gruppy URSS = Editorial URSS. 1997. 450 p. (in Russian)
2. Gavrilova T.A., Kudryavtsev D.V., Muromtsev D.I. Inzheneriya znaniy. Modeli i metody [Engineering knowledge. Models and methods]. St. Petersburg. Publishing house «Lan'». 2016. 324 p. (in Russian)
3. Gavrilova T.A., Khoroshevskiy V.F. Bazy znaniy intellektual'nykh system [Intelligent systems knowledge base]. St. Petersburg. Piter Publ. 2000. 384 p. (in Russian)
4. Glushkov V.M. O kibernetike kak nauke [About cybernetics as a science] // Kibernetika. Myshlenie. Zhizn' = Cybernetics. Thinking. Life / edited by A.I. Berga, V.V. Biryukova, I.B. Novika, I.V. Kuznetsova, A.G. Spirikina. Moscow. Mysl' Publ. 1964. Pp. 53–61. (in Russian)

5. Gurevich I.M. O neobkhozimosti i vozmozhnosti edinogo opredeleniya informatsii [On the need and possibility of a unified definition of information] // *Sistemy i sredstva informatiki = Systems and means of informatics*. 2011. Vol. 21. no 2. Pp. 194–210. (in Russian)
6. Osipov G.S. Postroenie modeley predmetnykh oblastey. Part. I. Neodnorodnye semanticheskie seti [Construction of subject domain models. Part I. Inhomogeneous semantic networks] // *Tekhnicheskaya kibernetika = Technical cybernetics*. 1990. no 5. Pp. 32–45. (in Russian)
7. Pospelov D.A. Situatsionnoe upravlenie: teoriya i praktika [Situational management: theory and practice]. Moscow. Nauka = Science. 1986. 288 p. (in Russian)
8. Ursul A.D. Priroda informatsii. Filosofskiy ocherk [Nature of information. Philosophical essay]. Moscow. Politizdat Publ. 1968. 288 p. (in Russian)
9. Ueno Kh., Koyama T., Okamoto T., Matsubi B., Isidzuka M. Predstavlenie i ispol'zovanie znaniy [Representation and use of knowledge] / edited by Kh. Ueno, M. Isidzuka. Moscow. Mir Publ. 1989. 220 p. (in Russian)