

## РЕШЕНИЕ КОНТАКТНОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК РАЗЛИЧНОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ, ЗАЖАТЫХ МЕЖДУ АБСОЛЮТНО ЖЕСТКИМИ ПЛАСТИНАМИ

*АУНГ ЧДКО ТХУ, Л. Н. РАБИНСКИЙ*

*Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация*

Для зажатой между абсолютно жесткими пластинами цилиндрической оболочки круглого, овального и прямоугольного сечений, находящейся под давлением, исследовалась зона контакта. Каждая оболочка располагалась между жесткими плитами без зазора, и подвергалась одинаковому давлению, равному 10 атм. Для каждого варианта оболочки производилось численные расчеты на основе конечно-элементной модели и использовалось аналитическое решение, построенное на основе модели тонких пластин Кирхгоффа и оболочки Кирхгоффа-Лява, нагруженных равномерным давлением, в приближении малых и больших прогибов и с учетом наличия контактного взаимодействия с жесткой поверхностью. Аналитические расчеты проводятся в упругой постановке в приближении плоского деформированного состояния. В результате численного решения контактной задачи в геометрически-нелинейной постановке дается оценка ширины зоны контакта. Трехмерные модели оболочек построены с использованием элементов типа shell и модели Миндлина-Рейсснера. Для рассматриваемых металлических оболочек используется критерий Мизеса для оценки прочности. Каждый вариант расчета подтверждался экспериментальным исследованием на испытательном стенде. Приводятся примеры расчетов по определению зоны контакта для оболочек различного поперечного сечения.

Работа выполнена в Московском авиационном институте в рамках выполнения гранта РФФИ (проект № 20-01-00517).

### Список литературы

- 1 Nonlinear deforming of laminated composite shells of revolution under finite deflections and normals rotation angles / V. G. Dmitriev [et al.] // Russian Aeronautics. – 2017. – Vol. 60. – No. 2. – P. 169–176.
- 2 Плоская задача дифракции акустической волны давления на криволинейном препятствии / А. Г. Горшко // Известия Российской академии наук : Серия Механика твердого тела. – 2003. – No. 3. – С. 148–155.
- 3 Formalev, V. F. Localization of thermal disturbances in nonlinear anisotropic media with absorption / V. F. Formalev, E. L. Kuznetsova, L. N. Rabinskiy // High Temperature. – 2015. – Vol. 53. – No. 4. – P. 548–553.
- 4 Нестационарная задача дифракции цилиндрической акустической волны давления на тонкой оболочке в форме эллиптического цилиндра / А. Г. Горшков [и др.] // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2007. – Vol. 3. – No. 2. – P. 82–93.
- 5 Fabrication of porous silicon nitride ceramics using binder jetting technology / L. Rabinskiy [et al.] // International Seminar on Interdisciplinary Problems in Additive Technologies : IOP conference Series : materials Science and Engineering – 2016. – P. 012023.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ОБЪЕКТОВ И ПРОЦЕССОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИХ БЕЗОПАСНОСТИ

*О. И. ТКАЧЕНКО, К. А. ТКАЧЕНКО*

*Государственный университет инфраструктуры и технологий, г. Киев, Украина*

*А. А. ТКАЧЕНКО*

*Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина*

Моделирование транспортных объектов и процессов обеспечения их безопасности может основываться на разных моделях, выбор которых определяется поставленными задачами и предметной областью. Авторы предлагают использовать моделирование на основе многоуровневой модели особого класса семантических сетей (СМ) – ситуационно-семантических сетей (ССМ), в которых ситуации обуславливают не только описание модели на любом ее уровне, но и переход от одного уровня к другому. СМ, которая используется, представляет собой систему знаний предметной области, что имеет

определенное содержание в виде целосного образа сети, узлы которой отвечают транспортным объектам (понятиям предметной области, компонентам системы, составным элементам процесса обеспечения безопасности некоторого транспортного объекта), а дуги – отношениям между ними.

Формализация СМ возможна при условии ее систематизации. Например, в модели функции отношений между понятиями систематизируются с помощью таких признаков: *отношения* (например, «абстрактное – конкретное», «целое – часть», «причина – следствие»); *условия* применения отношений; *связи* (конъюнктивные, дизъюнктивные, исключаяющее ИЛИ).

СМ может быть задана тройкой:  $M_{sm} = \{G_{sm}, H_{sm}, U_{sm}\}$ , где  $G_{sm}$  – множество элементарных транспортных объектов (узлов),  $G_{sm} \neq \emptyset$ ;  $H_{sm}$  – множество связей между узлами (дуг),  $H_{sm} \subseteq (G_{sm} \cup G_{sm})$ ;  $\text{dom}(H_{sm}) \cup \text{ran}(H_{sm}) = G_{sm}$ , где  $\text{dom}(H_{sm}) = \{y \in G_{sm} | \exists x \in G_{sm}, (x, y) \in H_{sm}\}$ ,  $\text{ran}(H_{sm}) = \{y \in G_{sm} | \exists x \in G_{sm}, (x, y) \in H_{sm}\}$ , то есть любой узел СМ инцидентен хотя бы одному узлу СМ.  $U_{sm}$  – множество нагрузок на элементы  $H_{sm}$ .  $G_{sm} = \{G_{sm}^i\}$ , где  $G_{sm}^i$  –  $i$ -й узел СМ,  $H_{sm} = \{H_{sm}^j\}$ , где  $H_{sm}^j$  –  $j$ -я дуга,  $U_{sm} = \{U_{sm}^{jk}\}$ , где  $U_{sm}^{jk}$  –  $k$ -я нагрузка на  $j$ -й дуге СМ.

При построении СМ количество элементов и их связей не ограничивается, а систематизация отношений между транспортными объектами сети необходима для последующей формализации. Систематизация отношений СМ является сложной проблемой и зависит не только от конкретных транспортных объектов, но и от происходящих процессов (в частности, процессов обеспечения безопасности транспортных объектов). При систематизации важную роль играет иерархия отношений, которые можно поделить: на общезначимые (характерные почти для всех транспортных объектов), значимые (характерные для многих транспортных объектов), специфические (характерные для отдельных транспортных объектов). Выделяют такие виды СМ:

1 *Логико-семантическая*, описывающая транспортный объект в терминах предметной области (в нашем случае – транспортной сферы), включая все непротиворечивые утверждения и факты.

2 *Структурно-функциональная*, рассматривающая транспортный объект как целостный, разделяя его на отдельные важные элементы.

3 *Причино-следственная*, использующаяся для описания динамики сложных процессов обеспечения безопасности транспортных объектов.

Авторами предлагается ССМ, которая учитывает еще и ситуативность функционирования транспортных объектов и процессов обеспечения их безопасности. Все ситуации, согласно которым осуществляется моделирование транспортного объекта или процесса обеспечения его безопасности, можно поделить на штатные и нештатные. Штатные ситуации можно поделить на общезначимые, значимые, специфические. Использование ситуаций и их типизации способствует многоуровневости предложенной модели (ССМ).

Формально ССМ можно задать так:  $M_{ssm} = \{G_{ssm}, H_{ssm}, U_{ssm}, S_{ssm}\}$ , где  $G_{ssm}$  – множество транспортных объектов (узлов),  $G_{ssm} \neq \emptyset$ ;  $H_{ssm}$  – множество связей между узлами (дуг),  $H_{ssm} \subseteq (G_{ssm} \cup G_{ssm})$ ;  $\text{dom}(H_{ssm}) \cup \text{ran}(H_{ssm}) = G_{ssm}$ , где  $\text{dom}(H_{ssm}) = \{y \in G_{ssm} | \exists x \in G_{ssm}, (x, y) \in H_{ssm}\}$ ,  $\text{ran}(H_{ssm}) = \{y \in G_{ssm} | \exists x \in G_{ssm}, (x, y) \in H_{ssm}\}$ , то есть любой узел ССМ инцидентен хотя бы одному узлу ССМ;  $U_{ssm}$  – множество нагрузок на элементы  $H_{ssm}$ ;  $S_{ssm}$  – множество ситуаций, в которых происходит функционирование ССМ.  $G_{ssm} = \{G_{ssm}^i\}$ , где  $G_{ssm}^i$  –  $i$ -й узел ССМ;  $H_{ssm} = \{H_{ssm}^j\}$ , где  $H_{ssm}^j$  –  $j$ -я дуга ССМ;  $U_{ssm} = \{U_{ssm}^{jk}\}$ , где  $U_{ssm}^{jk}$  –  $j$ -я нагрузка на  $j$ -й дуге ССМ;  $S_{ssm} = \{S_{ssm}^i\}$ , где  $S_{ssm}^i$  – ситуация, которая определяет семантику  $i$ -го узла ССМ.

*Маршрут* – последовательность узлов  $x_1, \dots, x_k$  сети  $M_{ssm}$  таких, что  $P_{ssm}^{1k} = \{(x_1, x_2), \dots, (x_{k-1}, x_k)\} \in H_{ssm} \times H_{ssm}$ . Путь  $P_{ssm}^{1k} = \{x_1, \dots, x_k\}$  ведет из узла  $x_1$  в узел  $x_k$ . Маршрут  $P_{ssm}^{xy}$  из узла  $x$  в узел  $y$  является циклом, если ни один из узлов не появляется в нем больше одного раза, дуга  $(x, y) \in H_{ssm}$  и ее начало  $x$  совпадает с ее концом  $y$ .

Анализ результатов выполнения модели (СММ) предусматривает сообщение о ситуациях, в которых находился (или не находился) транспортный объект (процесс обеспечения безопасности транспортного объекта), какие ситуации для транспортного объекта недостижимы и невозможны. Анализ функционирования транспортного объекта на основе ССМ предоставляет количественные и качественные характеристики его состояний. Если в ССМ найдены недостатки, то модель модифицируется несколько раз до получения модели, адекватной транспортному объекту.

Компоненты ССМ и их действия выступают как события. Примерами событий могут быть, в частности: ситуационное определение маршрута на ССМ, согласно которому происходит вычисление значений критериев, определяющих ситуацию. Каждое событие может произойти один раз, много раз или не состояться ни разу. Это означает, что событие заблокировано и не будет реализовано до выполнения соответствующих условий.

Ситуационность модели обуславливается функционированием транспортных объектов и соответствующим классом задач. Для того, чтобы событие относительно транспортного объекта (процесса обеспечения безопасности транспортного объекта) состоялось, необходимо появление ситуаций, при которых это событие может быть реализовано.

*Ситуация* – совокупность условий возникновения события. Событие реализуется, если выполнены условия его реализации. Условие может быть невыполнено (его емкость равна нулю), выполнено (его емкость равна единице), выполнено с  $n$ -кратным запасом (его емкость равна  $n$ , где  $n$  – натуральное число).

*Показатели количественной оценки ССМ:* связность, достижимость, избыточность, компактность. Показатель связности  $\gamma_{зв}$  для ССМ с  $n$  узлами  $\gamma_{зв} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij}^{(c)}$ . Показатель избыточности

$\alpha = \gamma_{зв} - 1$ . Показатель достижимости  $\delta_d = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij}^{(d)}$ . Показатель компактности  $\kappa = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij}^{(p)}$ .

$a_{ij}^{(c)}, a_{ij}^d, a_{ij}^p$  – элементы соответствующих матриц смежности, достижимости и расстояний.

ССМ должна быть: достоверной; адекватной; целенаправленной; простой и понятной пользователю; полной; надежной; такой, что предполагает модификацию. Для адекватного отражения связи между входом и выходом в ССМ используются понятия «состояние» и «ситуация». Состояние  $z(t_i)$  является совокупностью свойств (состояний, ситуаций) ССМ, знания которых в момент времени  $t_i$ , позволяет определить его поведение в моменты времени  $t > t_i$ .

Моделирование процессов функционирования транспортных объектов, процессов обеспечения безопасности транспортных объектов должно начинаться с описания всех компонент общесистемной модели, определения их содержания и областей изменений. Необходимо определить: интервал времени, в котором происходит функционирование ССМ; входные и выходные воздействия и области их возможных изменений; множества характеристик состояния и область их возможных изменений.

Предложенная модель (ССМ): позволяет прогнозировать поведение сложных транспортных объектов, а также процессов обеспечения их безопасности; учитывает (в силу ее динамичности) возможность появления нового вида транспортных объектов и процессов обеспечения их безопасности; адекватно реагирует на локальные и глобальные факторы влияния на транспортные объекты; динамически изменяет свою форму и позволяет учитывать новые данные для более точного прогнозирования развития и совершенствования соответствующих транспортных объектов или процессов обеспечения их безопасности.

УДК 629.7.048.7

## ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ РАЗЛИЧНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ

О. В. ТУШАВИНА

*Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация*

Система тепловой защиты летательного аппарата (ЛА) представляет собой комплекс технических средств, предназначенных для обеспечения в процессе полета необходимого эксплуатационного уровня температур как конструкции аппарата, так и его отсеков.

При создании новых летательных аппаратов ракетно-космической техники на этапе их проектирования ставится задача выбора рациональной системы тепловой защиты. При этом в качестве исходных данных для проектирования таких систем должны учитываться различные физико-химические факторы, действующие на тепловую защиту, время и место их действия, размеры и геометрическая форма ЛА, степень требуемой надежности т.д. Многолетний опыт создания таких систем показал, что неучет при разработке системы хотя бы одного из этих факторов может привести к очень серьезным, нежелательным последствиям. Классификация систем тепловой защиты определяется классом летательного аппарата. Их структура характеризуется программой, поставленной перед летательным аппаратом данного класса.