ного терморегулирования космических аппаратов. Разработка интегрированной математической модели позволит более точно определить тепловые характеристики ЭВТИ и контролировать тепловой режим космического аппарата. Это способствует повышению надежности и эффективности работы космических аппаратов, что является важным условием для успешной реализации космических миссий.

Математическая модель основана на уравнениях теплопроводности и массопереноса. Уравнение теплопроводности описывает распределение температур внутри материала, а уравнение массопереноса учитывает перенос массы вещества (например, газа) внутри слоев ЭВТИ.

Модель учитывает следующие факторы.

1 Теплопроводность материала. Коэффициент теплопроводности будет учтен в уравнении теплопроводности для определения потока тепла внутри слоев ЭВТИ. Это позволит оценить эффективность материала в передаче или задержке тепла.

2 Тепловое сопротивление слоев материала. Учет теплового сопротивления слоев ЭВТИ позволяет определить, насколько легко или трудно происходит передача тепла через материал.

3 Скорость распространения тепла внутри слоев. Модель будет принимать во внимание скорость распространения тепла внутри слоев материала, что позволит оценить, как быстро происходит равномерное распределение тепла внутри ЭВТИ.

4 Граничные условия. В модели учтены различные граничные условия, такие как тепловой поток на границах слоев ЭВТИ и температура окружающей среды. Это позволит более реалистично воспроизвести тепловые процессы внутри материала.

Разработанную модель можно интегрировать в общую модель системы обеспечения теплового режима космического аппарата. Это позволяет оптимизировать работу системы управления тепловым режимом и предотвратить перегрев или охлаждение электроники и других элементов аппарата.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (Грант РНФ № 23-19-00684), выданного Московскому авиационному институту

УДК 539.3

О РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТАХ УРАВНЕНИЙ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ НЕТОНКИХ НЕОДНОРОДНЫХ ОБОЛОЧЕК И ИХ ПРИЛОЖЕНИЯХ К ЗАДАЧАМ СТАЦИОНАРНОЙ ДИНАМИКИ

С. И. ЖАВОРОНОК, А. С. КУРБАТОВ

ФГБУН Институт прикладной механики Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация

Решение задач о дисперсии нормальных волн в тонких телах различной формы и структуры, являющееся ключевым элементом качественного исследования волноводов, может быть построено различными методами, в том числе путем разложения компонентов вектора перемещения в ряды Фурье по некоторой ортогональной системе функций нормальной координаты ζ, либо на основе конечно-элементной дискретизации волновода по толщине [1]. Данные подходы обладают рядом преимуществ перед матричными методами или степенными рядами, в частности, не требуют численного решения трансцендентного уравнения, зачастую приводящего к потере части корней [1]. При этом метод ортогональных рядов по полиномам Лежандра фактически представляет собой приложение общей теории нетонких неоднородных оболочек [2–4] к классу задач стационарной волновой динамики [5–8], обеспечивающее вполне удовлетворительную сходимость решений как по частотам запирания распространяющихся нормальных мод [5], так и по фазовым частотам при ненулевых значениях волнового числа [6], а также по формам распространяющихся нормальных мод [7, 8]. Описание дисперсии затухающих нормальных мод требует формулировки спектральной задачи относительно волнового числа [1]. Такая постановка задачи на базе модели оболочки N-го порядка, интерпретируемой как двумерная Лагранжева система [3, 4], заданная на двумерном многообразии S множеством переменных поля первого рода $u_\alpha^{(k)}$, $u_3^{(k)}$, являющихся коэффициентами разложения вектора перемещения по биортогональной базисной системе функций нормальной координаты ζ, поверхностной L_S и контурной L_Γ плотностями Лагранжиана [4], может быть осуществлена методами аналитической динамики континуальных систем. В самом деле, преобразование Лежандра поверхностной плотности функционала Лагранжа L_S по производным переменных поля $u_\alpha^{(k)}$, $u_3^{(k)}$ вдоль некоторого векторного поля приводит к смешанному функционалу и соответствующим ему уравнениям движения и определяющим уравнениям, разрешенным относительно первых производных аналогично уравнениям Рауса для дискретной системы [9–12]. Полученная в [9, 10] для пластины, а в [11, 12] для ортотропной оболочки система обобщенных уравнений Рауса может быть применена как для решения задач о дисперсии нормальных волн, так и в классе нестационарных задач динамики оболочек [13], где уравнения в производных первого порядка обладают определенными преимуществами, и в некоторых задачах статики [14, 15], для которых система сводится к канонической Гамильтоновой форме [12]. Применение в качестве базисных функций ортогональных полиномов [1, 2] ограничивает применимость предложенного подхода задачами для волноводов с физическими постоянными, медленно изменяющимися по толщине [1, 10–12]. Так как формализм [4] предоставляет возможность использования также и финитных базисных функций, т. е. переход в классе задач о дисперсии нормальных волн к аналогу метода полуаналитических конечных элементов [1], улучшение сходимости решения при быстро изменяющихся или негладких распределениях по толщине волновода физических постоянных осуществимо с использованием варианта обобщенного метода конечных элементов, аналогичного [16–19]. Рассмотрено применение обобщенных конечно-элементных базисных функций к построению различных вариантов трехмерной теории оболочек. Получены решения задач о дисперсии нормальных волн в плоском слое, неоднородном по толщине, и проведен анализ сходимости решений при негладком распределении физических постоянных слоя, в том числе при моделировании дефекта структуры функционально-градиентного материала (локального отклонения от заданного степенного или сигмоидального закона), изучены картины дисперсионных кривых для подобных материалов с дефектами. Также на базе предложенного комбинированного формализма аналитической динамики оболочек и обобщенного метода конечных элементов получено решение задачи о дисперсии волн в системе неоднородных слоев с различными свойствами, лежащих на трансверсально-неоднородном упругом основании.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИПРИМ РАН (№ 121112200124-1).

Список литературы

1 **Жаворонок, С. И.** Задачи о дисперсии волн в неоднородных волноводах: методы решения (обзор). Ч. II / С. И. Жаворонок // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2022. – Т. 28, № 1. – С. 36–86.

2 **Аннин, Б. Д.** Неклассические модели теории пластин и оболочек / Б. Д. Аннин, Ю. М. Волчков // ПМТФ. – 2016. – Т. 57, № 5. – С. 5–14.

3 **Жаворонок, С. И.** Вариационные уравнения трехмерной теории анизотропных оболочек / С. И. Жаворонок // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. – 2011. – № 4–5. – С. 2154–2156.

4 **Жаворонок, С. И.** Обобщенные уравнения Лагранжа второго рода трехмерной теории анизотропных оболочек // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2011. – Т. 17, № 1. – С. 116–132.

5 **Жаворонок, С. И.** Исследование гармонических волн в упругом слое на основе трехмерной теории оболочек N-го порядка // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2010. – Т. 16, № 4–2. – С. 693–701.

6 **Жаворонок, С. И.** Исследование распространяющихся мод гармонических волн в упругом слое на базе трехмерной теории оболочек N-го порядка / С. И. Жаворонок // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2011. – Т. 17, № 2. – С. 278–287.

7 **Жаворонок, С. И.** Исследование кинематики нормальных волн в упругом слое на основе трехмерной теории оболочек N-го порядка для различных значений волновых чисел / С. И. Жаворонок // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2012. – Т. 18, № 1. – С. 45–56.

8 **Жаворонок, С. И.** Формулировка начально-краевой задачи приближенной трехмерной теории оболочек N-го порядка в обобщенных перемещениях и ее приложение к задачам стационарной динамики / С. И. Жаворонок // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2012. – Т. 18, № 3. – С. 333–344.

9 **Жаворонок, С. И.** О различных формах уравнений движения и дисперсионных соотношениях в теории неоднородных оболочек N-го порядка / С. И. Жаворонок, А. С. Курбатов // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 132–133.

10 **Zhavoronok, S. I.** The generalized Routh equations in the plate theory of nth order and their use in problems of normal wave dispersion in heterogeneous waveguides / S. I. Zhavoronok, A. S. Kurbatov, L. N. Rabinskiy // Lobachevskii Journal of Mathematics. – 2022. – Vol. 43, no. 7. – P. 2010–2018.

11 **Жаворонок, С. И.** Обобщенные уравнения Рауса в теории ортотропных оболочек N-го порядка и их приложение к задачам о дисперсии нормальных волн / С. И. Жаворонок, А. С. Курбатов // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2022. – Т. 28, № 3. – С. 399–431.
12 **Zhavoronok, S. I.** On various equations of the analytical mechanics of thick-walled heterogeneous shells and some of their applications in wave dispersion problems / S. I. Zhavoronok, A. S. Kurbatov, O. V. Egorova // Lobachevskii Journal of Mathematics. – 2023. – Vol. 44, no. 6. – P. 2501–2517.
13 Плоская задача дифракции акустической волны давления на тонкой ортотропной панели, помещенной в жесткий экран / А. Г. Горшков [и др.] // Известия Академии наук. Механика твердого тела. – 2004. – № 1. – С. 209–220.
14 **Амосов, А. А.** К проблеме редукции плоской задачи теории упругости к последовательности одномерных краевых задач / А. А. Амосов, С. И. Жаворонок // Механика композиционных материалов и конструкций. – 1997. – Т. 3, № 1. – С. 69–80.
15 **Амосов, А. А.** О решении некоторых краевых задач о плоском напряженном состоянии криволинейной трапеции / А. А. Амосов, А. А. Князев, С. И. Жаворонок // Механика композиционных материалов и конструкций. – 1999. – Т. 5, № 1. – С. 60–72.
16 **Oden, J. T.** A new cloud-based hp finite element method / J. T. Oden, C. A. M. Duarte, O. C. Zienkiewicz // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. – 1998. – Vol. 153, no. 1-2. – P. 117–126.
17 **Duarte, C. A.** Analysis and Applications of a Generalized Finite Element Method with Global-Local Enrichment Functions / C. A. Duarte, D.-J. Kim // Comput. Methods Appl. Mech. Engrg. – 2007. – Vol. 197, is 6–8. – P. 487–504.
18 **Aragón, A. M.** Generalized finite element enrichment functions for discontinuous gradient fields / A. M. Aragón, C. A. Duarte, P. H. Geubelle // Int. J. Numer. Meth. Engng. – 2009. – Vol. 82, is. 2. – P. 242–268.
19 A non-intrusive iterative generalized finite element method for multiscale coupling of 3-D solid and shell models / H. Li [et al.] // Comput. Methods in Applied Mechanics and Engineering. – 2022. – Vol. 402. – P. 115408.

УДК 539

ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И СОВРЕМЕННАЯ МЕХАНИКА

М. А. ЖУРАВКОВ
Белорусский государственный университет, г. Минск

В настоящее время наблюдается всплеск повышенного интереса к искусственному интеллекту (ИИ) и даже необычного ажиотажа вокруг данной тематики. По сути, ситуация с ИИ напоминает то, что было во время начала массового проникновения персональных компьютеров во все сферы жизнедеятельности человека.

Количество публикаций, специальных репортажей, интервью, где затрагиваются различные аспекты ИИ, возросло в разы. Создается впечатление, что всё, что производит человек (от технологий и до готовых изделий) обладает в той либо иной мере ИИ. Даже специалисты-эксперты зачастую сомневаются, когда необходимо выдать заключение о том, имеет ли рассматриваемый объект ИИ или нет.

Чтобы более четко понять суть ИИ, всё же следует обратиться к его базовому определению и понятию.

Как известно, термин «искусственный интеллект» (artificial intelligence) был введен Джоном Маккарти в 1959 г. в его статье «Программы со здравым смыслом», где ИИ рассматривался именно как вычислительная система, способная создавать подпрограммы. Позже Джон Маккарти уточнил введенное им определение. «Intelligence» означает «сообразительность», «понимание», «способности», «проницательность», «распознавание» «сбор и обработка информации». Именно с этих позиций необходимо рассматривать ИИ.

Следует сказать, что при переводе на русский смысл термина «artificial intelligence» несколько исказился и сегодня имеет место некоторая путаница и завышенные неоправданные ожидания в отношении ИИ. Но стоит подчеркнуть, что если бы Дж. Маккарти имел в виду именно «интеллект», то, скорее, применил бы слово «intellect», а не «intelligence».

Некоторая двусмысленность в понятии ИИ возникла, наверное, из-за того, что под ИИ в первую очередь понимают системы решений, позволяющие имитировать мыслительные (когнитивные) функции человека и на этой основе получать выводы и результаты, которые сопоставимы с результатами интеллектуальной деятельности человека. Важным обстоятельством при этом является наличие в имитационном процессе этапов самообучения системы и поиска решений (зачастую без заранее заданного алгоритма).