

стенных панелей: нарушение прочности, общая потеря устойчивости, потеря устойчивости плоской формы изгиба, потеря устойчивости отдельных элементов ребра, нарушение целостности шва и т. п.

#### Список литературы

1 **Гирин, С. Н.** Предельное состояние сжато-изогнутого ребра судового корпуса / С. Н. Гирин, Т. А. Исаева // Труды Крыловского государственного научного центра. – 2020. – Спец. вып. 1. – С. 24–27.

2 **Горохова, М. В.** Исследование влияния поперечной нагрузки на величину критической сжимающей силы балки судового корпуса с учетом геометрической и физической нелинейности в программном комплексе ANSYS / М. В. Горохова, И. Н. Шоркина // Конгресс «Великие реки» : сб. тр. – 2020. – Вып. 9. – С. 4.

УДК 539.3

### ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ О БОЛЬШИХ ДЕФОРМАЦИЯХ ГИБКИХ НЕОДНОРОДНЫХ ОБОЛОЧЕК

*А. Н. ДАНИЛИН<sup>1,2</sup>, С. И. ЖАВОРОНОК<sup>1</sup>, А. С. КУРБАТОВ<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Институт прикладной механики РАН, г. Москва*

<sup>2</sup>*Московский авиационный институт (НИИ), Российская Федерация*

Задачи динамики гибких систем – мембранных оболочек и тросов – являются кинематически существенно нелинейными [1] и характеризуются большими амплитудами при перемещении и углах вращения вектора нормали к поверхности оболочки или оси троса [2, 3]. В работе развивается предложенная ранее формулировка теории гибких оболочек [4], основанная на кватернионном представлении вращения нормали [5] при конечно-элементной [4], конечно-разностной или вариационно-разностной схемах [2, 3] дискретизации континуальных соотношениях модели гибкой системы. Применительно к нелинейным задачам статики разработана модификация метода квазидинамического установления [6, 7], адаптированная к формулировке задачи на основе кватернионного представления поворотов.

В качестве первого примера рассмотрена задача о высокоамплитудных низкочастотных нелинейных колебаниях [8] провода линии электропередачи фазных проводов воздушных линий электропередачи, связанных распорками, на основе модели аэроупругих субколебаний тросовых элементов. В качестве второго примера приведено численное решение задачи о деформировании плоской мембраны при конечных перемещениях и углах поворота точек поверхности и при действии следящих сил, основанное на применении метода квазидинамического установления решения.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 20-08-00891-а и 19-08-00938-а).*

#### Список литературы

1 **Rabinskiy, L. N.** Analytical mechanics of membrane shells: a review / L. N. Rabinskiy, N. P. Shoumova, S. I. Zhavoronok // Applied Mathematical Sciences. – 2016. – Vol. 10, nos. 41–44. – P. 2189–2204.

2 Нелинейное деформирование многослойных композитных оболочек вращения при больших перемещениях и углах поворота / В. Г. Дмитриев [и др.] // Известия вузов. Авиационная техника. – 2017. – Т. 60, № 2. – С. 169–176.

3 Об одной математической модели деформирования упругих многослойных арочных конструкций при больших перемещениях и углах поворота / В. Г. Дмитриев [и др.] // Известия Тульского гос. университета. Технические науки. – 2017. – № 12-2. – С. 29–36.

4 **Данилин, А. Н.** О кватернионном описании кинематики гибких систем и его приложению к некоторым задачам динамики тросов и мембранных оболочек / А. Н. Данилин, А. С. Курбатов, С. И. Жаворонок // Авиация и космонавтика : тез. докл. 19-й Междунар. конф. – М., 2020. – С. 759–760.

5 **Cottanceau, E.** A finite element/quaternion/asymptotic numerical method for the 3D simulation of flexible cables / E. Cottanceau, O. Thomas, Ph. Veron, M. Alochet // Finite Element Analysis and Design. – 2018. – Vol. 139. – P. 14–34.

6 Исследования устойчивости тонкостенных несущих элементов авиационных конструкций с большими прямоугольными вырезами методом вычислительного эксперимента / В. Г. Дмитриев [и др.] // Известия вузов. Авиационная техника. – 2018. – Т. 61, № 2. – С. 165–174.

7 Adaptation of the establishment method to solve problems of non-linear deformation of shells by the finite element method / O. V. Egorova [et al.] // Asia Life Sciences. – 2019. – Suppl. 21(1). – P. 577–589.

8 **Danilin, A. N.** Nonlinear vibrations and galloping of transmission lines' conductors / A. N. Danilin, S. I. Zhavoronok // Asia Life Sciences. – 2019. – Suppl. 21(1). – P. 629–643.