

ЛИТЕРАТУРА

1. Dolgui, A. Manipulator motion planning for high speed robotic laser cutting / A. Dolgui, A. Pashkevich // International Journal of Production Research. – 2009. – Vol. 47, № 20. – P. 5691–5715.
2. Moharana, B. Optimization and Design of a Laser-Cutting Machine using Delta Robot / B. Moharana, R. Gupta, B. K. Kushawaha // International Journal of Engineering Trends and Technology. – 2014. – Vol. 10, № 4. – P. 176–179.
3. Чумаков, О. А. Оптимизация перемещений инструмента робота / О. А. Чумаков, С. В. Снисаренко // Информационные технологии и управление: материалы 54-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 23–27 апр. 2018 г. – Минск: БГУИР, 2018. – С. 20–21.

УДК 539.3

**ТРЕХСЛОЙНАЯ КРУГОВАЯ ПЛАСТИНА, СВЯЗАННАЯ
С ОСНОВАНИЕМ ПАСТЕРНАКА, В ТЕМПЕРАТУРНОМ ПОЛЕ**

А. Г. Козел, доцент кафедры СМ, канд. физ.-мат. наук, БелГУТ

Резюме – приведено общее решение системы дифференциальных уравнений равновесия в перемещениях, описывающей термосиловое деформирование несимметричной по толщине упругой трехслойной круговой пластины на двухпараметрическом основании Пастернака.

Resume – the general solution of the system of differential equations of equilibrium in displacements is given, which describes the thermal force deformation of an elastic three-layer circular plate asymmetric in thickness on a two-parameter Pasternak base.

Введение. К современным элементам конструкций предъявляют все более высокие требования по прочности и жесткости. При этом помимо силовых воздействий стремятся повысить сопротивляемость тепловым, звуковым, химическим, радиационным и некоторым другим негативным условиям эксплуатации. Благодаря этому распространение получили конструкции, имеющие многослойную структуру. Частным случаем являются трехслойные конструкции. Они, как правило, набраны из внешних несущих слоев, между которыми расположен сравнительно толстый легкий слой заполнителя. Слои выполняют из материалов с разными физико-механическими свойствами, что позволяет достичь заданных характеристик при относительно небольшом весе.

Несмотря на большое количество работ в исследуемой области механика многослойных конструкций и сейчас продолжает развиваться. Основы термоупругости, а также ряд задач механики слоистых стержней, пластин и оболочек при термосиловых воздействиях приведены в монографии [1]. Задачи статики и динамики трехслойных элементов конструкций, контактирующих с упругим основанием, решены в монографии [2]. Для описания реакции основания используется однопараметрическая мо-

дель Винклера. Недостатком этой модели является то, что она не учитывает распределительные свойства основания. Двухпараметрическая модель Пастернака, предложенная в работе [3], позволяет устранить этот недостаток. Изотермическое деформирование физически линейных и нелинейных круговых трехслойных пластин, связанных с двухпараметрическим основанием Пастернака, исследовано в статьях [4–5]. Здесь приведено решение краевой задачи о термосиловом изгибе подобной пластины с шарнирно закрепленным контуром.

Основная часть. Для пластины принята гипотеза ломаной линии: для внешних слоев выполняются гипотезы Кирхгофа, в легком несжимаемом по толщине заполнителе – модель Тимошенко, не учитывается работа в тангенциальном направлении. Постановка задачи и ее решение проводятся в цилиндрической системе координат. За искомые функции приняты: прогиб пластины $w(r)$, относительный сдвиг в заполнителе $\psi(r)$ и радиальное перемещение координатной плоскости $u(r)$. По верхнему слою пластины распределена осесимметричная нагрузка $q(r)$, на нижний слой действует реакция основания модели Пастернака $q_R(r)$:

$$q_R(r) = t_f \Delta w - \kappa_0 w,$$

где t_f , κ_0 – параметры сдвига и сжатия основания; Δ – оператор Лапласа.

Система дифференциальных уравнений равновесия в перемещениях выведена при помощи вариационного принципа Лагранжа. Общее решение ее получено по методике, используемой в статье [4]:

$$w = C_5 J_0(\sqrt{a}kr) + C_7 J_0(\sqrt{\bar{a}}kr) + w_p(r), \quad u = b_1 w_r + C_1 r + C_2 / r,$$

$$\psi = b_2 w_r + C_3 r + C_4 / r,$$

где $\kappa = \sqrt[4]{\kappa_0 D}$; b_1 , b_2 , D – коэффициенты, учитывающие термомеханические и геометрические характеристики слоев; C_i – константы интегрирования, определяемые из граничных условий; a , \bar{a} введены в [4].

Заключение. Полученное решение может быть использовано при исследовании термосилового изгиба трехслойных круговых пластин, связанных с упругим основанием.

ЛИТЕРАТУРА

1. Carrera, E. Thermal Stress Analysis of Composite Beams, Plates and Shells: Computational Modelling and Applications / E. Carrera, F. A. Fazzolari, M. Cinefra. – Academic Press, 2016. – 410 p.
2. Плескачевский, Ю. М. Механика трехслойных стержней и пластин, связанных с упругим основанием / Ю. М. Плескачевский, Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко. – Москва: Физматлит, 2011. – 560 с.
3. Пастернак, П. Л. Основы нового метода расчета фундаментов на упругом основании при помощи двух коэффициентов постели // П. Л. Пастернак. – Москва: Госстройиздат, 1954. – 56 с.

4. Старовойтов, Э. И. Изгиб упругой трехслойной круговой пластины на основании Пастернака / Э. И. Старовойтов, А. Г. Козел // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2018. – Т. 24, № 1. – С. 392–406.

5. Козел, А. Г. Нелинейный изгиб сэндвич-пластины на основании Пастернака / А. Г. Козел // Теоретическая и прикладная механика: междунар. науч.-техн. сб. – Минск: БНТУ, 2020. – Вып. 35. – С. 106–113.

УДК 639.3.06

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОЗОНОФЛОТАЦИИ В ИНДУСТРИАЛЬНОМ РЫБОВОДСТВЕ

А. В. Козырь, аспирант, ПолесГУ

Резюме – представлены результаты использования флотационного оборудования с введением озона в установках замкнутого водоснабжения.

Resume – shows the result of using ozone flotation in a recirculating water supply system.

Введение. Качество и гидрохимический состав воды при выращивании гидробионтов в установках замкнутого водообеспечения (УЗВ) является одним из значимых технологических показателей, влияющих на продуктивность и ресурсоэффективность системы. Механические загрязнения диаметром менее 50–40 мкм сложно поддаются фильтрации, так как в основном на производстве применяются механические фильтры с микроситом 80–60 мкм. За счет своей малой гидравлической крупности такие загрязнители нецелесообразно отфильтровывать горизонтальными отстойниками. В основном данные загрязнения представлены органическими (белковыми) соединениями, при длительном нахождении в системе происходит их гниение с последующим выделением азотистых соединений, которые ухудшают гидрохимический режим системы, увеличивают нагрузку на систему биологической фильтрации [1]. Для решения данной задачи целесообразно применять флотационные системы.

Основная часть. Процесс флотации заключается в формировании во флотаторе флотокомплексов «частица–пузырек газа», с последующим всплыванием данных комплексов и удалением образовавшегося пенного слоя осадка с поверхности оборотной воды, концентрация загрязнителя в отводимом пенном слое в 7–10 раз больше, чем в выростном бассейне. Для протекания процессов необходимо введение газов либо их смесей на дно водяного столба флотатора: воздуха, кислорода, озона, электролизных газов и др. [2]. В промышленном рыбководстве для удаления механических загрязнителей 50–40 мкм, при применении флотационных устройств возможно введение озона. Так, введение данного газа позволяет производить окисление мелкодисперсных органических соединений, консервировать и обеззараживать более крупные механические загрязнители, а также про-