

нечного излучения необходимо оснащение тепловакуумной установки устройствами, позволяющими поворачивать испытуемый объект по крайней мере относительно двух осей.

Экспериментальное исследование теплового состояния космических аппаратов в условиях, максимально приближенным к натурным, сопряжено с большими трудностями, несмотря на то, что имитационная техника позволяет воспроизводить в экспериментальной установке и поле излучения Солнца, и поле излучения планет (в соответствии с принятыми радиационными моделями) в отдельности. Поэтому важное значение приобретают приближенные методы и средства математического моделирования внешних тепловых нагрузок (в том числе и тепловое воздействие планет). Предлагается математическая модель и метод решения задачи теплопереноса в многослойной конструкции экранно-вакуумной теплоизоляции под действием солнечной радиации. Здесь ставится задача о нестационарном распределении температур по толщине и внутренней теплоизоляции, которая сводится к решению нормальной системы нелинейных дифференциальных уравнений с уравнением теплопроводности в теплоизоляции с ограничением, накладываемым на температуру внутренней поверхности экранно-вакуумной теплоизоляции. Приводятся результаты расчетов.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного проекта Министерства образования и науки РФ код проекта FSFF-2020-0016.

УДК 539.3

НЕСТАЦИОНАРНАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА ДЛЯ ЛИНЕЙНО-ВЯЗКОУПРУГОГО КУСОЧНО-ОДНОРОДНОГО СЛОЯ

С. Г. ПШЕНИЧНОВ

НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация

При изучении нестационарной динамики кусочно-однородных вязкоупругих тел одним из важных направлений является проведение исследований с использованием аналитических и численно-аналитических методов. Несмотря на то, что этой темой начали заниматься еще в прошлом веке [1–6] и продолжают заниматься в последнее десятилетие [7–11], исследования не являются завершенными. Это относится, в первую очередь, к случаю произвольного количества границ раздела однородных вязкоупругих составляющих тела. В данной работе рассмотрена задача о распространении нестационарных продольных волн в кусочно-однородном слое с плоскопараллельными границами раздела однородных линейно-вязкоупругих составляющих.

Рассмотрим плоский бесконечный слой толщины L , ограниченный плоскостями $x=0$ и $x=L$ (x – декартова координата), который изначально находится в недеформированном состоянии и покоится. Граница $x=0$ жестко заделана, а на границу $x=L$ в момент $t=0$ действует равномерно распределенная нормальная нагрузка $P(t)$. Слой состоит из N однородных изотропных линейно-вязкоупругих составляющих (слоев) с плоскопараллельными границами контакта $x=x_m$, $m=1, 2, \dots, N-1$, причем $0 < x_1 < x_2 < \dots < x_{N-1} < L$. Введем безразмерные величины ($n=1, 2, \dots, N$):

$$\tilde{x} = \frac{x}{L}, \quad \tilde{t} = \frac{t}{t_0}, \quad \tilde{x}_m = \frac{x_m}{L}, \quad \tilde{u}^{(n)}(\tilde{x}, \tilde{t}) = \frac{u^{(n)}(x, t)}{L}, \quad \tilde{\sigma}_x^{(n)}(\tilde{x}, \tilde{t}) = \frac{\sigma_x^{(n)}(x, t)}{2G_0^{(n)}},$$

$$\tilde{T}_s^{(n)}(\tilde{t}) = t_0 T_s^{(n)}(t), \quad \tilde{T}_v^{(n)}(\tilde{t}) = t_0 T_v^{(n)}(t), \quad a_n(\tilde{t}) = \frac{1}{3(1-\nu_0^{(n)})} [(1 + \nu_0^{(n)})\tilde{T}_v^{(n)}(\tilde{t}) + 2(1 - 2\nu_0^{(n)})\tilde{T}_s^{(n)}(\tilde{t})],$$

$$P_0 f(\tilde{t}) = \frac{P(t)}{2G_0^{(N)}}, \quad \kappa_n = \frac{c_N}{c_n}, \quad w_n = \frac{1 - \nu_0^{(n)}}{1 - 2\nu_0^{(n)}},$$

где $t_0 = L/c_N$; при этом $u^{(n)}(x, t)$, $\sigma_x^{(n)}(x, t)$ – перемещение вдоль оси x и соответствующее нормальное напряжение в n -й однородной составляющей; $G_0^{(n)}$, $\nu_0^{(n)}$ – мгновенные значения модуля сдвига и коэффициента Пуассона, c_n – скорость продольных упругих волн, $T_s^{(n)}$, $T_v^{(n)}$ – ядра сдвиговой и объемной релаксации, относящиеся к n -й однородной составляющей; P_0 – безразмерная константа. Далее знак тильды над безразмерными величинами опустим.

В отсутствии массовых сил математическая постановка задачи об одномерном движении однородных компонент слоя вдоль оси x в безразмерной форме включает в себя уравнения:

$$(1 - \hat{a}_n) \frac{\partial^2 u^{(n)}}{\partial x^2} - \kappa_n^2 \frac{\partial^2 u^{(n)}}{\partial t^2} = 0, \quad \sigma_x^{(n)}(x, t) = w_n (1 - \hat{a}_n) \frac{\partial u^{(n)}}{\partial x}, \quad n = 1, 2, \dots, N, \quad (1)$$

где $\hat{a}_n u^{(n)}(x, t) = \int_0^t a_n(t - \tau) u^{(n)}(x, \tau) d\tau$; (2)

граничные условия:

$$u^{(1)}(0, t) = 0, \quad \sigma_x^{(N)}(1, t) = -P_0 f(t), \quad t > 0; \quad (3)$$

условия непрерывности на контакте однородных компонент:

$$u^{(m)}(x_m, t) = u^{(m+1)}(x_m, t), \quad G_0^{(m)} \sigma_x^{(m)}(x_m, t) = G_0^{(m+1)} \sigma_x^{(m+1)}(x_m, t), \quad m = 1, 2, \dots, N - 1 \quad (4)$$

и начальные условия:

$$u^{(n)}(x, 0) = 0, \quad \frac{\partial u^{(n)}}{\partial t}(x, 0) = 0, \quad n = 1, 2, \dots, N. \quad (5)$$

После применения к уравнениям и соотношениям (1)–(4) интегрального преобразования Лапласа по времени (s – параметр преобразования) с учетом начальных условий (5) получим задачу относительно изображений перемещений $U^{(n)}(x, s)$, решение которой имеет вид

$$U^{(n)}(x, s) = -P_0 F(s) [\operatorname{sh}(y_n) C_1^{(n)}(s) + \operatorname{ch}(y_n) C_2^{(n)}(s)], \quad y_n = x \kappa_n s / \sqrt{1 - A_n(s)}, \quad n = 1, 2, \dots, N, \quad (6)$$

где $F(s)$, $A_n(s)$ – изображения $f(t)$, $a_n(t)$. Полученные в явном виде выражения для функций $C_1^{(n)}(s)$, $C_2^{(n)}(s)$ содержат величины $\sqrt{1 - A_1(s)}$, $\sqrt{1 - A_2(s)}$, ..., $\sqrt{1 - A_n(s)}$.

Несмотря на сложную структуру решения (6) и наличие квадратных корней, согласно доказанному в работе [12] общему утверждению, точками ветвления функций $U^{(n)}(x, s)$ могут быть только точки ветвления $F(s)$ и $A_n(s)$, если их множество конечно. В случае регулярных наследственных ядер в виде конечной суммы экспонент и при соответствующей функции внешней нагрузки $f(t)$ (например, в виде функции Хевисайда) точек ветвления у изображений $U^{(n)}(x, s)$ не будет. Это позволяет в конечном счете построить оригиналы $u^{(n)}(x, t)$ в виде бесконечной суммы вычетов в полюсах $U^{(n)}(x, s)$. Заметим, что множество полюсов изображений будет иметь конечные предельные точки, помимо бесконечно удаленной. Кроме того, как при регулярных, так и при сингулярных наследственных ядрах искомые оригиналы $u^{(n)}(x, t)$ можно представить в форме, содержащей интеграл по мнимой оси [12], удобной для численной реализации.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 18-08-00471 а, 19-08-00438 а).

Список литературы

- 1 **Козлов, В.И.** Динамическое поведение многослойных цилиндрических конструкций при нестационарных нагрузках / В. И. Козлов, Н. К. Кучер // Проблемы прочности. – 1980. – № 5. – С. 97–103.
- 2 **Локшин, А. А.** Головная волна на границе двух наследственно-упругих полупространств / А. А. Локшин // Прикл. мат. и мех. – 1994. – Т. 58. – № 1. – С. 162–167.
- 3 **Нурiev, Б. Р.** Удар по вязкоупругому слоистому композиту / Б. Р. Нурiev // Изв. АН АзССР. Сер. физ.-техн. и мат. наук. – 1985. – № 4. – С. 35–41.
- 4 **Сабодаш, П. Ф.** Распространение продольных вязко-упругих волн в трехслойной среде / П. Ф. Сабодаш // Механика полимеров. – 1971. – № 1. – С. 151–156.
- 5 **Стулов, А. С.** Распространение продольных волн деформации в дискретно-слоистых линейных средах с памятью / А. С. Стулов // Изв. АН Эстонии. Сер. Физ. Матем. – 1991. – Т. 40. – № 2. – С. 115–121.
- 6 **Songnan, L.** Dynamic response of layered viscoelastic half-space and its application to dynamic foundation problems / L. Songnan, G. Ping // Hunan daxue xuebao. J. Hunan Univ. – 1993. – Vol. 20. – No. 1. – P. 57–64.
- 7 **Баженов, В. Г.** Гранично-элементное моделирование динамики кусочно-однородных сред и конструкций / В. Г. Баженов, А. А. Белов, Л. А. Игумнов. – Н. Новгород : ННГУ, 2009. – 180 с.
- 8 **Белов, А. А.** Гранично-элементный расчет динамики составных вязкоупругих тел / А. А. Белов // Проблемы прочности и пластичности : межвуз. сб. – Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2008. – Вып. 70. – С. 164–170.

9 **Петров, А. Н.** Расчет методом граничных элементов динамики составных вязкоупругих тел. Механика деформируемого твердого тела / А. Н. Петров, М. Д. Ермолаев // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. – 2011. – Т. 4. – № 4. – С. 1694–1696.

10 **Hyung, S. L.** Viscowave – a new solution for viscoelastic wave propagation of layered structures subjected to an impact load. International / S. L. Hyung // International Journal of Pavement Engineering. – 2014. – Vol. 15. – No. 6. – P. 542–557.

11 **Hashemi, Sh. H.** Dynamic behavior of multi-layered viscoelastic nanobeam system embedded in a viscoelastic medium with a moving nanoparticle / Sh. H. Hashemi // Journal of Mechanics. – 2017. – Vol. 33. – No. 5. – P. 559–575.

12 **Пшеничнов, С. Г.** Динамические задачи линейной вязкоупругости для кусочно-однородных тел / С. Г. Пшеничнов // Известия РАН. МТТ. – 2016. – № 1. – С. 79–89.

УДК 37.091.212.2

АНАЛИЗ УРОВНЯ ЗНАНИЙ АБИТУРИЕНТОВ И СТУДЕНТОВ ПЕРВОГО КУРСА

Ю. А. ПШЕНИЧНОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Безопасность на транспорте во многом определяется компетентностью специалистов. В свою очередь успешность учебы студентов транспортных специальностей и их мотивация зависит от уровня знаний, полученных абитуриентом в средней школе.

В период окончания средней школы, централизованного тестирования (ЦТ) и первой экзаменационной сессии в университете проводятся три педагогических измерения уровня знаний абитуриента и студента, результатами которых являются средний балл аттестата, количество баллов, полученных при ЦТ, и средний балл первой экзаменационной сессии. При зачислении абитуриентов используется сумма первых двух параметров, хотя уровни их объективности существенно отличаются.

В [1] проведен сравнительный анализ результатов средних баллов ЦТ абитуриентов, поступивших в БелГУТ в 2017 году, и первой экзаменационной сессии. Построена диаграмма рассеивания (разброса), изображающая значения средних баллов первой экзаменационной сессии (выборка Y) и ЦТ (выборка X) в виде точек на декартовой плоскости. Выборки включали по 388 элементов. Проведен регрессионный анализ в среде Mathcad. Получены уравнение линейной регрессии и коэффициент корреляции двух выборок, равный 0,653, которому соответствует приемлемый уровень связи выборок X и Y .

Результаты регрессионного анализа выборок X и Y для 2018/19 учебного года, размером 547 элементов, представлены на диаграмме рассеивания (рисунок 1).

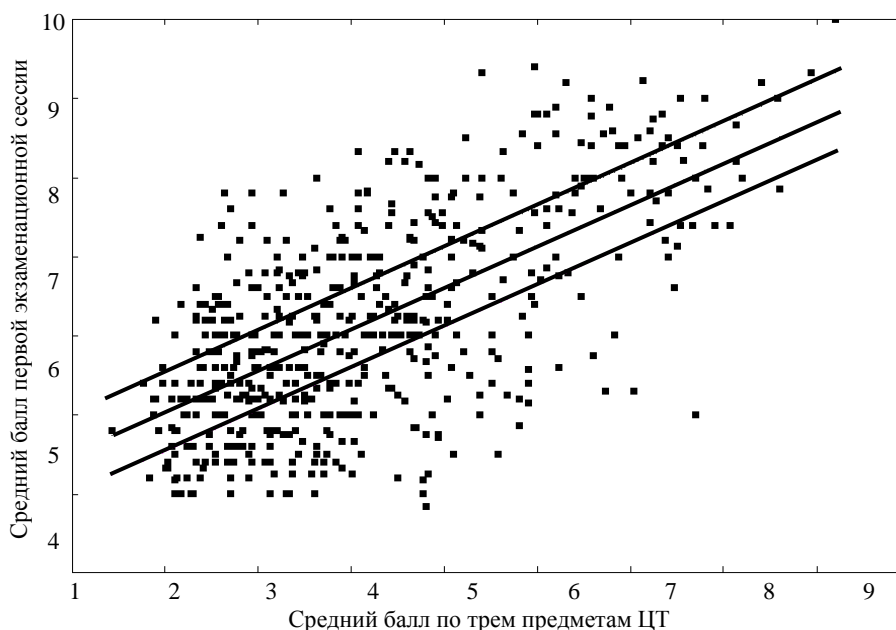


Рисунок 1 – Диаграмма рассеивания X и Y в 2018/19 учебном году