

На рисунке 1 представлены зависимости безразмерного нормального перемещения цилиндрической оболочки вдоль оси z при $\alpha = 0$, в момент времени $\tau = 2$ при различных параметрах дискретизации по времени k из (1):

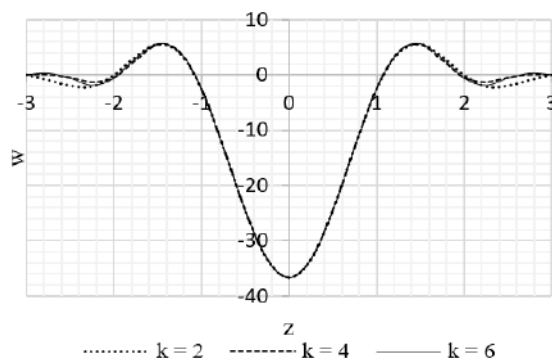


Рисунок 1 – Безразмерный прогиб анизотропной цилиндрической оболочки в момент времени $\tau = 2$

Из представленных на рисунке 1 результатов видно, что с ростом числа k наблюдается сходимость функции нормальных перемещений, при этом нормы составили:

$$\left\| w(z, 0, 2) \Big|_{k=2} - w(z, 0, 2) \Big|_{k=4} \right\| = \max_{-3 \leq z \leq 3} \left| w(z, 0, 2) \Big|_{k=2} - w(z, 0, 2) \Big|_{k=4} \right| = 1,45,$$

$$\left\| w(z, 0, 2) \Big|_{k=4} - w(z, 0, 2) \Big|_{k=6} \right\| = \max_{-3 \leq z \leq 3} \left| w(z, 0, 2) \Big|_{k=4} - w(z, 0, 2) \Big|_{k=6} \right| = 0,61.$$

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 20-19-00217).

Список литературы

- 1 Волны в сплошных средах / А. Г. Горшков. – М. : Физматлит, 2004. – 472 с.
- 2 **Вахтерова, Я. А.** Нестационарная динамика балок и пластин : учеб. пособие / Я. А. Вахтерова, Д. О. Сердюк, Г. В. Федотенков. – М. : МАИ, 2021. – 104 с.: ил.
- 3 Метод компенсирующих нагрузок в задачах теории тонких пластинок и оболочек / Э. С. Венцель [и др.]. – Харьков, 1992. – 92 с.
- 4 **Koreneva, E. V.** Method of compensating loads for solving of anisotropic medium problems // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2018. – no 14 (1). – P. 71–77. – URL: <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2018-14-1-71-77>.
- 5 **Игумнов, Л. А.** Гранично-элементное решение краевых задач трехмерной анизотропной теории упругости / Л. А. Игумнов, И. П. Марков, В. А. Пазин // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. Сер.: Механика. – 2013. – № 1 (3). – С. 115–129.

УДК 519.246.8; 656.222.6

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕРАВНОМЕРНОСТЕЙ НА ПЕРЕВОЗОЧНЫЙ ПРОЦЕСС

Е. В. МАЛОВЕЦКАЯ, А. К. МОЗАЛЕВСКАЯ

Иркутский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация

Учет колебаний вагонопотоков имеет большое значение при формировании долгосрочных прогнозов изменения объемов грузопотоков, перевозимых железнодорожным транспортом. В транспортной отрасли одной из важных производственных проблем является сезонная неравномерность перевозок. Данная проблема негативно сказывается на работе железнодорожной отрасли [1–3]. Актуальными также (в связи с нахождением большого количества вагонов в собственности частных компаний) остаются вопросы транзитности вагонопотоков. Всё это требует введения новых инновационных методов прогнозирования, особенно в управленческом аппарате, с возможностью построения прогноза на период года, месяца, суток и т. д. [4]. При этом необходимо уменьшить влияние человеческого фактора на точность принятия управленческих решений. Процесс приема и сдачи вагонопотоков и поездопотоков по пунктам стыкования железных дорог по своей сути является

временной последовательностью по возрастанию моментов сдачи груженых вагонов. При рассмотрении данного процесса с таких позиций он будет являться точечным.

В предлагаемом докладе рассматривается использование временных рядов для оценки колебаний вагонопотоков.

Особый интерес представляют железнодорожные стыковые пункты, расположенные в границах Восточного полигона, самого передового на сети дорог РФ и имеющего непосредственные выходы к морским портам Дальнего Востока. В связи с этим были проанализированы данные о вагонопотоках, поступающих на прием и сдачу на междорожные стыковые пункты на Дальневосточной ж. д. – стык Архара Забайкальской ж. д. – стык Петровский завод Восточно-Сибирской ж. д. – стык Тайшет Красноярской ж. д. – стык Мариинск. Были получены временные ряды колебания вагонопотоков по каждому стыковому пункту.

Для правильного выбора модели прогноза необходимо провести исследование временных рядов и установить, какими именно являются исследуемые ряды: стационарными или с содержанием стохастического тренда.

Для оценки изменения объёмов вагонопотоков, поступающих на пункты стыкования дорог полигона, необходимо осуществить проверку гипотез случайности исследуемых временных рядов. Проверка гипотезы случайности рядов опирается на оценку определения отдельных компонент временных рядов, основными из которых могут быть следующие критерии для проверки:

- критерий серий, основанный на медиане;
- критерий «восходящих» и «нисходящих» серий.

В качестве примера рассматривается массив данных абстрактного стыкового пункта, по остальным рядам результаты приведены в таблице 1.

Проверка по критерию серий реализуется в последовательности шагов.

Ранжированный (вариационный) $(y(1) > y(2) > \dots > y(n))$ ряд, соответствующий данному временному, формируется из исходного ряда y_t длиной n .

Таблица 1 – Ранжированный вариационный ряд

t	x	t	x	t	x	t	x
1	1376	19	1486	37	1519	55	1625
2	1410	20	1486	38	1519	56	1629
3	1423	21	1490	39	1521	57	1635
4	1423	22	1490	40	1530	58	1638
5	1430	23	1493	41	1541	59	1643
6	1445	24	1493	42	1543	60	1653
7	1448	25	1493	43	1548	61	1662
8	1450	26	1493	44	1550	62	1677
9	1450	27	1493	45	1555	63	1678
10	1452	28	1497	46	1558	64	1681
11	1459	29	1502	47	1562	65	1702
12	1460	30	1506	48	1565	66	1702
13	1467	31	1508	49	1570	67	1703
14	1472	32	1516	50	1595	68	1706
15	1481	33	1519	51	1600	69	1713
16	1481	34	1519	52	1616	70	1723
17	1481	35	1519	53	1620	71	1728
18	1486	36	1519	54	1622	72	1784

Так как количество элементов ряда $n = 72$ (чётно), медиану можно определить

$$Me = \left(\frac{y_n}{2} + \frac{y_n}{2} + 1 \right). \quad (1)$$

Этому номеру соответствует значение ряда 1519, следовательно, медиана $Me = 1519$. Сравнивая значения исходного ряда y_t , $t = \overline{1, n}$ с медианой Me , составим последовательность δ_t , по формуле

$$\delta_t = \begin{cases} +, & \text{если } y_t > Me \\ 0, & \text{если } y_t = Me, t = \overline{1, n} \\ -, & \text{если } y_t < Me \end{cases} \quad (2)$$

Формирование математической модели для оценки динамики временных рядов вагонопотоков, обрабатываемых на стыковых пунктах железных дорог, и прогнозирование изменения их значений невозможны без определения класса рядов. В ходе проведения статистической проверки гипотез о случайности временных рядов вагонопотоков, поступающих по пунктам стыкования дорог полигона, было определено, что данные временные ряды являются нестационарными и содержат стохастический тренд, который удаляется поэтапным дифференцированием временного ряда. Результаты исследования будут использованы для дальнейшего построения модели прогноза поступления вагонопотоков по пунктам стыкования железных дорог РФ.

Список литературы

1 Изменение работы тягового подвижного состава на участках железных дорог Восточного полигона / А. А. Власенский [и др.] // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2021. – № 2 (70). – С. 154–161. – DOI: 10.26731/1813-9108.2021.2(70).154-161.

2 Козловский, А. П. Влияние изменения технологии управления тяговыми ресурсами Восточного полигона на эксплуатационную работу / А. П. Козловский, Г. И. Суханов, А. В. Супруновский // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – № 2 (62). – С. 234–241. – DOI: 10.26731/1813-9108.2019.2(62).234-241.

3 Моделирование крупнейшей в мире железнодорожной сортировочной станции с использованием теории массового обслуживания / М. Л. Жарков [и др.] // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2021. – № 3 (51). – С. 4–14. – DOI: 10.20291/2079-0392-2021-3-4-14.

4 Супруновский, А. В. К вопросу о построении имитационных моделей перевозочных процессов в программной среде ANYLOGIC / А. В. Супруновский, Р. С. Большаков // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2022. – Т. 16, № 3. – С. 31–35. – DOI: 10.36724/2072-8735-2022-16-3-31-35.

УДК 539.3

МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ТРЁХСЛОЙНОЙ ПЛАСТИНЫ СТУПЕНЧАТО-ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ ПРИ ВОСПРИЯТИИ МНОГОКРАТНО-ПОВТОРНОЙ НАГРУЗКИ

М. В. МАРКОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Трёхслойный элемент конструкций обладает явными преимуществами над однослойным. Пакет из разнородных сопряжённых материалов позволяет достичь равной с однослойным элементом деформативности одновременно со значительным снижением общего веса конструкции. Кроме того, за счёт определённых физических характеристик материала, закладываемого в качестве связующего заполнителя, трёхслойный элемент дополнительно наделяется функционально требуемыми параметрами, такими как теплопроводность, звукопроницаемость, электропроводность и т. д.

На сегодняшний день исследованию работы трёхслойных пакетов под действующей внешней нагрузкой посвящена не одна тысяча публикаций, что обусловлено существованием различных подходов к моделированию деформирования таких элементов и методов расчёта поставленных задач. Метод улучшения работы трёхслойного элемента, основанный на локальном утолщении в наиболее напряжённых местах, предложен в работах [1–6]. Колебания гладких трёхслойных пластин на упругом основании исследованы в [7]. Здесь будет описана пластина со ступенчатым изменением толщины наружных облицовочных слоёв и постоянной толщиной срединного заполнителя.

Пластина имеет круглую форму и рассматривается в цилиндрической системе координат r, φ, z . Толщина внешних слоёв задаётся с помощью кусочно-непрерывной функции Хевисайда [8]: $h_1(r) = h_{1(I)} + (h_{1(II)} - h_{1(I)}) \cdot H_0(r - R_1)$; $h_2(r) = h_{2(I)} + (h_{2(II)} - h_{2(I)}) \cdot H_0(r - R_1)$, где I и II – нумерация участков различной толщины; R_1 – радиус центрального участка I. Толщина срединного заполнителя – $h_3 = 2c$, где c – расстояние от зоны склейки слоёв до срединной плоскости заполнителя, к которой привязана система координат. К пластине приложена внешняя нагрузка $q = q_{(I,II)}(r, t)$. В результате чего пластина деформируется, в ней возникает прогиб $w(r, t)$, относительный сдвиг в заполнителе $\psi(r, t)$ и радиальное перемещение координатной поверхности $u(r, t)$. Модель деформирования трёхслойного пакета принята в соответствии с гипотезой «ломаной линии»: для тонких внешних слоёв