

Таким образом, по результатам выполненного исследования, в таблице 1 приводятся значения расстояний от левой границы мульды оседаний на дневной поверхности до левой границы отработанного пространства (от которой велись горные работы) (далее – исследуемое расстояние) и значения максимальных оседаний на дневной поверхности, полученные как в ходе моделирования, так и рассчитанные в соответствии с инженерной методикой для различных значений длины лавы (в направлении движения забоя).

Таблица 1 – Значения исследуемого расстояния и максимальные значения оседаний на дневной поверхности

Длина (в направлении движения забоя) лавы, м	Исследуемое расстояние, м		Максимальное значение оседаний на дневной поверхности, мм	
	Результаты моделирования	Инженерная методика	Результаты моделирования	Инженерная методика
150	312	493	49	55
300	447	493	201	221
450	486	493	353	362
600	476	493	405	422
700	483	493	440	449

Согласно данным таблицы 1 максимальное значение оседаний на дневной поверхности, полученное в ходе моделирования, достаточно близко к тем, что рассчитывались согласно инженерной методике. Также стоит отметить, что, согласно инженерной методике, исследуемое расстояние является константным и зависит только от величины граничных углов. В свою очередь в ходе моделирования было получено, что исследуемое расстояние в начале отработки породного массива стремится от нуля к рассчитанному согласно инженерной методике значению, пока длина отработанного пространства (в направлении движения забоя) не достигнет ~350–400 м. Затем исследуемое расстояние также становится постоянным.

#### Список литературы

- 1 **Филимонов, К. А.** Технология подземных горных работ : учеб. пособие / К. А. Филимонов, В. А. Карасёв. – КузГТУ, 2017. – 187 с.
- 2 **Smolnik, G.** DEM numerical modeling of longwall extraction of coal in "Mysłowice" colliery / G. Smolnik // Minefill 2020-2021. – 2021. – P. 261–271.
- 3 **Islam, M. R.** Finite element modeling of stress distributions and problems for multi-slice longwall mining in Bangladesh, with special reference to the Barapukuria coal mine / M. R. Islam, D. Hayashi, A. B. M. Kamruzzaman // International Journal of Coal Geology. – 2009. – № 2 (78). – P. 91–109.
- 4 **Журавков, М. А.** Современные численные методы в механике: курс лекций / М. А. Журавков. – Минск : БГУ, 2022. – 132 с.

УДК 629.4.018

### ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА БУКСОВОГО УЗЛА ГРУЗОВОГО ВАГОНА

*И. В. КОВРИГИНА*

*Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Чита, Российская Федерация*

*Р. С. БОЛЬШАКОВ*

*Иркутский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Колебательные процессы, возникающие при эксплуатации технических устройств железнодорожного транспорта, оказывают негативное влияние на долговечность составляющих узлов и агрегатов используемых средств, в том числе подвижного состава [1–3]. В этом направлении существует большое количество разнообразных подходов и конструктивных решений [4–6], направленных, в том числе, на развитие научных основ оценки динамического состояния грузовых вагонов [7–9].

В предлагаемом докладе рассматриваются особенности оценки температуры нагрева буксового узла грузового вагона. Стенд для испытания подшипников букс колесных пар состоит из рамы, упорных стоек с упорной плитой, оси с буксами и испытуемыми подшипниками, устройства для

статического радиального и осевого нагружений подшипников, двигателя, механизмов передачи и регулирования скорости вращательного  $j$  движения оси. Стенд позволит исследовать два типа букс с роликовыми подшипниками, коническими подшипниками и подшипниками кассетного чипа. Исследование подшипников проводилось на одном из маршрутов Забайкальской железной дороги. Радиальная нагрузка прикладывается в трех точках поочередно, как показано на рисунке 1, и является постоянной, равной 98 кН. Осевая нагрузка временная и в среднем равна 14 кН. В точке А осевая нагрузка прикладывается в четном направлении, имитируя осевую нагрузку при движении тележки грузового вагона в правом повороте. В точке Б осевая нагрузка прикладывается в нечетном направлении, имитируя осевую нагрузку при движении тележки рулевого вагона в левом повороте (см. рисунок 1).

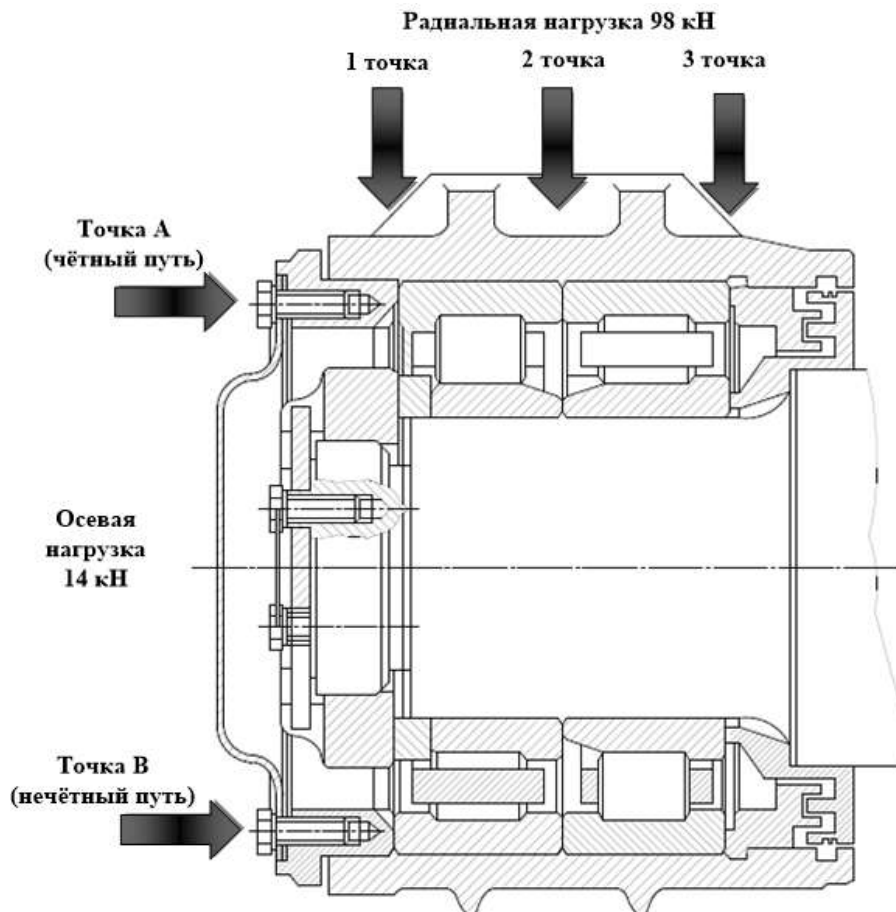


Рисунок 1 – Точки приложения нагрузки на буксовый узел

Предлагаемое конструктивно-техническое решение позволяет достаточно точно смоделировать и имитировать движение по исследуемому железнодорожному маршруту с учетом прохождения кривых, изменения скорости движения в пути следования, а также прилагать постоянную среднюю статическую радиальную нагрузку на испытуемый подшипник, соответствующую 98 кН, на шейку оси груженого вагона и временную осевую нагрузку 14 кН, что обеспечивает повышение достоверности стендовых испытаний подшипников. Методика проведения исследований основана на использовании возможностей лабораторного стенда. Моделирование применяется в тех случаях, когда проведение реального эксперимента сопряжено с опасностью, высокими экономическими и временными затратами или неудобно в масштабе пространства и времени

Предполагается, что лабораторный стенд с такой схемой приложения внешних воздействий позволит наиболее точно воспроизвести температурные режимы буксовых узлов, возникающие при реализации перевозочных процессов. Реализация конструктивно-технического решения позволит обеспечить исследование влияния динамических нагрузок на буксовые узлы на любом выбранном направлении.

## Список литературы

- 1 Методология системного анализа в задачах оценки, формирования и управления динамическим состоянием технологических и транспортных машин / С. В. Елисеев, А. В. Елисеев, Р. С. Большаков, А. П. Хоменко. – Новосибирск : Наука, 2021. – 679 с. – ISBN 978-5-02-041463-1. – EDN KGATIU.
- 2 Концепция обратной связи в динамике механических систем и динамическое гашение колебаний / С. В. Елисеев, А. Н. Трофимов, Р. С. Большаков, А. А. Савченко // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 2012. – № 5. – С. 25. – DOI: 10.7463/0512.0378353. – EDN PGRQDH.
- 3 **Елисеев, С. В.** Особенности построения компактов упругих элементов в механических колебательных системах. Взаимодействия с элементами систем и формы соединения / С. В. Елисеев, С. В. Ковыршин, Р. С. Большаков // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2012. – № 4 (36). – С. 61–70. – EDN PJKJWT.
- 4 **Каргапольцев, С. К.** Современные технологии диагностики остаточных напряжений / С. К. Каргапольцев, А. К. Мозалевская // Системы. Методы. Технологии. – 2024. – № 3 (63). – С. 15–25. – DOI: 10.18324/2077-5415-2024-3-15-25. – EDN DQXVFO.
- 5 Патент № 2689901 С2 Российская Федерация, МПК F16F 15/02, F16F 7/10. Устройство управления вибрационным полем технологической машины : № 2017140746 : заявл. 22.11.2017 : опубл. 29.05.2019 / С. В. Елисеев, Р. С. Большаков, А. В. Елисеев [и др.] ; заявитель Иркутский государственный университет путей сообщения (ФГБОУ ВО ИРГУПС). – EDN KTQODK.
- 6 Возможности интеграции методов теории цепей и теории автоматического управления в задачах динамики машин / С. В. Елисеев, А. О. Московских, Р. С. Большаков, А. А. Савченко // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2012. – № 6. – С. 19. – DOI: 10.7463/0612.0378699. – EDN PGXZJL.
- 7 **Ковригина, И. В.** Влияние на безопасность движения качества ремонта вагонов / И. В. Ковригина, Е. А. Рожкова // Образование – наука – производство : материалы III Всерос. науч.-практ. конф., Чита, 20 декабря 2019 г. Т. 1. – Чита : Забайкальский ин-т ж.-д. трансп. – филиал Иркутского ун-та путей сообщения, 2019. – С. 36–39. – EDN TFIIFT.
- 8 **Ковригина, И. В.** Определение межремонтного ресурса грузового вагона / И. В. Ковригина // Наука и образование транспорту. – 2017. – № 1. – С. 45–48. – EDN YMHRVQ.
- 9 **Ермошенко, Ю. В.** Обобщенные динамические связи, их формы и особенности взаимодействия с объектами вибрационной защиты / Ю. В. Ермошенко, И. В. Фомина, А. Н. Трофимов // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2011. – № 1 (34). – С. 28–37. – EDN NXLTFD.

УДК 539.3

## ДЕФОРМИРОВАНИЕ ТРЕХСЛОЙНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ В ТЕМПЕРАТУРНОМ ПОЛЕ

*А. Г. КОЗЕЛ, Э. И. СТАРОВОЙТОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Конструктивные слоистые элементы широко применяются с середины прошлого века в транспортном машиностроении, аэрокосмическом комплексе и строительстве. Исследование их деформирования в температурном поле является одной из наиболее актуальных проблем в настоящее время. Созданию соответствующих математических моделей посвящен ряд публикаций. В монографиях [1–6] рассмотрены подходы к построению расчетных моделей трехслойных и многослойных элементов конструкций, учету воздействия различных физико-механических полей. В статьях [7–12] рассмотрены свободные колебания и нестационарные нагружения тонкостенных элементов конструкций, включая цилиндрические оболочки. Работы [13–20] посвящены исследованию напряженно-деформированного состояния трехслойных стержней и пластин при квазистатических нагрузках.

Рассматривается замкнутая круговая трехслойная цилиндрическая оболочка средней толщины. Для тонких несущих слоев принимаются гипотезы Кирхгофа – Лява, для жесткого заполнителя используются точные соотношения теории упругости с линейной аппроксимацией перемещений точек от поперечной координаты.

Перемещения в слоях выражаются через шесть неизвестных функций:  $u_{\alpha}^k(x_{\beta}, t)$ ,  $w^k(x_{\beta}, t)$  – тангенциальные перемещения и прогибы точек срединной поверхности несущих слоев в направлении правой системы координат  $x, \varphi, z$  ( $k = 1, 2$  – номер слоя,  $\alpha = 1, 2$ ):

– в несущих слоях ( $c \leq z \leq c + h_1$ ,  $-c - h_2 \leq z \leq -c$ ;  $k = 1, 2$  – номер слоя,  $\alpha = 1, 2$ )

$$u_{\alpha}^{kz} = u_{\alpha}^k + (z \mp a_k) \psi_{\alpha}^k; \quad a_k = c + 0,5h_k,$$