

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ОТ НАГРУЗКИ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОПОЕЗДОВ В КОНСТРУКЦИИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ И ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Вайнштейн Е.В., Салихов М.Г., Вайнштейн В.М., Нехорошков П.А.

ГОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Йошкар-Ола, Россия (424000, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3), e-mail: nehoroshkovpa@volgatech.net

Приведены результаты исследования изменения вертикальных перемещений в конструкции дорожной одежды лесовозной автомобильной дороги методом конечных элементов по программному комплексу PLAXIS. Деформация конструктивных слоев дорожной одежды происходит под действием нагрузок от лесовозных автопоездов. Результаты вертикальных перемещений получены при размещении двух лесовозных автопоездов по полосам движения в поперечном сечении от второй наиболее нагруженной оси тягача и продольном сечении от всех колес четырех осей лесовозного автопоезда. Получены результаты вертикальных перемещений любой точки, расположенной на расстоянии z от поверхности приложения силы, а именно на покрытии, в основании, рабочем слое земляного полотна и теле насыпи. Данные расчетов позволяют сравнить их с натурными данными, полученными при непосредственных измерениях прогибов покрытий.

Ключевые слова: вертикальные перемещения (прогиб), щебеночно-мастичный асфальтобетон, лесовозный автопоезд, конструкция дорожной одежды.

RESEARCH OF CHANGE OF VERTICAL MOVINGS FROM LOADING LESOVOZNYKH OF ROAD TRAINS IN THE DESIGN OF ROAD CLOTHES AND THE ROAD BED THE METHOD OF FINAL ELEMENTS

Vaynshteyn E.V., Salihov M.G., Vaynshteyn V.M., Nehoroshkov P.A.

GOU VPO «Volga region State technological university», Ioshkar Ola, Russia (424000, Ioshkar Ola, Lenin Square, 3), e-mail: nehoroshkovpa@volgatech.net

Results of research of change of vertical movings to designs of road clothes of the lesovozny highway by a method of final elements on the program PLAXIS complex are given. Deformation of constructive layers of road clothes occurs under the influence of loadings from lesovozny road trains. Results of vertical movings are received at placement of two lesovozny road trains on lanes in cross-section section from the second most loaded axis of the tractor and longitudinal section from all wheels of four axes of a lesovozny road train. Results of vertical movings of any point located at distance of z from a surface of application of force, namely on a covering, in the basis, a working layer of a road bed and an embankment body are received. Data of calculations allow to compare them to the natural data received at direct measurements of deflections of coverings.

Keywords: vertical movings (deflection) shchebenochno-mastichny asphalt concrete, lesovozny road train, design of road clothes.

Введение

Дорожные условия оказывают значительное влияние на технико-эксплуатационные показатели работы автомобильного лесотранспорта. Дорожная одежда лесовозной автомобильной дороги является сложной многослойной инженерной конструкцией, на которую воздействуют нагрузки от лесовозных автопоездов и других транспортных средств [6].

Целью работы является исследование изменений вертикальных перемещений, деформации дорожной одежды и земляного полотна под действием нагрузок, действующих от лесовозных автопоездов. Решаемые задачи, направленные на достижение цели,

закключаются в следующем. Основные уравнения имеют следующий вид. Рассмотрим силу F (рис. 1), действующую на упругое полупространство, которое имеет модуль упругости E и коэффициент Пуассона μ . Выберем произвольную систему координат, в которой ось Z направлена вниз по направлению действия силы, а две другие оси расположены в плоскости действия силы. Координаты точки приложения силы обозначим x, y, z , причём $z = 0$ [2].

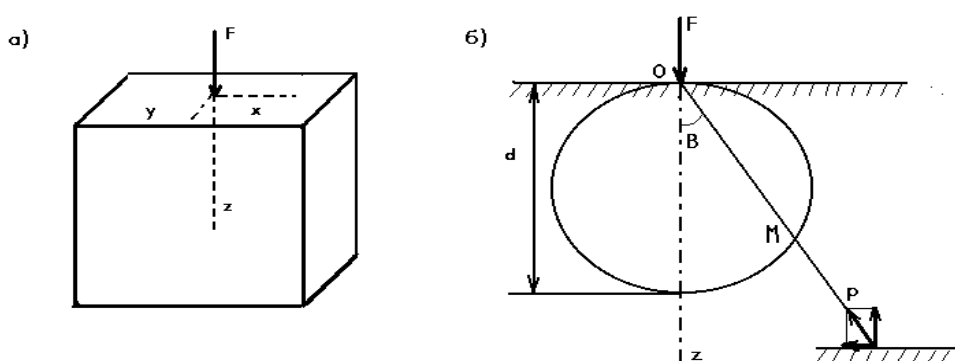


Рис. 1. Расчетная схема действия сосредоточенной силы на полупространство и напряжения в точке М.

Пусть имеется некоторая точка M с координатами x_m, y_m, z_m . Расстояние от точки M до точки приложения силы обозначим R и найдём по формуле:

$$R = \sqrt{(x_m - x)^2 + (y_m - y)^2 + z_m^2} \quad (1)$$

Вертикальные перемещения любой точки, расположенной на расстоянии z от поверхности приложения силы, может быть найдено по зависимости:

$$\delta = \iint_{\omega} \frac{(1+\mu)q}{2\pi E} \left[\frac{z_m^2}{R^3} + \frac{2(1-\mu)}{R} \right] dx dy \quad (2)$$

Рассмотрим влияние параметров лесовозных автопоездов и их расстановку на автодороге при определении вертикальных перемещений в покрытии, основании дорожной одежды, рабочем слое земляного полотна и в теле насыпи на глубине 84–200 см от поверхности покрытия. Схема расстановки двух лесовозных автопоездов и координат колес приведена на рис. 2. Нагрузка на вторую ось принята с коэффициентом перегруза, равным $K_n = 1,4$.

Выберем произвольную систему координат, у которой ось Z направлена вдоль трассы по ходу движения по правой полосе, ось X перпендикулярно ей, ось Y вниз, плоскость XOZ на поверхности покрытия.

Параметры и координаты отпечатков колес лесовозных автопоездов по вариантам их расстановки приведены в таблице 1.

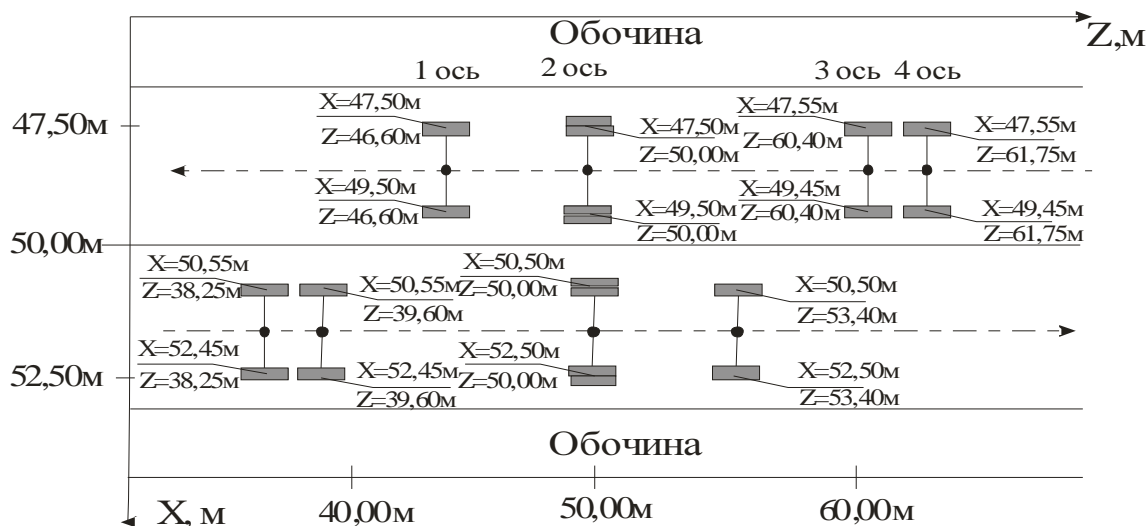


Рис. 2. Схема расстановки двух лесовозных автопоездов.

Таблица 1 – Параметры и координаты отпечатков колес лесовозных автопоездов

№ лесовоза	№ оси	Диаметр отпеч. колеса, см	Нагрузка на колеса, кН	Координаты колес автопоезда, м							
				Левая полоса движения				Правая полоса движения			
				Правые колеса		Левые колеса		Левые колеса		Правые колеса	
				X	Z	X	Z	X	Z	X	Z
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Вариант 1											
1, 2	1	26	32,5	47,50	46,60	49,50	46,60	50,50	53,40	52,50	53,40
	2	43	89,18	47,50	50,00	49,50	50,00	50,50	50,00	52,50	50,00
	3	36	61,75	47,55	60,40	49,45	60,40	50,55	39,60	52,45	39,60
	4	36	61,75	47,55	61,75	49,45	61,75	50,55	38,25	52,45	38,25

Исследования параметров напряженно-деформированного состояния конструкции дорожной одежды лесовозной автомобильной дороги после расстановки лесовозных автопоездов и определения его параметров произведены методом конечных элементов.

В настоящее время существует ряд программ, реализующих данный метод. В работе был использован наиболее адаптированный к дорожной специфике программный комплекс

PLAXIS. Расчетный комплекс PLAXIS представляет собой пакет прикладных вычислительных программ для конечно-элементного анализа напряженно-деформированного состояния системы «основание – фундамент – сооружение» в условиях плоской и осесимметричной задач [3].

Исходными данными для расчета послужили следующие данные.

1 слой – асфальтобетонное покрытие из ЩМА толщиной 0,06 м. Модуль упругости асфальтобетона при +20 °С равен $E_{упр} = 1477$ МПа; коэффициент Пуассона $\mu=0,1$; плотность $\rho = 25,10$ кН/м³;

2 слой – асфальтобетонное покрытие из пористого асфальтобетона М – I толщиной 0,06 м. Модуль упругости асфальтобетона при +20 °С равен $E_{упр} = 800$ МПа; коэффициент Пуассона $\mu=0,1$; плотность $\rho = 24,30$ кН/м³;

3 слой – щебеночное основание толщиной 0,38 м. Модуль упругости щебня равен $E_{упр} = 250$ МПа; коэффициент Пуассона $\mu=0,15$; плотность $\rho = 20,0$ кН/м³;

4 слой – песчаный слой толщиной 0,34 м. Модуль упругости равен $E_{упр} = 100$ МПа; коэффициент Пуассона $\mu=0,25$; плотность $\rho = 16,5$ кН/м³, сцепление $C = 5$ кПа (5 кН/м²), угол внутреннего трения $\varphi = 42^\circ$;

5 слой – грунт суглинок легкий. Модуль упругости равен $E_{упр} = 43$ МПа; коэффициент Пуассона $\mu=0,35$; плотность $\rho = 18,0$ кН/м³, сцепление $C = 4,7$ кПа (4,7 кН/м²), угол внутреннего трения $\varphi = 26^\circ$.

На основании проведенных расчетов при расстановке лесовозов по варианту № 1 получены следующие данные по определению продольных и поперечных вертикальных перемещений.

Расчетная схема метода конечных элементов приведена на рис. 3. На ней показана схема расстановки двух лесовозов и нагрузки, действующей от колес на покрытие.

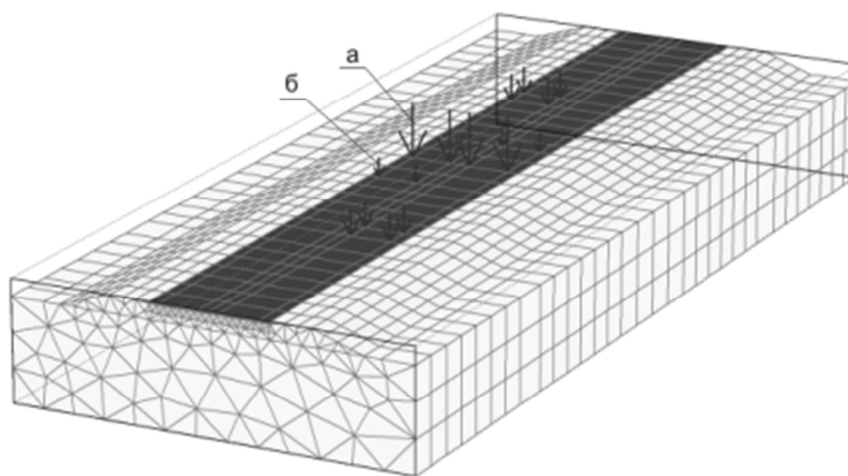


Рис. 3. Расчетная схема метода конечных элементов:

а – большими стрелками показано положение наиболее нагруженной задней оси лесовоза;

б – маленькими стрелками показано положение всех остальных, менее нагруженных осей.

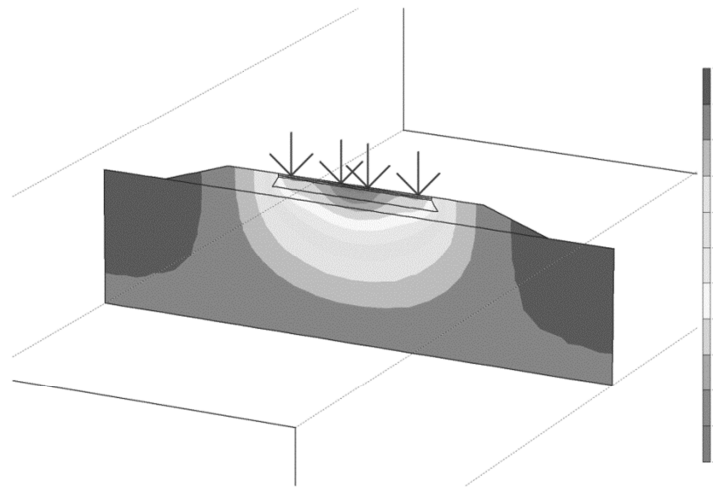


Рис. 4. Изолинии вертикальных перемещений в опасном сечении.

Значения вертикальных перемещений в опасном сечении в соответствии с изолиниями приведены на рис. 5.

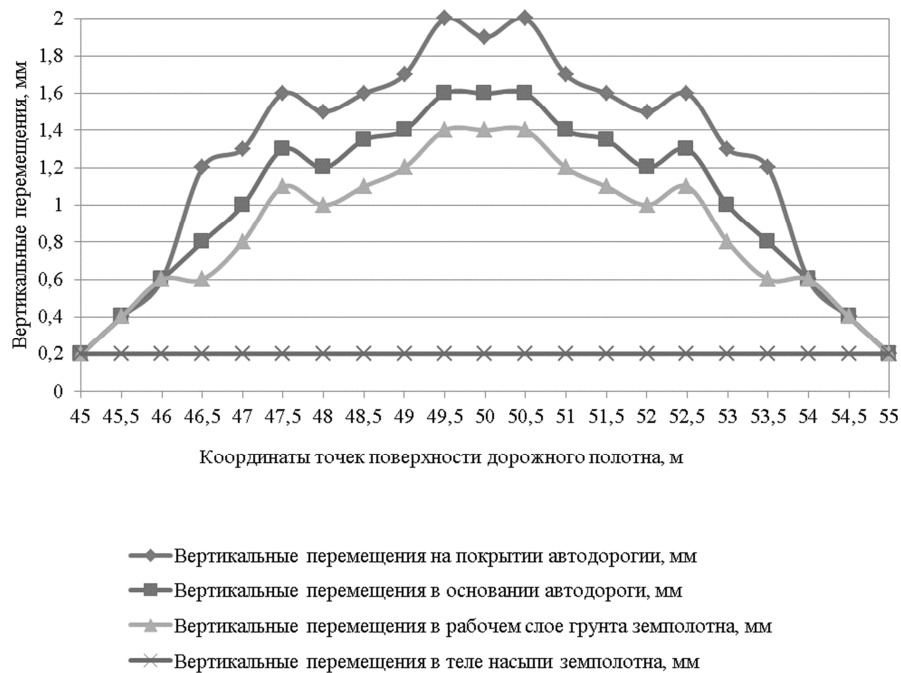


Рис. 5. График вертикальных перемещений точки от нагрузки на вторую ось лесовозного автопоезда в поперечном сечении.

Вертикальные перемещения точки в поперечном сечении определялись на поверхности покрытия, в основании на глубине 50 см, в рабочем слое земляного полотна на глубине 84 см, а также в грунте земляного полотна автомобильной дороги.

Анализ изменения вертикальных перемещений показал следующее. Наибольшие прогибы возникают под колесами автопоезда на покрытии проезжей части автодороги. Вертикальные перемещения (прогиб) под колесами второй оси тягача лесовозного автопоезда составляют $\delta=2$ мм. При этом колеса расположены в 0,5 м от оси проезжей части автодороги. Соответственно, прогиб на кромке асфальтобетонного покрытия составляет 1,2 мм, на бровке земляного полотна – 0,2 мм. На расстоянии 5 м от оси прогибы уменьшаются в 10 раз. В основании автодороги прогибы по ширине земляного полотна соответственно составляют: под колесами тягача – 1,6 мм; под кромками покрытий – 0,8 мм; под бровкой земляного полотна – 0,2 мм. В рабочем слое земляного полотна под колесами тягача – 1,4 мм; под кромками покрытий – 0,6 мм; под бровкой земляного полотна – 0,2 мм. С глубиной в конструктивных слоях дорожной одежды значения вертикальных перемещений в опасном сечении под колесами 2 оси тягача на отметках 49,5 и 50,5 м уменьшаются в 1,4 раза.

На основании построенных изолиний вертикальные перемещения точек полупространства от нагрузки лесовозного автопоезда вдоль автодороги на проезжей части приведены на рис. 6.

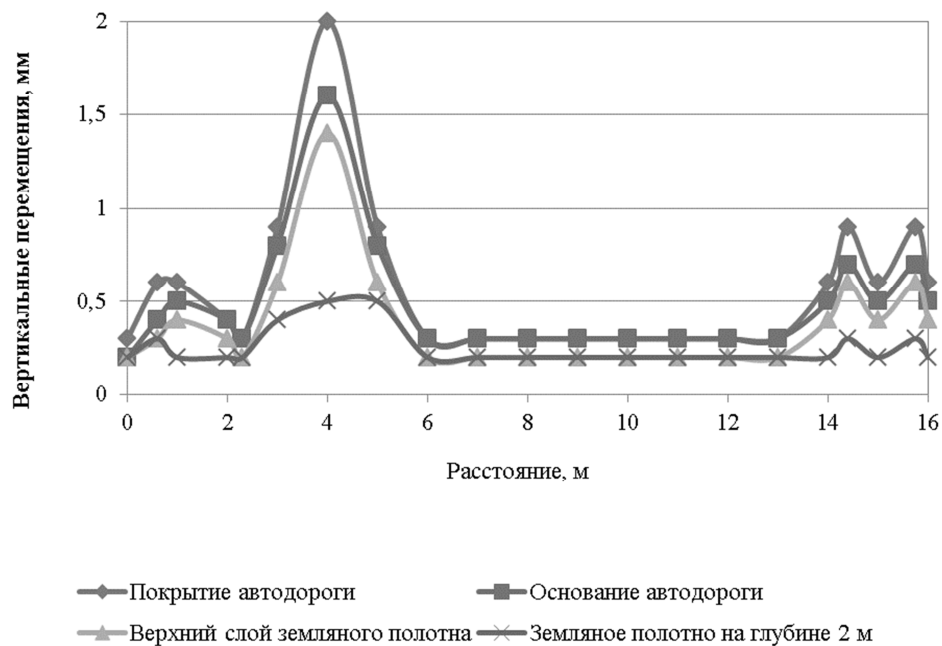


Рис. 6. График вертикальных перемещений от нагрузки лесовозного автопоезда вдоль дороги.

Анализ графиков, представленных на рис. 6, показывает, что вертикальные перемещения в продольном сечении изменяются в зависимости от действия нагрузки, приходящейся на разные оси лесовозного автопоезда. Так, вертикальные перемещения (прогибы) на покрытии проезжей части составляют: от колеса первой оси автопоезда с нагрузкой 32 кН – 0,6 мм,

второй оси 89 кН – 2 мм, третьей и четвертой оси роспуска 61 кН – 0,9 мм. В основании автодороги, рабочем слое земляного полотна и в теле земляного полотна с глубиной вертикальные перемещения уменьшаются. На уровне рабочего слоя земляного полотна под колесами первой оси в 1,5 раза, второй оси – 1,4 раза, третьей и четвертой оси роспуска в 1,5 раза.

Выводы

Исследования изменения вертикальных перемещений от нагрузки лесовозных автопоездов в конструкции дорожной одежды и земляного полотна методом конечных элементов по программному комплексу «PLAXIS» показали следующее.

1. Наибольшие вертикальные перемещения (прогибы) в поперечном и продольном сечении наблюдаются под второй осью тягача на покрытии проезжей части.

2. По толщине конструкции дорожной одежды с увеличением глубины от поверхности покрытия вертикальные перемещения в поперечном сечении от второй оси тягача уменьшаются. На уровне щебеночного основания глубиной 50 см от покрытия прогибы уменьшаются в 1,25 раза, в рабочем слое земляного полотна, на глубине 84 см от покрытия в 1,4 раза.

3. Вертикальные перемещения в продольном сечении на уровне рабочего слоя земляного полотна уменьшаются в сравнении с покрытием проезжей части автодороги под колесами первой оси в 1,5 раза, второй оси – 1,4 раза, третьей и четвертой оси роспуска в 1,5 раза.

Список литературы

1. Александров А.В. Основы теории упругости и пластичности : учебник для строит. спец. вузов / А.В. Александров, В.Д. Потапов. – М. : Высш. шк., 1990. – 400 с. : ил.
2. Вайнштейн В.М. Разработка конструкции и технологии строительства лесовозных дорог с использованием отсевов дробления известняков (для условий РМЭ) : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Йошкар-Ола, 2002. – 22 с.
3. Вайнштейн Е.В. Технология строительства лесовозных дорог из щебеночно-мастичных асфальтобетонов с отсевами дробления известняков : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Йошкар-Ола, 2010. – 16 с.
4. Вайнштейн В.М. Метод определения деформации асфальтобетонных образцов при повышенных температурах покрытия и установления времени прогноза образования колеи // В.М. Вайнштейн, Е.В. Вайнштейн // Актуальные проблемы строительного и дорожного комплексов – 2007 : межвуз. сб. науч. ст. – Йошкар-Ола : МарГТУ, 2008. – С. 209-212.
5. Ицкович Г.М. Сопротивление материалов. – М. : Высш. шк., 1960. – 530 с.

6. Радовский Б.С. Проектирование дорожных одежд для движения большегрузных автомобилей / Б.С. Радовский, А.С. Супрун, И.И. Козаков. – Киев : Будивэльнык, 1989. – 168 с.
7. Илиополов С.К., Углова Е.В. Долговечность асфальтобетонных покрытий в условиях роста динамического воздействия транспортных средств. – М. : Федеральное дорожное агентство Министерства транспорта РФ, 2007. – 37 с.
8. Osinovskay V.A. Vibrating loading of flexible pavement // Bulletin MADI. – 2010. – № 4 (19). – P. 79-83.
9. Takemi Inoue, YasuoGunji, HirokazuAkagi. Rational design method of hot mix asphalt based on calculated VMA / Eurasphalt&Eurobitume Congress. – Vienna, 2004. – P. 1956-1966.

Рецензенты

Савельев В.В., доктор технических наук, профессор кафедры строительного производства Чебоксарского политехнического института (филиала) Московского государственного открытого университета, г. Чебоксары.

Смирнов М.Ю., доктор технических наук, профессор кафедры Транспортно-технологических машин ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола.