

МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОЙ ОБЕЧАЙКИ ВАЛЬЦА ДОРОЖНОГО КАТКА ПРИ УПЛОТНЕНИИ ДОРОЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Речицкий С.В.¹, Речицкий А.С.²

¹*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин);*

²*Сибирский государственный университет путей сообщения, Новосибирск*

Ключевые слова: валец, дорожный каток, деформация, уплотнение, эллиптическая поверхность, математическая модель.

Аннотация. Статья направлена на определение геометрических параметров гибких рабочих органов с эллиптической поверхностью дорожных катков. Рассмотренные математические зависимости и разработанная теория расчёта доказывают возможность регулирования (оптимизации) параметров контактного взаимодействия гибких рабочих органов с эллиптической поверхностью дорожных катков с уплотняемым слоем путём варьирования в эксплуатационных условиях проектно-конструктивных размеров полуосей эллиптической поверхности вальца, регулируя этим силовое воздействие на уплотняемый дорожно-строительный материал.

MECHANICS OF THE DEFORMABLE SHELL OF THE ROLLER ROLLER WHEN COMPACTING ROAD MATERIALS

Rechitskiy S.V.¹, Rechitskiy A.S.²

¹*Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering;*

²*Siberian State University of Railways, Novosibirsk*

Keywords: roller, road roller, deformation, seal, elliptical surface, mathematical model.

Abstract. The article is aimed at determining the geometric parameters of flexible working bodies with an elliptical surface of road rollers. The considered mathematical dependencies and the developed theory of calculation prove the possibility of regulating (optimizing) the parameters of the contact interaction of flexible working bodies with the elliptical surface of road rollers with a compacted layer by varying in operating conditions the design and structural dimensions of the semi-axes of the elliptical surface of the roller, thus regulating the force effect on the compacted road-building material.

Вопросы напряженно-деформированного состояния рабочих органов дорожных катков и взаимодействующей с ними уплотняемой среды относятся к постоянно изучаемой области дорожно-строительной отрасли. В направлении решения этой актуальной проблемы в работах [1, 2] представлена приближенная математическая модель оригинальной фундаментально-прикладной задачи теории упругости.

В качестве численного примера применения математической модели, представленной в работах [1, 2] приводим алгоритм определения основных контактных характеристик c , c_0 , h , h_0 , q_m , q_{m0} , q_c , q_{c0} , l , l_0 при $B = 140$ см, $R = 60$ см, $\xi = \sqrt{2}/2 = 0,70711$, $G_B = 42,5$ кН, $E_K = 65$ МПа = $6,5$ кН/см² (асфальтобетон марки «А» в уплотняемом состоянии с коэффициентом $K_y = 1$ [3]) при соблюдении условия стационарности:

$$S = S_0 = 2 \cdot \pi \cdot R. \quad (1)$$

1) Соотношение между S и a , соответствующее интегралу (20) [1], с применением таблиц [4, 5]:

$$S = 4 \cdot a \cdot 1,3506 = 5,4024 \cdot a. \quad (2)$$

2) Размеры полуосей эллипса из системы уравнений (2.30) [2] и (1), периметр вальца S и радиус кривизны $R(0)$ – зависимость (7) [1] или (2.22) [2]:

$$\begin{cases} v^2 / a^2 = 1 - \xi^2 = 0,5; \\ S_O = 2 \cdot \pi \cdot 60 = 377 \text{ см} = 5,4024 \cdot a = S. \end{cases} \quad (3)$$

Откуда:

$$a = 69,78 \text{ см}; \quad v = a \cdot \sqrt{2} / 2 \approx 69,78 \cdot 0,70711 = 49,34 \text{ см}; \quad (4)$$

$$S = S_O = 377 \text{ см};$$

$$R(0) = \frac{a^2}{v} = \frac{69,78^2}{49,34} = 98,69 \text{ см}. \quad (5)$$

3) Длины полухорд c , c_O по формулам (12) [1], (2.34) [2] с проверкой условий $c \ll R(0)$ и $c_O \ll R$, используя (5):

$$\left. \begin{aligned} c &= 69,78 \cdot \sqrt{\frac{3,75 \cdot 42,5}{\pi \cdot 6,5 \cdot 49,34 \cdot 140}} = 2,35 \text{ см} \ll 98,69 \text{ см}; \\ c_O &= \sqrt{\frac{3,75 \cdot 60 \cdot 42,5}{\pi \cdot 6,5 \cdot 140}} = 1,83 \text{ см} \ll 60 \text{ см}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

4) Реактивные контактные давления q_M , q_{MO} , q_C , q_{CO} , согласно (9) и (10) [1], (2.33) и (2.34) [2]:

$$\left. \begin{aligned} q_C &= \frac{42,5}{2 \cdot 140 \cdot 2,35} = 0,06459 \frac{\kappa H}{\text{см}^2} = 64,59 \cdot 10^4 \frac{H}{\text{м}^2} \text{ (Па)}, \\ q_M &= \frac{4}{\pi} q_C = \frac{4}{\pi} 0,06459 = 0,08224 \frac{\kappa H}{\text{см}^2} = 82,24 \cdot 10^4 \frac{H}{\text{м}^2} \text{ (Па)}; \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

$$\left. \begin{aligned} q_{CO} &= \frac{42,5}{2 \cdot 140 \cdot 1,83} = 0,08294 \frac{\kappa H}{\text{см}^2} = 82,94 \cdot 10^4 \frac{H}{\text{м}^2} \text{ (Па)}, \\ q_{MO} &= \frac{4}{\pi} q_C = \frac{4}{\pi} 0,08294 = 0,1056 \frac{\kappa H}{\text{см}^2} = 105,6 \cdot 10^4 \frac{H}{\text{м}^2} \text{ (Па)}. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

5) Параметры h и h_O , характеризующие величину погружения катка – формулы (13) [1], (2.35) [2] или общая зависимость (2.15) [2] при $a = v = R$ для вычисления h_O :

$$\left. \begin{aligned} h &= 49,34 \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2,35}{69,78} \right)^2} \right] = 0,028 \text{ см}; \\ h &= 60 \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,83}{60} \right)^2} \right] = 0,028 \text{ см} = h; \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

то есть, с точностью до тысячных долей сантиметра $h = h_O = 0,0028 \text{ см}$.

6) Амплитуды или углы φ_i , φ_{i0} , , учитывая (18) [1], (2.36) [2], (5) и (6):

$$\left. \begin{aligned} \varphi_i &= \arcsin(2,35/69,78) = 1,93^\circ = 0,0337 \text{ (рад)}; \\ \varphi_{i0} &= \arcsin(1,83/60) = 1,75^\circ = 0,0305 \text{ (рад)}. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

7) Линейные размеры полудуг l , l_0 (рисунки 2 и 3 [1]) с использованием формул (19) [1], (2.37) [2] и таблицы неполных эллиптических интегралов [3]:

$$\left. \begin{aligned} l &= a \cdot E(\varphi_i, \xi) = 69,78 \cdot E(1,93^\circ, \sqrt{2}/2) = 69,78 \cdot 0,0337 = 2,352 \text{ см} \approx c = 2,35 \text{ см}; \\ l_0 &= R \cdot \varphi_{i0} = 60 \cdot 0,0305 = 1,83 \text{ см} = c_0 = 1,83 \text{ см}. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Равенства $l \approx c$ и $l_0 \approx c_0$ в данном примере получились ввиду очень малых углов φ_i , φ_{i0} и соответствующих полухорд c , c_0 , что является следствием относительно большой жесткости уплотнённого слоя асфальтобетона марки «А», имеющего максимальный модуль деформации $E = 65$ МПа [4].

Выполненный расчёт проиллюстрирован на рисунке 1, а и в таблице 1, в которую включены ещё две разновидности дорожных одежд с $E_K < 65$ МПа [4] и теми же исходными геометрическими характеристиками вальцов $B = 140$ см, $R = 60$ см, $\xi = \sqrt{2}/2 = 0,70711$; $\xi = 0$, а также каток, имеющий: $S = S_0 = 377$ см, эксцентриситет (модуль) $\xi = \sqrt{3}/2 = 0,86603$ и соответствующее значение эллиптического интеграла $E(\xi) = 1,2111$ [3,5]. Полученные при этом результаты существенно отличаются от расчётных данных первого примера, где, как уже отмечено, $E = 65$ МПа = max.

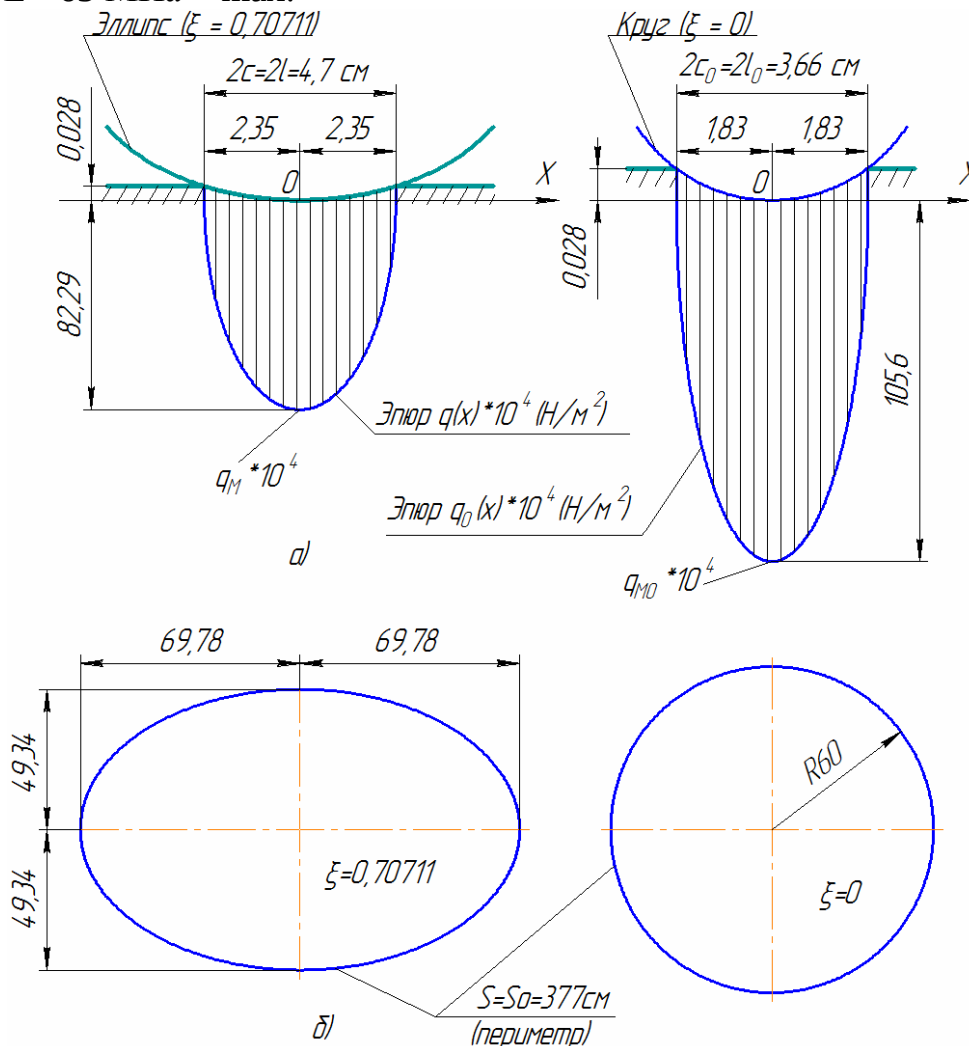


Рис. 1. Результаты вычислений при $E = 65$ МПа

На том же рисунке 1,б, изображены очертания поверхностей исследуемых валцов, у которых $\xi=0,70711$; $\xi=0$ (размеры в «см»).

На рисунке 2 дана зависимость длины полухорды от модуля деформации, на рисунке 3 – зависимость контактного давления от модуля деформации, а на рисунке 4 – зависимость контактного давления от радиуса кривизны вальца.

Табл. 1. Зависимость параметров уплотнения от модуля деформации

Форма вальца	Эксцентриситет ξ	Искомые параметры (буквенные обозначения)	Модуль деформации E_K , МПа [4]				
			116 скальный грунт	65 асфальто-бетон марки «А»	30 связный грунт	20 плотный грунт	8 неуплотнённый грунт
Эллипс	0,70711	c , см	1,75	2,35	3,54	4,23	6,68
		l , см	1,75	2,35	3,54	4,23	6,68
		$R(0)$, см	98,69	98,69	98,69	98,69	98,69
		h , см	0,015	0,028	0,063	0,090	0,226
		$q_M, \times 10^4 \text{ Н/м}^2 (\text{Па})$	108,85	82,24	53,8	45,14	28,51
		$q_C, \times 10^4 \text{ Н/м}^2 (\text{Па})$	85,71	64,59	42,37	35,54	22,45
	0,86603	c , см	2,20	2,94	4,33	5,30	8,40
		l , см	2,20	2,94	4,33	5,30	8,40
		$R(0)$, см	155,64	155,64	155,64	155,64	155,64
		h , см	0,015	0,027	0,06	0,090	0,220
		$q_M, \times 10^4 \text{ Н/м}^2 (\text{Па})$	86,59	64,79	43,99	35,94	22,7
		$q_C, \times 10^4 \text{ Н/м}^2 (\text{Па})$	68,18	51,02	34,64	28,3	17,87
Круг	0	c_0 , см	1,36	1,83	2,69	3,29	5,2
		l_0 , см	1,36	1,83	2,69	3,29	5,2
		R , см	60	60	60	60	60
		h_0 , см	0,015	0,028	0,060	0,090	0,226
		$q_{MO}, \times 10^4 \text{ Н/м}^2 (\text{Па})$	140,07	105,6	70,81	57,89	36,63
		$q_{CO}, \times 10^4 \text{ Н/м}^2 (\text{Па})$	110,29	82,94	55,76	45,59	28,84

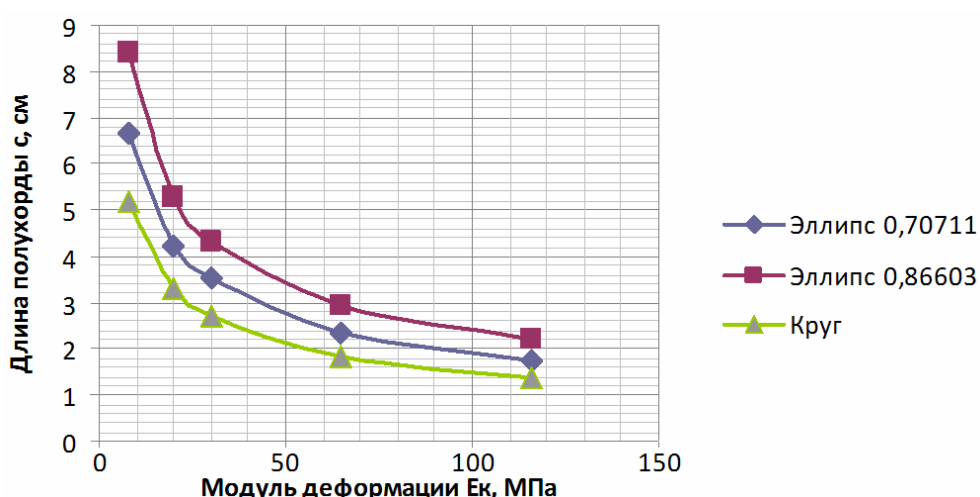


Рис. 2. Зависимость длины полухорды от модуля деформации

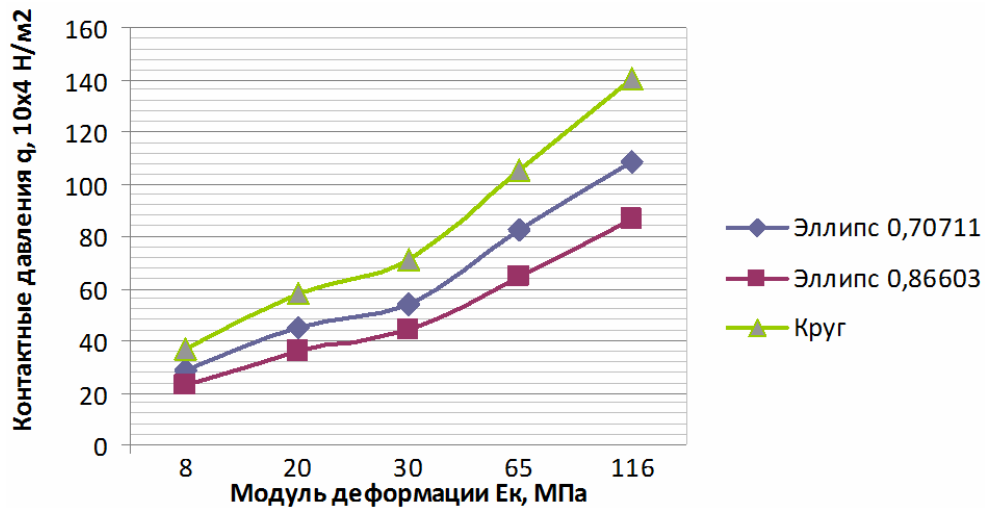


Рис. 3. Зависимость контактного давления от модуля деформации

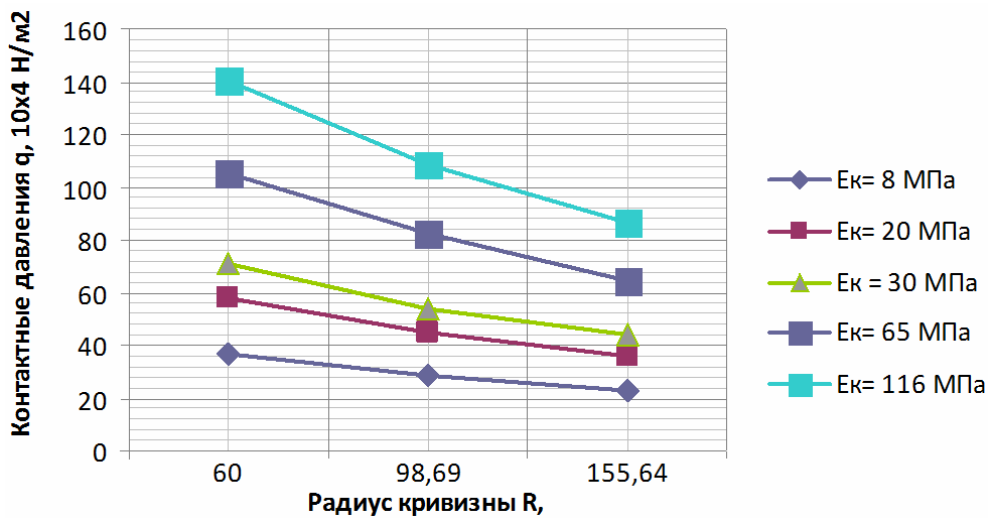


Рис. 4. Зависимость контактного давления от радиуса кривизны вальца

Список литературы

1. Абдеев Б.М., Дудкин М.В., Речицкий С.В. Математическое моделирование взаимодействия неподвижного гибкого вальца дорожного катка и уплотняемой среды // Материалы Международного симпозиума «Наноматериалы для защиты промышленных и подземных конструкций» и XI Международной конференции «Физика твердого тела». – Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2010. – 620 с.
2. Речицкий С.В. Исследование рабочего процесса дорожного катка с местной деформацией вальца в зоне уплотнения: Монография. – Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2012. – 128 с.
3. Биргер И.А., Шорр Б.Ф., Иосилевич Г.Б. Расчёт на прочность деталей машин: Справочник. – М.: Машиностроение, 1979. – 701с.
4. Попов Е.П. Теория и расчёт гибких упругих стержней. – М: Наука, 1986. –296 с.
5. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1962. – 608с.

Сведения об авторах:

Речицкий Сергей Васильевич – к.т.н., доцент кафедры строительных машин, автоматизации и электротехники;

Речицкий Александр Сергеевич – студент.