

УДК 624.132.1

Оценка точности инженерных расчетов пластинчатых рессор

Михаил Сукач

Киевский национальный университет строительства и архитектуры
03037, Воздухофлотский проспект 31, Киев, Украина,
msukach@ua.fm, <https://orcid.org/0000-0003-0485-4073>

Received: 01.02.2020; Accepted: 10.03.2020
<https://doi.org/10.32347/gbdmm2020.95.0101>

Аннотация. Ранее была изложена методика инженерного расчета скобовидной пластинчатой рессоры с криволинейными полками (СПРк) и дан пример такого расчета применительно к рессоре задней подвески кабины автомобиля КамАЗ [1, 2]. Как показали предварительные исследования, точность расчета СПРк заметно зависит от выбора исходных условий для такого расчета и величины шага суммирования при замене интегрирования суммированием малых приращений [3 – 5]. Поэтому представилось целесообразным оценить влияние упомянутых условий на результаты расчета одной и той же СПРк при их вариации.

Целью таких сравнительных расчетов является выработка рекомендаций для проведения инженерных расчетов СПРк с наименьшей трудоемкостью при точности, удовлетворяющей требованиям практического применения. Поскольку расчеты проводились как сравнительные, и в результате определялась их точность как относительная величина прогиба СПРк к прогибу рессоры, вычисленному по методике, условно принятой за исходную, то абсолютная величина начальных данных, положенных в основу расчета, могла быть выбрана в значительной степени произвольно. Приведенные ниже расчеты выполнены применительно к СПРк, предназначенной для подвески колес тяжелого грузового автомобиля, рессоры которого изготовлены из стали 60С2ХФА.

Рассчитываемая СПРк имеет полотно и полки постоянной толщины, причем исходный для расчета радиус кривизны полки постоянен на всей ее длине [6, 7, 15]. Расчету подлежал лишь собственный прогиб полки δ_1 поскольку именно точность вычисления его величины

определяет точность расчета всей рессоры [8 – 10, 16, 17].

Ключевые слова: скобовидная пластинчатая рессора, прогиб, момент сопротивления, напряжение изгиба

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценка точности инженерных расчетов скобовидной пластинчатой рессоры с криволинейными полками, удовлетворяющей требованиям практического применения.

РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ РЕССОРЫ

Исходные данные

Расчетная схема полки СПРк изображена на Рис.1.

Примем для расчета:

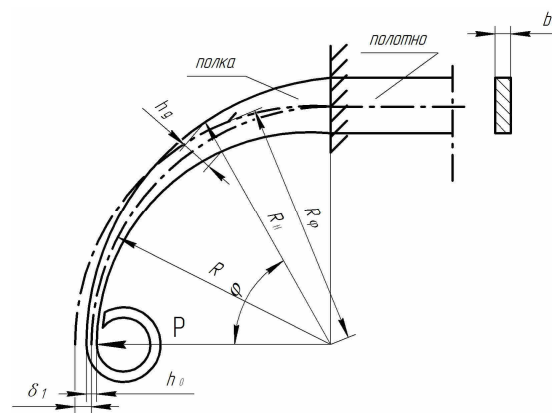


Рис.1. Расчетная схема полки рессоры

Fig. 1. Design scheme shelf of springs

- продольная нагрузка $P = 50000 \text{ Н}$;
- наибольшее допускаемое напряжение изгиба в полке и полотне $[\delta_u] = 1500 \text{ МН/м}^2$;
- толщина рессоры $b = 1,4 \text{ см} = \text{const}$;
- модуль упругости $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МН/м}^2$.

1. Расчет при постоянном радиусе нейтральной линии полки

Примем: $R = 30 \text{ см} = \text{const}$, $[\sigma_u] = \text{const}$.

Необходимый момент сопротивления корневого сечения полки СПРк

$$[W] = \frac{PR}{[\sigma_u]} ; \quad (1)$$

$$[W] = \frac{50000 \cdot 30}{1500 \cdot 10^2} = 10 \text{ см}^3 .$$

Необходимая высота корневого сечения полки

$$[h] = \sqrt{\frac{6W}{b}} ; \quad (2)$$

$$[h] = \sqrt{\frac{6 \cdot 10}{1,4}} = 6,55 \text{ см} .$$

Принимаем высоту сечения $h = 6,55 \text{ см}$.

Согласно формуле $f \approx 2,396 \frac{R^2 [\delta]}{h_1 E}$, по-

лученной автором для проектировочного расчета СПР с криволинейными полками, работающей преимущественно на сжатие, теоретический прогиб полки СПРк

$$\delta_{11} = 2,396 \frac{R^2 [\sigma_u]}{hE} ; \quad (3)$$

$$\delta_{11} = 2,396 \frac{30^2 \cdot 1500}{6,55 \cdot 2,1 \cdot 10^5} = 2,35 \text{ см} .$$

2. Расчет по среднему радиусу нейтральной линии полки при постоянном наружном радиусе R_H

Примем, при $h = 6,55 \text{ см}$ и радиусе нейтральной линии полки в ее корневом сечении при $\varphi = 90^\circ$, $R_k = R = 30 \text{ см}$, высоту начального сечения полки (при $\varphi = 0^\circ$)

$$h_o = \frac{h}{5} = 1,3 \text{ см} .$$

При постоянном наружном радиусе полки

$$R_H = R + \frac{h}{2} = \text{const} ; \quad (4)$$

$$R_H = 30 + \frac{6,55}{2} = 33,275 \text{ см} = \text{const} .$$

Радиус R_o нейтральной линии в начальном сечении полки

$$R_o = R_H - \frac{h_o}{2} ; \quad (5)$$

$$R_o = 33,275 - \frac{1,3}{2} = 32,625 \text{ см} .$$

Условный средний радиус нейтральной линии полки

$$R_{cp} = \frac{R + R_o}{2} ; \quad (6)$$

$$R_{cp} = \frac{30 + 32,625}{2} = 31,31 \text{ см} .$$

Прогиб полки, вычисленный по методу п.2,

$$\delta_{12} \approx 2,396 \frac{R_{cp}^2 [\sigma_u]}{hE} ; \quad (7)$$

$$\delta_{12} \approx 2,396 \frac{31,31^2 \cdot 1500}{6,55 \cdot 2,1 \cdot 10^5} = 2,56 \text{ см} .$$

3. Расчет при постоянном наружном радиусе полки

Опыт изготовления скобовидных пластинчатых рессор показал, что технологически предпочтительнее выполнять их с постоянным (заданным) наружным радиусом полки.

Примем, при геометрических параметрах рессоры, определенных в п.1 и 2,

$$R_H = R + \frac{h}{2} = 33,275 \text{ см}$$

Прогиб полки СПРк определяется по формуле Мора

$$\delta_{13} = \int_0^{\pi/2} \frac{M_\varphi \bar{M}_\varphi R_\varphi d_\varphi}{EI_\varphi}, \quad (8)$$

где

$$M_\varphi = PR_\varphi \sin \varphi \quad (9)$$

$$M_\varphi = R_\varphi \sin \varphi$$

$$R_\varphi = R_H - \frac{h_\varphi}{2}; \quad (10)$$

$$I_\varphi = \frac{bh_\varphi^3}{12}. \quad (11)$$

С учетом формул (9 – 11)

$$\delta_{13} = \frac{12P}{bE} \int_0^{\pi/2} \frac{R_\varphi^3 \sin^2 \varphi d\varphi}{h_\varphi^3}; \quad (12)$$

$$h_\varphi = \sqrt{\frac{6PR_\varphi \sin \varphi}{b[\sigma_u]}}; \quad (13)$$

$$h_\varphi = \sqrt{\frac{6 \cdot 50000 \left(R_H - \frac{h_\varphi}{2} \right) \sin \varphi}{1,4 \cdot 1500 \cdot 10^2}}. \quad (14)$$

Преобразовывая (14), получим

$$h_\varphi^2 = \frac{h_\varphi \sin \varphi}{1,4} - 47,5357 \sin \varphi = 0. \quad (15)$$

Поскольку, с учетом (14), вычисление интеграла, входящего в выражение (12), представляет определенные трудности, то заменяем интеграл, входящий в формулу (12) суммой конечных приращений, что при малом шаге суммирования обеспечивает достаточно высокую точность расчета.

При этом прогиб СПРк вычисляется по формуле

$$\delta_{13} = \frac{24P}{bE} \sum_{i=1}^{i=n} \frac{R_i^3 \sin^2 \varphi_i \Delta \varphi_i}{h_i^3 + h_{i-1}^3}. \quad (16)$$

Здесь величина h_i определяется из квадратного уравнения

$$h_i^2 + \frac{h_i \sin \varphi_i}{1,4} - 47,5357 \sin \varphi_i = 0; \quad (17)$$

$$h_i = \frac{\sin \varphi_i}{2,8} + \sqrt{\frac{\sin^2 \varphi_i}{7,84} + 47,5357 \sin \varphi_i}, \quad (18)$$

где n – число участков деления дуги, соответствующей $\varphi = \frac{\pi}{2}$,

$$\Delta \varphi_i = \frac{\pi}{2n}.$$

Вычисления выполнены для двух случаев:

$$\text{а) } n = 15; \Delta \varphi_i = \frac{\pi}{30} = 6^\circ = 0,1047$$

и

$$\text{б) } n = 45; \Delta \varphi_i = \frac{\pi}{90} = 2^\circ = 0,0349.$$

Результаты вычислений по формулам (18) и (16) сведены в Табл.1 и 2.

Таблица 1. Расчет спиралевидной пластинчатой рессоры с криволинейными полками (при $n = 15$, $R_H = 33,275$)

Table 1. Calculation of a spiral leaf spring with curved shelves (for $n = 15$, $R_H = 33,275$)

№ сеч. i	φ_i°	$\sin \varphi_i$	$\frac{\sin \varphi_i}{2,8}$	$\frac{\sin^2 \varphi_i}{7,84}$	$47,5357x$ $\cdot \sin \varphi_i$	(5)+(6)	$\frac{b_i}{\text{см}}$	$h_i, \text{см}$	$\frac{(9)+(9)_{i-1}}{\text{см}^3}$	$\frac{R_i}{\text{см}}$	$\frac{R_i^3}{\text{см}^3}$	$(3)^2 \cdot x(12)$	$\frac{(13)}{(10)}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	0	0	0	0	0	0	1,3	2,197	0	0	0	0	0
1	6	0,1045	0,0373	0,00139	4,967	4,968	2,19	10,503	12,7	32,18	33324	363,9	28,65
2	12	0,2079	0,0742	0,00551	9,883	9,889	3,07	28,93	39,43	31,74	31976	1382,1	35,05
3	18	0,3090	0,1104	0,01218	14,689	14,701	3,72	51,48	80,41	31,42	31018	2961,6	36,83
4	24	0,4067	0,1452	0,0211	19,333	19,354	4,25	76,77	128,25	31,15	30226	4999,5	38,98
5	30	0,5	0,1786	0,0319	23,768	23,8	4,7	103,82	180,59	30,93	29590	7397,5	40,96
6	36	0,5878	0,2099	0,0441	27,941	27,985	5,08	131,1	234,92	30,74	29048	10036	42,72
7	42	0,6691	0,239	0,0571	31,806	31,863	5,41	158,34	289,44	30,57	28568	12790	44,19
8	48	0,7431	0,265	0,0704	35,324	35,394	5,68	183,25	341,59	30,44	28205	10575	45,60
9	54	0,809	0,289	0,0835	38,456	38,54	5,92	207,47	390,72	30,32	27873	18242	46,69
10	60	0,866	0,309	0,0957	41,166	41,262	6,11	228,1	435,57	30,22	27598	20697	47,52
11	66	0,9135	0,326	0,1064	43,424	43,53	6,27	246,49	474,59	30,14	27380	22848	48,14
12	72	0,9511	0,340	0,1154	45,211	45,326	6,39	260,92	507,41	30,08	27217	24620	48,52
13	78	0,9781	0,349	0,1220	46,495	46,617	6,48	272,1	533,02	30,04	27108	25934	48,65
14	84	0,9945	0,355	0,1262	47,274	47,4	6,53	278,44	550,54	30,01	27027	26731	48,55
15	90	1,0	0,357	0,1276	47,536	47,663	6,55	281,01	559,45	30,0	27000	27000	48,26
													$\Sigma = 649,37$

Таблица 2. Расчет спиралевидной пластинчатой рессоры с криволинейными полками (при $n = 45$)

Table 2. Calculation of a spiral leaf spring with curved shelves (for $n = 45$)

№ сеч. i	φ_i°	$\sin \varphi_i$	$\frac{\sin \varphi_i}{2,8}$	$\frac{\sin^2 \varphi_i}{7,84}$	$47,5357x$ $\cdot \sin \varphi_i$	(5)+(6)	$\frac{b_i}{\text{см}}$	$h_i, \text{см}$	$\frac{(9)+(9)_{i-1}}{\text{см}^3}$	$\frac{R_i}{\text{см}}$	$\frac{R_i^3}{\text{см}^3}$	$(3)^2 \cdot x(12)$	$\frac{(13)}{(10)}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	0	0	0	0	0	0	1,3	2,197	0	0	0	0	0
1	2	0,0349	0,0139	0,000194	1,659	1,659	1,3	2,197	4,39	32,63	34742	42,3	9,64
2	4	0,0698	0,0249	0,000621	3,318	3,319	1,8	5,83	8,03	32,38	33949	165,4	20,6
3	6	0,1045	0,0373	0,00139	4,967	4,968	2,19	10,503	16,33	32,18	33324	363,9	22,28
4	8	0,1392	0,0497	0,00247	6,617	6,619	2,52	16,003	26,51	32,02	32829	636,1	23,99
5	10	0,1736	0,062	0,00384	8,252	8,256	2,81	22,188	38,19	31,87	32370	975,5	25,54
6	12	0,2079	0,0742	0,00551	9,883	9,889	3,07	28,93	51,12	31,74	31976	1382,1	27,04
7	14	0,2419	0,0864	0,00746	11,499	11,506	3,31	36,26	65,19	31,62	31614	1849,9	28,38
8	16	0,2756	0,0984	0,00969	13,101	13,111	3,52	43,61	79,87	31,52	31315	2378,5	29,78
9	18	0,3090	0,1104	0,01213	14,689	14,701	3,72	51,48	95,09	31,42	31018	2961,6	31,15
10	20	0,342	0,1221	0,01492	16,257	16,272	3,91	59,78	111,26	31,32	30723	3593,5	32,3
11	22	0,3746	0,1338	0,0179	17,807	17,825	4,09	68,42	128,2	31,23	30459	4274,2	33,34
12	24	0,4067	0,1452	0,0211	19,333	19,354	4,25	76,77	145,19	31,15	30226	4999,5	34,43
13	26	0,4384	0,1566	0,0245	20,84	20,865	4,41	85,77	162,54	31,07	29993	5764,5	35,47

Окончание Табл. 2
End of Table 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
14	28	0,4695	0,1677	0,0281	22,318	22,346	4,56	94,82	180,59	31,0	29791	6566,8	36,36
15	30	0,5	0,1786	0,0319	23,768	23,8	4,7	103,82	198,64	30,93	29590	7397,5	37,24
16	32	0,5299	0,1893	0,0358	25,189	25,225	4,83	112,68	216,5	30,86	29389	8252	38,12
17	34	0,5592	0,1997	0,0399	26,582	26,622	4,96	122,02	234,7	30,8	29218	9137	38,93
18	36	0,5878	0,2099	0,0441	27,941	27,985	5,08	131,1	253,12	30,74	29048	1003,6	39,65
19	38	0,6157	0,2199	0,0484	29,268	29,316	5,19	139,8	270,9	30,68	28878	10947	40,41
20	40	0,6428	0,2296	0,0527	30,556	30,609	5,3	148,88	288,68	30,63	28737	11874	41,13
21	42	0,6691	0,239	0,0571	31,806	31,863	5,41	158,34	307,22	30,58	28596	12802	41,67
22	44	0,6947	0,248	0,0616	33,023	33,085	5,5	166,37	324,71	30,53	28456	13733	42,29
23	46	0,7193	0,257	0,066	34,192	34,258	5,6	175,62	341,99	30,48	28317	14661	42,84
24	48	0,7431	0,265	0,0704	35,324	35,394	5,68	183,25	358,87	30,43	28178	15560	43,36
25	50	0,766	0,274	0,0748	36,412	36,487	5,77	192,1	375,35	30,39	28067	16468	43,87
26	52	0,783	0,281	0,0792	37,458	37,537	5,85	200,2	392,3	30,35	27956	17359	44,25
27	54	0,809	0,289	0,0835	38,456	38,54	5,92	207,47	407,49	30,31	27846	18225	44,73
28	56	0,829	0,296	0,0877	39,407	39,494	5,99	214,92	422,39	30,28	27763	19080	45,17
29	58	0,848	0,303	0,0917	40,31	40,402	6,05	221,45	436,37	30,25	27681	19906	45,62
30	60	0,866	0,309	0,0957	41,166	41,262	6,11	228,1	449,55	30,22	27598	20697	46,04
31	62	0,8829	0,315	0,0994	41,969	42,068	6,17	234,88	462,98	30,19	27516	21449	46,33
32	64	0,8968	0,321	0,103	42,725	42,828	6,22	240,64	475,52	30,16	27434	22162	46,61
33	66	0,9135	0,326	0,1064	43,424	43,53	6,27	246,49	487,13	30,14	27380	22848	46,90
34	68	0,9272	0,331	0,1097	44,075	44,185	6,32	252,44	498,83	30,12	27325	23491	47,08
35	70	0,9397	0,336	0,1126	44,689	44,78	6,35	258,05	508,49	30,1	27271	24081	47,36
36	72	0,9511	0,340	0,1154	45,211	45,326	6,39	260,92	516,97	30,08	27217	24620	47,62
37	74	0,9613	0,343	0,1179	45,696	45,814	6,43	265,85	526,77	30,06	27162	25100	47,65
38	76	0,9703	0,347	0,1201	46,124	46,244	6,46	269,59	535,44	30,05	27135	25547	47,71
39	78	0,9781	0,349	0,1220	46,495	46,617	6,48	272,1	541,69	30,04	27108	25834	47,88
40	80	0,9848	0,352	0,1237	46,813	46,937	6,5	274,62	546,72	30,03	27081	26264	48,04
41	82	0,9903	0,354	0,1251	47,075	47,2	6,52	277,17	551,79	30,02	27054	26532	48,08
42	84	0,9945	0,355	0,1262	47,274	47,4	6,53	278,44	555,61	30,01	27027	26731	48,11
43	86	0,9976	0,356	0,1269	47,422	47,549	6,54	279,73	558,17	30,005	27013	26883	48,16
44	88	0,9994	0,357	0,1274	47,507	47,634	6,55	281,01	560,74	30,0	27000	26968	48,09
45	90	1,0	0,357	0,1276	47,536	47,663	6,55	281,01	562,02	30,0	27000	27000	48,04
												$\Sigma = 1779,46$	

Следует отметить, что формула (14) получена при условии постоянства напряжений $[\sigma_u]$ по угловой координате сечения φ .

Однако при конечной величине высоты начального сечения h_0 напряжение изгиба достигает своей допускаемой величины $[\sigma_u]$ лишь в сечении, расположенном под некоторым начальным расчетным углом φ_H , при котором

$$\frac{6P\left(R_H - \frac{h_0}{2}\right)\sin\varphi_H}{bh_0^2} = [\sigma_u]; \quad (19)$$

$$\varphi_H = \arcsin \frac{[\sigma_u]bh_0^2}{6P\left(R_H - \frac{h_0}{2}\right)}. \quad (20)$$

В рассматриваемом случае

$$\varphi_H = \arcsin \frac{1500 \cdot 10^2 \cdot 1,4 \cdot 1,3^2}{6 \cdot 50000 \left(33,275 - \frac{1,3}{2}\right)} = 0,03626 = 2,08^\circ.$$

Следовательно, с допустимой точностью можно считать, что формулы (15) и (18) справедливы на всем протяжении полки СПРк как при $n = 15$ так и при $n = 45$.

Расчет СПРк при постоянном наружном радиусе полки по формуле (16) по данным Табл.1 ($n = 15$) дает значения для прогиба

$$\delta_{13a} = \frac{24 \cdot 50000}{1,4 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 10^2} \cdot 649,31 = 2,775 \text{ см.}$$

Соответственно, по данным Табл.2 ($n = 45$),

$$\delta_{136} = \frac{24 \cdot 50000}{1,4 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 10^2} \cdot 1779,46 = 2,535 \text{ см}$$

Таким образом, соотношение прогибов полки СПРк, вычисленных при различных исходных условиях и допущениях расчета,

$$\delta_{11}; \delta_{12}; \delta_{13a}; \delta_{136} = 2,36 : 2,57 : 2,775 : 2,535 = 1 : 1,09 : 1,176 : 1,074.$$

ВЫВОДЫ

Поскольку принципиально наиболее точным является расчет, в наибольшей степени приближающийся к классическому методу Мора, формула (8), а таковым в нашем случае является расчет по п.3 (при $n = 45$), то можно с достаточным основанием утверждать, что реальный прогиб полки рассмотренной СПРк близок к величине $\delta_{136} = 2,535$ см, и степень этого приближения возрастает с увеличением числа участков n . Вместе с тем, расчет этот является наиболее трудоемким.

Трудоемкость расчета СПРк можно существенно уменьшить, без заметного ущерба для точности, при расчете прогиба полки рессоры по среднему радиусу нейтральной линии полки при постоянном наружном радиусе R_H .

Допустимость такого инженерного расчета по формулам (6) и (7) обосновывается тем, что соотношение прогибов δ_{12} и δ_{136} в нашем случае составило $\delta_{12} = \delta_{136} = 2,57 : 2,535 = 1,0138$, то есть расчет по п.2 (по среднему радиусу нейтральной линии полки при постоянном наружном радиусе R_H) показал завышение результатов по сравнению с расчетом по п.3 (при постоянном наружном радиусе полки) всего лишь на 1,4 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенные теоретические основы расчета скобовидных пластинчатых рессор, имеющих полки различной формы, и предложенная методика проектировочного и поверочного расчета таких рессор позволяют решить любую конкретную задачу, связанную с созданием скобовидной пла-

стинчатой рессоры для заданных условий (нагрузки, деформаций, габаритов, особенностей технологии изготовления). Такие задачи решались применительно к рессоре задней подвески кабины автомобилей КамАЗ. Их результаты апробированы практикой изготовления, испытания и опытной эксплуатации [11, 13].

В частности, опытная СПРк задней подвески кабины автомобиля КамАЗ, имеющая межшарнирное расстояние 450 мм, сечение средней части 10×16 мм и постоянный наружный радиус полки 138 мм, оказалась в 2,5 раза легче серийной 6-листовой четвертной рессоры, показала при стендовых испытаниях на КамАЗе долговечность, в 2,7 раза превышающую 50%-й ресурс серийной рессоры, и, при ведущихся в настоящее время длительных эксплуатационных испытаниях, уже прошла в подвеске автомобиля КамАЗ-5410 свыше 190 тыс. км без замечаний.

На заводе КамАЗ были установлены опытные СПР в задней подвеске кабины на автомобилях КамАЗ-5425, предназначенных для экспорта. При серийном внедрении СПРк для задней подвески кабины автомобилей КамАЗ, на Синельниковском рессорном заводе им. Коминтерна получена годовая экономия рессорной стали более 400 тонн при годовом экономическом эффекте более 519 тыс. у.е. [12, 14].

ЛИТЕРАТУРА

1. **Сукач М. К.** Обоснование принципов усовершенствования упругих устройств // М. К. Сукач / Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини, - 2018, - Вип.91, - С. 28-35. <https://doi.org/10.26884/gbdmm1891.0301>.
2. **Сукач М. К.** Теоретические основы расчета скобовидных пластинчатых рессор // М. К. Сукач. - 2018. - Transfer of Innovative Technologies, - Vol.1, No 2, С. 40-50. <https://doi.org/10.31493/tit1812.0201>.
3. **Кисликов В. Ф.** Будова й експлуатація автомобілів: підручник. 6-те вид. // В. Ф. Кисликов, В. В. Лущик, - Киев, - 2006, - Либідь, - 400 с.
4. **Кузнецов В. А.** Конструирование и расчет автомобиля. Подвеска автомобиля: учеб. пособ. // В. А. Кузнецов, И. Ф. Дьяков. - Ульяновск, - 2003, - УлГТУ, - 60 с.
5. **Механические свойства конструкционных материалов при сложном напряженном состоянии** // А. А. Лебедев, Б. И. Ковальчук, Ф. Ф. Гигиняк, В. П. Ламашевский. - Киев, - 2003, - Изд. дом Ин Юре.
6. **Сукач М. К.** Пружна підвіска транспортних засобів // М. К. Сукач / Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини, - 2017, - Вип.90. - С. 73-78. <http://gbdmm.knuba.edu.ua/article/view/143525>.
7. **Сукач М. К.** Лабораторные исследования скобовидных пластинчатых рессор // М. К. Сукач / Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини, - 2019, - Вип.94. - С. 16-24. <https://doi.org/10.32347/gbdmm2019.94.0102>
8. **Писаренко Г. С.** Справочник по сопротивлению материалов. 3-е изд., перераб. и доп. // Г. С. Писаренко, А. П. Яковлев, В. В. Матвеев. - Киев, - 2008. - Изд-во Дельта, 816 с.
9. **Прочность материалов и конструкций**, 2-е изд., перераб. и доп. Ред. кол. // В. Т. Трощенко (отв. ред.) и др. - Киев, - 2006. - Академперіодика, - 1076 с.
10. **Сирота В. І.** Основи конструкції автомобілів: навч. посіб. 2-ге вид., перероб. та доп. // В. І. Сирота, - Киев, - 2005, - Арістей, - 280 с.
11. **Сукач М. К.** Пластинчаста ресора та амортизаційна підвіска з її використанням // М. К. Сукач / 5-й ВСНК Молодь, освіта, наука, духовність. Катеринчук О.В., - 2008. - Київ, Ун-т Україна.
12. **Сукач М. К.** Автомобільна підвіска транспортного засобу із застосуванням пластинчастої ресори // М. К. Сукач, В. Г. Гичак / 4-й ВСНК Молодь, освіта, наука, духовність. - Київ, - 2007. - Ун-т Україна.
13. **Сукач М.** Особливості застосування скобоподібних пружних ресор в автомобільному транспорті // М. Сукач / Transfer of Innovative Technologies, 2020 – Vol.3, No 1, С. 86-89. <https://doi.org/10.32347/tit2020.31.0210>.
14. **Lapenko O., Makhinko N.** Basic provisions for the analytical calculation of vertical cylindrical containers // O. Lapenko, N. Makhinko / Підводні технології, - 2020, - № 10. - С. 50-57. <https://doi.org/10.32347/uwt2020.10.1801>.
15. **Mishchuk D.** Research of the manipulator dynamics installed on an elastic basis // D.

Mishchuk / Підводні технології, – 2018, – № 08. – С. 54-56. <https://doi.org/10.26884/uwt1808.1301>.

16. **Скочко В.** Формоутворення каркасів технічних форм, заданих на площині неявними функціями // В. Скочко / Підводні технології, – 2017, – № 07. – С. 3-17. <https://doi.org/10.26884/1707.1101>.
17. **Мішук Д.** Відвал бульдозера з розпушувальними зубами / Д. Мішук, В. Волянчук, Є. Горбатюк // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини, – Вип. 92, – 2018. – С. 70-79. <https://doi.org/10.31493/gbdmm1892.0403>.

REFERENCES

1. **Sukach M. K.**, (2018). Justification of the principles for the improvement of elastic devices. Mining, construction, road and melioration machines, Nr. 91, 28-35. – (in Russian). <https://doi.org/10.26884/gbdmm1891.0301>
2. **Sukach M. K.**, (2018). Theoretical foundations for the calculation of staple-shaped leaf springs. Transfer of Innovative Technologies, Vol. 1, Nr. 2, 40-50. – (in Russian). <https://doi.org/10.31493/tit1812.0201>.
3. **Kislikov V. F., Lushchik V. V.**, (2006). Structure and operation of cars: textbook. 6 th ed. Kyiv: Lybid, 400 (in Ukrainian).
4. **Kuznetsov V. A., Dyakov I. F.**, (2003). Construction and calculation of the car. Suspension car: tutorial. Ulyanovsk, UISTU, 60 (in Russian).
5. **Lebedev A. A., Kovalchuk B. I., Giginyak F. F., Lamashevsky V. P.** (2003). Mechanical properties of structural materials under complex stress state. Kyiv, Ed. house "In Jure". – (in Russian).
6. **Sukach M. K.**, (2017). Elastic suspension of vehicles. Mining, construction, road and melioration machines, Nr. 90, 73-78. – (in Ukrainian). <http://gbdmm.knuba.edu.ua/article/view/143525>.
7. **Sukach M. K.**, (2019). Laboratory research of staple leaf springs. Mining, construction, road and melioration machines, Vol. 94, 16-24. – (in Russian). <https://doi.org/10.32347/gbdmm2019.94.0102>.
8. **Pisarenko G. S., Yakovlev A. P., Matveev V. V.**, (2008). Handbook of resistance materials. 3 ed., Pererab. and additional. Kyiv, Delta Publishing House, 816. – (in Russian).
9. **Strength of materials and structures**, (2006). 2 ed, revised and enlarged. Ed. count V.T. Troshchenko (ed.) and oth., Kyiv, Academicperiodika, 1076. – (in Russian).
10. **Sirota V. I.**, (2005). Found in the design of automobiles: tutorial. 2 ed., Pererob. that add. Kyiv: Aristey, 280. – (in Ukrainian).
11. **Sukach M. K., Katerinchuk O. V.**, (2008). Plate spring and shock absorber suspension with its use. 5 VSNC Youth, education, science, spirituality. Kyiv, Un-t Ukraine. – (in Ukrainian).
12. **Sukach M. K., Gichak V. G.**, (2007). Automobile suspension of a vehicle with the use of a lamellar spring. 4 VTSNC Youth, education, science, spirituality. Kyiv, Un-t Ukraine. – (in Ukrainian).
13. **Sukach M.** (2020). Osoblivosti zastosuvannya skobopodibnih pruzhnyh resor v avtomobilnomu transporti [Features of application of bracket-shaped elastic springs in motor transport]. Transfer of Innovative Technologies, Vol. 3, Nr.1, 86-89. <https://doi.org/10.32347/tit2020.31.0210>.
14. **Lapenko O., Makhinko N.** (2020). Basic provisions for the analytical calculation of vertical cylindrical containers Pidvodni Tehnologii [Underwater Technologies], Nr. 10. 50-57. <https://doi.org/10.32347/uwt2020.10.201801>.
15. **Mishchuk D.** (2018). Research of the manipulator dynamics installed on an elastic basis. Pidvodni Tehnologii [Underwater Technologies], No. 08, 54-56. <https://doi.org/10.26884/uwt1808.1301>.
16. **Skochko V.** (2017). Formoutvorenniya karkasiv tehnicnih form, zadanih na ploshini neyavnyimi funkciyami [Formation of frameworks of technical forms given on the plane by implicit functions], Nr. 07, 3-17. – (in Ukrainian). <https://doi.org/10.26884/1707.1101>.
17. **Mishchuk D., Volyanyuk V., Gorbatyuk Eu.** (2018). Dozer blade with ripper teeth. Gірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини [Mining, constructional, road and melioration machines], Nr. 92, 70-79. – (in Ukrainian). <https://doi.org/10.31493/gbdmm1892.0403>.

Evaluation of the accuracy of engineering calculations bracket springs

Mykhailo Sukach

Kyiv National University of
Construction and Architecture

Abstract. Earlier, a methodology for the engineering calculation bracket springs with curved regiments (SPRk) was described and an example of such a calculation was applied with respect to the spring of the rear suspension of the KamAZ car cab [1, 2]. As preliminary studies have shown, the accuracy of the calculation of the SPRK significantly depends on the choice of the initial conditions for such a calculation and the magnitude of the summation step when replacing integration by summing small increments [3 – 5]. Therefore, it seemed advisable to evaluate the influence of the mentioned conditions on the results of calculating the same SPRK with their variation.

The purpose of such comparative calculations was to develop recommendations for carrying out engineering calculations of SPRk with the least laboriousness with accuracy that meets the requirements of practical application. Since the calculations were carried out as comparative, and as a result, their accuracy was determined as the relative value of the deflection of the SPRK to the deflection of the spring, calculated by the method conventionally taken as the initial one, the absolute value of the initial data underlying the calculation could be chosen pretty much arbitrary. The calculations below are performed in relation to the SPRk designed for suspension of wheels of a heavy truck, the springs of which are made of steel 60C2XΦA.

The calculated SPRk has a canvas and shelves of constant thickness, and the radius of curvature of the shelf, which was used for the calculation, is constant over its entire length [6, 7, 15]. Only its own deflection of the shelf was subject to calculation, since it is precisely the accuracy of calculating its value that determines the accuracy of calculation of the entire spring [8 – 10, 16, 17].

Keywords: bracket spring, deflection, moment of resistance, bending stress.