

УДК 625.143.541

М. С. Чусовитин, К. С. Малышев**ИСПЫТАНИЕ РЕЛЬСОВОЙ ПОДКЛАДКИ НА ДЕРЕВЯННОЙ ШПАЛЕ**

Дата поступления: 27.05.2016

Решение о публикации: 17.08.2016

Цель: Подтвердить эффективность и практическую применимость расчета прогибов рельсовой подкладки на деревянной шпале, разработанного на основе новой теоретической методики оценки прочности рельсовой подкладки. **Методы:** Произведен теоретический расчет прогибов рельсовой подкладки на деревянной шпале. Проведено лабораторное испытание рельсовой подкладки на деревянной шпале с использованием испытательной машины INSTRON SATEC 1200KN, с фиксацией результатов тензометрической станцией «Геркулес» и штангенциркулем Electronic Digital Caliper. **Результаты:** Получено подтверждение применимости новой методики расчёта прогибов рельсовой подкладки на деревянной шпале с учетом переменного сечения рельсовой подкладки. Получены значения прогибов рельсовой подкладки на деревянной шпале в зависимости от применяемой нагрузки. **Практическая значимость:** Применение данной методики оценки прочности рельсовых подкладок позволяет более точно определить запас прочности рельсовой подкладки с различными размерами на проектной стадии.

Деревянная шпала, прогиб, рельсовая подкладка, прочность, вертикальные перемещения.

Maksim S. Chusovitin, postgraduate student, chusmaksimus@mail.ru; ***Konstatin S. Malyshev**, postgraduate student, m_kostya88@mail.ru (Petersburg State Transport University) TESTING OF RAIL PLATES FOR WOODEN SLEEPER

Objective: To confirm efficiency and practical applicability of a calculation method for deflection of rail plates for wooden sleeper which was developed on the basis of a new theoretical model for evaluation of rail plate bearing capacity. **Methods:** Theoretical calculation of deflection of rail plate for wooden sleeper was conducted. Laboratory testing of rail plate for wooden sleeper was conducted on test machine Instron Satec 1200KN, with results recorded by strain-gauge station Gerkules and by Electronic Digital Caliper. **Results:** A confirmation was obtained for applicability of the new calculation method for deflection of rail plate for wooden sleeper taking into account variable cross-section of a rail plate. Values for deflection of rail plate for wooden sleeper depending on applied pressure were obtained. **Practical importance:** Application of this method of evaluation of the bearing capacity of a rail plate for wooden sleeper allows for a more precise estimation of degree of safety of rail plates of various sizes at designing stage.

Wooden sleeper, deflection, rail plate, bearing capacity, vertical movements.

Традиционные методы расчета рельсовых прокладок на прочность используют упрощенную расчетную схему подкладки постоянного поперечного сечения, опирающейся на плоское основание, равномерно упругое по всей длине [1, 3, 4].

В 2012 г. Н. Н. Султанов и А. В. Колтаков предложили теоретический метод расчета прогибов рельсовой подкладки на деревянной шпале [5]. Они доработали методику расчета прогибов рельсовой подкладки, предложенную профессором С. П. Першиным в 1968 г.

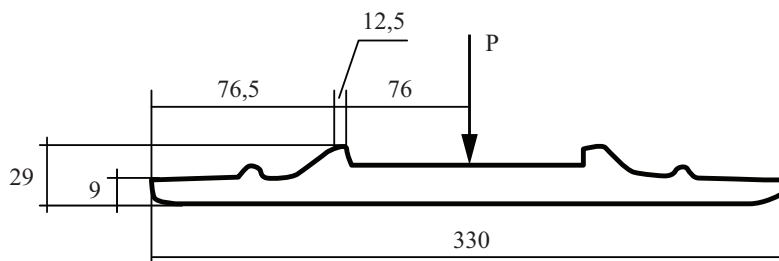


Рис. 1. Расчётная схема (размеры в мм)

[10]. Для полноты оценки практических результатов лабораторного испытания произведем теоретические расчеты по схеме, указанной на рис. 1. Расчет произведен для нагрузки в 5, 10 и 15 т.

Теоретический расчет прогибов рельсовой подкладки на деревянной шпале

Итак, берем за основу следующие данные: расчётная нагрузка $P = 5$ т; коэффициент постели шпал $k(x) = 100$ кг/см³; модуль продольной упругости стали $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, делаем расчеты по известным формулам, используя дифференциальные зависимости [2, 13, 15]:

1) определим поперечные силы; сечение $i = 0,03825$ м

$$Q_i = \int_0^i q dx = \int_0^{0,03825} 148636,4 dx = 148636,4 \cdot (0,03825 - 0) = 5685,3 \text{ н};$$

2) определим значение момента сил; сечение $i = 0,03825$ м

$$M_i = \int_0^i Q dx = \int_0^{0,03825} q x dx = 148636,4 \cdot 0,03825^2 / 2 - 148636,4 \cdot 0^2 / 2 = 108,73 \text{ н} \cdot \text{м};$$

3) определим угол поворота; сечение $i = 0,127$ м

$$\Theta_i = \int_0^i \frac{M dx}{EI(x)} = \int_{-0,076}^0 \frac{qx^2}{2EI(x)} =$$

$$= \frac{148636,4 \cdot (-0,076)^3}{2 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,416667 \cdot 10^{-8}} - \frac{148636,4 \cdot (0)^3}{2 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,416667 \cdot 10^{-8}} = -0,003838 \text{ рад};$$

4) определим значение прогиба подкладки; сечение $i = 0,03825$ м

$$Y_i = \int_0^i \frac{\Theta dx}{EI(x)} = \int_0^{0,03825} \frac{qx^3}{6 \cdot EI(x)} = \frac{148636,4 \cdot (0,03825)^4}{6 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 10^6 \cdot 1,416667 \cdot 10^{-8}} - \frac{148636,4 \cdot (0)^4}{6 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 10^6 \cdot 1,416667 \cdot 10^{-8}} = 0,0000516 \text{ м}.$$

Таким образом рассчитаны параметры для каждого сечения. Аналогично произведены расчёты для нагрузок 10 и 15 т (табл. 1). Обобщённые результаты теоретического расчета прогибов рельсовой подкладки в сечениях 0,08275; 0,165; 0,24725 для рассматриваемых видов нагрузки приведены в табл. 2.

Практическое определение прогибов рельсовой подкладки на деревянной шпале

При лабораторных испытаниях вертикальные перемещения измерялись следующим образом: абсолютная линейная деформация фиксировалась испытательной машиной INSTRON SATEC 1200KN с отображением данных на

ТАБЛИЦА 1. Расчёт прогибов рельсовой подкладки

X_i , м	Q_i , н	M_i , н·м	$J(x)$, см	Θ_i , рад	Y_i , м
При нагрузке 5 т при q_i , н/м, 148636,4					
0,03825	5685,3	108,7321449	4,318885	−0,009234	0,0000516
0,0765	11370,7	434,9285795		−0,003844	0,0008215
0,0765	11370,7	434,9285795		−0,003844	0,0008215
0,08275	12299,7	508,8983949		−0,003839	0,0008215
0,089	13228,6	588,6743182	1,416667	−0,003838	0,0008215
0,089	13228,6	588,6743182		−0,003838	0,0008215
0,127	18876,8	1198,677955		−0,000480	0,0008261
0,165	24525,0	2023,3125		0,000000	0,0008945
0,165	−24525,0	2023,3125	1,416667	0,000000	0,0008945
0,203	−18876,8	1198,677955		0,000480	0,0008261
0,241	−13228,6	588,6743182		0,003838	0,0008215
0,241	−13228,6	588,6743182		0,003838	0,0008215
0,24725	−12299,7	508,8983949	4,318885	0,003839	0,0008215
0,2535	−11370,7	434,9285795		0,003844	0,0008215
0,2535	−11370,7	434,9285795		0,003844	0,0008215
0,29175	−5685,3	108,7321449	0,129094	0,009234	0,0000516
0,33	0	0		0,046800	0,0000000
При нагрузке 10 т при q_i , н/м, 297272,7					
0	0	0	0,129094	−0,093599	0,0000000
0,03825	11370,7	217,4642898		−0,018469	0,0001032
0,0765	22741,4	869,8571591		−0,007687	0,0016431
0,0765	22741,4	869,8571591	4,318885	−0,007687	0,0016431
0,08275	24599,3	1017,79679		−0,007678	0,0016431
0,089	26457,3	1177,348636		−0,007676	0,0016431
0,089	26457,3	1177,348636	1,416667	−0,007676	0,0016431
0,127	37753,6	2397,355909		−0,000960	0,0016522
0,165	49050,0	4046,625		0,000000	0,0017889
0,165	−49050,0	4046,625	1,416667	0,000000	0,0017889
0,203	−37753,6	2397,355909		0,000960	0,0016522
0,241	−26457,3	1177,348636		0,007676	0,0016431
0,241	−26457,3	1177,348636	4,318885	0,007676	0,0016431
0,24725	−24599,3	1017,79679		0,007678	0,0016431
0,2535	−22741,4	869,8571591		0,007687	0,0016431
0,2535	−22741,4	869,8571591	0,129094	0,007687	0,0016431
0,29175	−11370,7	217,4642898		0,018469	0,0001032
0,33	0	0		0,093599	0,0000000

Окончание табл. 1

X_p , м	Q_p , н	M_p , н·м	$J(x)$, см	Θ_p , рад	Y_p , м
При нагрузке 15 т при q_p , н/м, 445909,1					
0,03825	17056,0	326,1964347	0,129094	–0,027703	0,0001548
0,0765	34112,0	1304,785739		–0,011531	0,0024646
0,0765	34112,0	1304,785739	4,318885	–0,011531	0,0024646
0,08275	36899,0	1526,695185		–0,011516	0,0024646
0,089	39685,9	1766,022955		–0,011514	0,0024646
0,089	39685,9	1766,022955	1,416667	–0,011514	0,0024646
0,127	56630,5	3596,033864		–0,001439	0,0024783
0,165	73575,0	6069,9375		0,000000	0,0026834
0,165	–73575,0	6069,9375	1,416667	0,000000	0,0026834
0,203	–56630,5	3596,033864		0,001439	0,0024783
0,241	–39685,9	1766,022955		0,011514	0,0024646
0,241	–39685,9	1766,022955	4,318885	0,011514	0,0024646
0,24725	–36899,0	1526,695185		0,011516	0,0024646
0,2535	–34112,0	1304,785739		0,011531	0,0024646
0,2535	–34112,0	1304,785739	0,129094	0,011531	0,0024646
0,29175	–17056,0	326,1964347		0,027703	0,0001548
0,33	0	0		0,140399	0,0000000

ТАБЛИЦА 2. Обобщение результатов теоретического расчёта прогибов рельсовой подкладки для трёх сечений

Сечение подкладки	Приложенная нагрузка Р, т		
	5	10	15
0,08275	0,8215 мм	1,6431 мм	2,4646 мм
0,165	0,8945 мм	1,7889 мм	2,6834 мм
0,24725	0,8215 мм	1,6431 мм	2,4646 мм

графике зависимости нагрузки от удлинения (рис. 2). Также перемещения измерялись вертикальными стержнями, соединёнными с тензометрической станцией «Геркулес» (рис. 3). Схема приложения нагрузки к рельсовой подкладки соответствовала схеме теоретического расчёта (см. рис. 1).

Профессор В.С. Лысюк [6–8] отметил, что при приложении нагрузки под рельсовой подкладкой волокна деревянной шпалы уплотняются, при этом зона наиболее интенсивного смятия древесины занимает всю центральную

часть площади подкладки. Во время лабораторного эксперимента фиксировалось смятие волокна древесины (рис. 4) и остаточное смятие волокна древесины деревянной шпалы после снятия приложенной нагрузки (рис. 5).

Принимая во внимание смятие волокна древесины [9], при приложении нагрузки расчёт вертикального перемещения сечений рельсовой подкладки на новой деревянной шпале будет складываться из двух составляющих: перемещения от изгиба подкладки относительно поверхности шпалы и величины

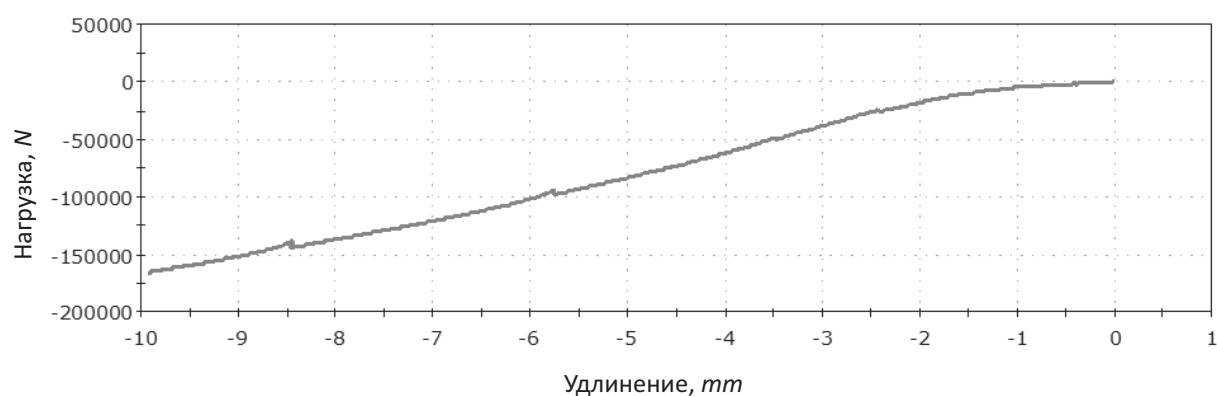


Рис. 2. Отображение данных испытательной машины INSTRON SATEC 1200KN на графике зависимости нагрузки от удлинения

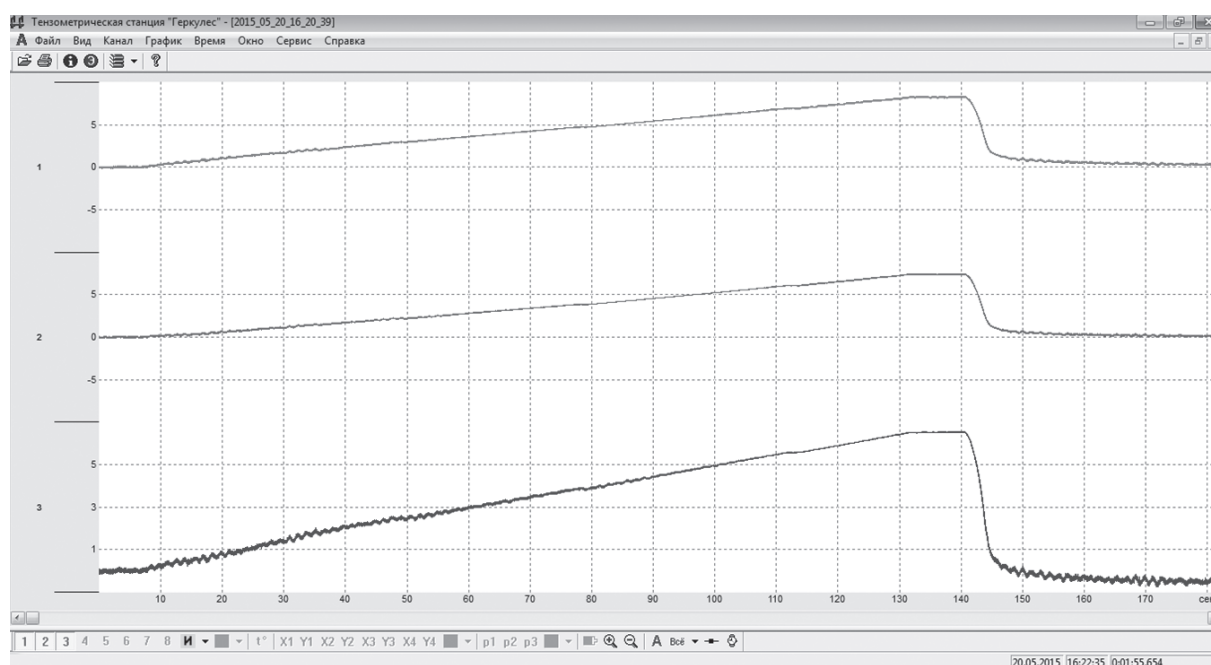


Рис. 3. График перемещения вертикальных стержней, фиксируемый тензометрической станцией «Геркулес», т. е. прогиб сечений рельсовой подкладки



Рис. 4. Снятие волокна древесины деревянной шпалы

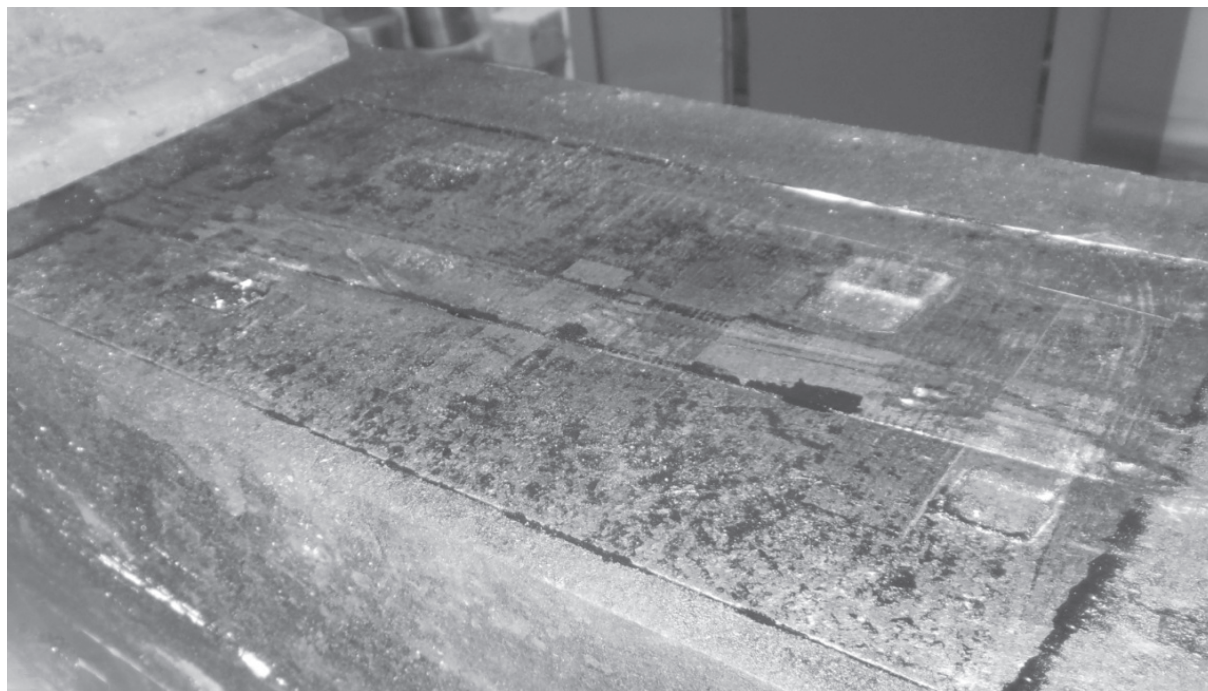


Рис. 5. Остаточное смятие волокна древесины деревянной шпалы после снятия приложенной нагрузки

совместной деформации изогнутой рельсовой подкладки и основания (волокна древесины шпалы) [11]. Также на величину перемещения влияли зазоры между неровностями поверхностей элементов используемых материалов при испытаниях (между шпалой и основанием, между головкой рельса и поверхностью пресса и т. д.) [14]. Обобщённые результаты прогибов рельсовой подкладки в сечениях 0,08275; 0,165; 0,24725 для всех приложенных видов нагрузки при лабораторных испытаниях рельсовой подкладки приведены в табл. 3.

При лабораторном испытании для фиксации величины прогиба рельсовой подкладки

дополнительно промеряли ее штангенциркулем Electronic Digital Caliper. Измеряли расстояние между подошвой рельсовой подкладки и неподвижным основанием пресса испытательной машины в двух случаях: без приложения и с приложением нагрузки к рельсовой подкладке (5, 10 и 15 т). После вычисляли разницу между двумя измерениями, которая и являлась искомой величиной прогиба рельсовой подкладки на деревянной шпале при приложении нагрузки. Средние значения измеренного прогиба рельсовой подкладки для сечения 0,165 после обработки результатов [12] приведены в табл. 4.

ТАБЛИЦА 3. Обобщение усреднённых результатов лабораторных испытаний прогибов рельсовой подкладки для трёх сечений на новой шпале

Нагрузка, т	Новая шпала, нагрузка по центру				Новая шпала с резиновой прокладкой, нагрузка по центру			
	1	2	3	Абс.	1	2	3	Абс.
5	2,4	1,8	2,0	3,5	3,0	2,2	2,5	3,7
10	5,5	4,6	4,5	6	5,8	5,1	5,1	6
15	7,6	6,8	6	9	5,7	5,0	5,0	9,5

ТАБЛИЦА 4. Обобщение усреднённых результатов лабораторных испытаний прогибов рельсовой подкладки для сечения 0,165, измеренных штангенциркулем на новой шпале

Сечение подкладки 0,165	Приложенная нагрузка P , т		
	5	10	15
Расчетное	0,9	1,8	2,7
Экспериментальное	1,4	1,9	2,3

Выводы

Теоретический метод расчета прогибов рельсовой подкладки на деревянной шпале позволяет корректно описать процесс прогиба рельсовой подкладки на деревянной шпале, что было доказано лабораторными испытаниями.

Полученные результаты вполне удовлетворительны. В теоретическом расчете учитывался прогиб подкладки без учета сжатия поперечных волокон древесины шпалы под нагрузкой. В лабораторном испытании величину сжатия волокна древесины не измеряли. В дальнейшем для расчета нужны теоретические исследования деформации основания. Кроме того, для учета необходимы экспериментальные исследования прогиба рельсовой подкладки на деревянной шпале в зависимости от вогнутой формы древесины под подкладкой (т. е. на деревянной шпале, имеющий износ древесины в зоне рельсовой подкладки).

Библиографический список

1. Абросимов В. И. Расчет стрелочной подкладки на прочность / В. И. Абросимов, Л. Н. Фролов, А. И. Лисков // Труды ЛИИЖТа. – 1969. – Вып. 296.
2. Елизаров С. В. Сопротивление материалов : базовый курс лекций / С. В. Елизаров, Ю. П. Каптелин. – СПб. : Петербург. гос. ун-т путей сообщения, 2007. – 254 с.

3. Исследование деревянных шпал и креплений для них / под ред. Г. М. Шахунянца // Труды МИИТа. – 1968. – Вып. 272.

4. Исследование работы подкладок стрелочных переводов при осевых нагрузках 30–50 тонн : науч.-техн. отчет по теме № 22/(20–72) / Архив Ленпром-транспорт, инв. № 2783-73. – Л., 1973.

5. Колтаков А. В. Расчет прогибов рельсовой подкладки на деревянной шпале / А. В. Колтаков, Н. Н. Султанов // Транспорт : наука, техника, управление. – 2012. – Вып. 4. – С. 47–49.

6. Лысюк В. С. Износ деревянных шпал и борьба с ним / В. С. Лысюк // Труды ВНИИЖТ. – 1971. – Вып. 445.

7. Лысюк В. С. Причины ослабления деревянных шпал в зонах рельсовой подкладок / В. С. Лысюк // Вестн. ЦНИИ. – 1961. – № 7.

8. Лысюк В. С. Прокладки защищают шпалы / В. С. Лысюк, Л. С. Лапкина, А. В. Каширин // Путь и путевое хозяйство. – 1966. – Вып. 12.

9. Павлов А. П. Местное смятие древесины / А. П. Павлов // Труды ЛИИЖТа. – 1956. – Вып. 150.

10. Першин С. П. Расчет рельсовых подкладок для деревянных шпал / С. П. Першин // Труды МИИТа. – 1968. – Вып. 272. – С. 46–61.

11. Попов В. В. Гниение шпал в пути и меры борьбы с ним / В. В. Попов // Труды ВНИИЖТ. – 1967. – Вып. 329.

12. Румшиский Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента / Л. З. Румшиский. – М. : Наука, 1971.

13. Снитко Н. К. Теория и расчет балок на упругом основании переменного сечения / Н. К. Снитко // Вестн. инженеров и техников. – 1935. – Вып. 8.

14. Титов В. П. Перемещения и деформации в конструкциях железнодорожного пути / В. П. Титов // Вестник ВНИИЖТ. – 1994. – № 6. – С. 8–16.

15. Тихонов А. Н. Дифференциальные уравнения / А. Н. Тихонов, А. Б. Васильева, А. Г. Свешников. – М. : Наука, 1980.

References

1. Abrosimov V. I., Frolov L. N. & Liskov A. I. Raschet strelochnoy podkladki na prochnost [Strength Calculation of Switch Plate]. *Trudy LIIZhTa – Proc. of Leningrad Railway Transp. Eng. Inst.*, 1969, Is. 296.

2. Yelizarov S. V. & Kaptelev Yu. P. Soprotivleniye materialov: bazovyy kurs lektsiy [Resistance of Materials: Basic Lecture Course]. St. Petersburg, PGUPS, 2007. 254 p.
3. Issledovaniye derevyannykh shpal i skrepleniye dlya nikh [Study of Wooden Sleepers and Clamps for Them]; ed. G. M. Shakhunyan. *Trudy MIITa – Proc. of MIIT*, 1968, Is. 272.
4. Issledovaniye raboty podkladok strelochnykh perevodov pri osevykh nagruzkakh 30–50 tonn [Study into Operation of Switch Plates under Axial Loads of 30–50 Tonnes]. Scientific and engineering report on the subject N 22/(20–72). Lenpromtransproyekt archive, inv. N 2783-73. Leningrad, 1973.
5. Koltakov A. V. & Sultanov N. N. *Transport: nauka, tekhnika, upravleniye – Transport: Science, Engineering, Management*, 2012, Is. 4, pp. 47-49.
6. Lysyuk V. S. Iznos derevyannykh shpal i borba s nim [Wooden Sleeper Wear and Fight against It]. *Trudy VNIIZhTa – Proc. of VNIIZhT*, 1971, Is. 445.
7. Lysyuk V. S. Prichiny oslableniya derevyannykh shpal v zonakh relsovykh podkladok [Causes of Degeneration of Wooden Sleepers in Rail Plate Zone]. *Vestnik TsNII – TsNII Bull.*, 1961, no. 7.
8. Lysyuk V. S., Lapkina L. S. & Kashirin A. V. Prokladki zashchishchayut shpaly [Plates Protect Sleepers]. *Put i putevoye khozyaystvo – Track and Track Facilities*, 1966, Is. 12.
9. Pavlov A. P. Mestnoye smyatiye drevesiny [Wood Buckling]. *Trudy LIIZhTa – Proc. of Leningrad Railway Transp. Eng. Inst.*, 1956, Is. 150.
10. Pershin S. P. Raschet relsovykh podkladok dlya derevyannykh shpal [Calculations of Rail Plates for Wooden Sleepers]. *Trudy MIITa – Proc. of MIIT*, 1968, Is. 272, pp. 46-61.
11. Popov V. V. Gnieniyeye shpal v puti i mery borby s nim [Rotting of Sleepers on the Tracks and Measures to Fight against It]. *Trudy VNIIZhTa – Proc. of VNIIZhT*, 1967, Is. 329.
12. Rumshiskiy L. Z. Matematicheskaya obrabotka rezultatov eksperimenta [Mathematical Processing of Experimental Results]. Moscow, Nauka, 1971.
13. Snitko N. K. Teoriya i raschet balok na uprugom osnovanii peremennogo secheniya [Theory and Calculation of Beams on Elastic Cushion of Variable Cross-Section]. *Vestnik inzhenerov i tekhnikov – Eng. and Tech. Bull.*, 1935, Is. 8.
14. Titov V. P. *Vestnik VNIIZhT – VNIIZhT Bull.*, 1994, no. 6, pp. 8-16.
15. Tikhonov A. N., Vasilyeva A. B. & Sveshnikov A. G. *Differentsialnyye uravneniya [Differential Equations]*. Moscow, Nauka, 1980.

ЧУСОВИТИН Максим Сергеевич – аспирант, chusmaksimus@mail.ru, *МАЛЫШЕВ Константин Сергеевич – аспирант, m_kostya88@mail.ru. (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I).