

УДК 625.12.033.38

Таймаров Михаил Александрович

доктор технических наук, профессор

E-mail: taimarovma@yandex.ru

Казанский государственный энергетический университет

Адрес организации: 420066, Россия, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51

Лавирко Юрий Васильевич

кандидат технических наук, доцент

E-mail: lav.yu55@gmail.com

Садыков Ренат Ахатович

доктор технических наук, профессор

E-mail: sadykov_r_a@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Валиуллин Булат Рамилевич

инженер

E-mail: bulat-valiullin@mail.ru

ООО «ДСК Велес»

Адрес организации: 420021, Россия, г. Казань, ул. Парижской Коммуны, д. 8

Разработка конструкций новых типов шпал для высокоскоростных поездов типа «САПСАН»

Аннотация

Поставленные задачи. Решение проблемы разработки новых конструкций шпал, обеспечивающих повышение их качества, снижение стоимости и продление срока их службы за счет обеспечения демпфирования шпалой колебаний и ударов при движении подвижного состава.

Результат. Шпалы служат опорами для рельсов и основное назначение шпал - передавать давление от рельсов на балластную призму и обеспечивать постоянство ширины колеи и устойчивость рельсового пути.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительства железных дорог состоит в том, что предлагаемая конструкция клееной древесной шпалы устойчива к перепадам температур по сравнению с железобетонными шпалами и срок ее службы доходит до 39-40 лет.

Ключевые слова: шпалы, Сапсан, балластная призма, виды колебаний, древесный шпон.

Введение

В настоящее время существует проблема повышения качества применяемых деревянных и железобетонных железнодорожных шпал. Известные технологии изготовления деревянных шпал включают выпилки заготовки из шпального кряжа, наколку шпальной заготовки, пропитку. Недостатками известных технологий являются высокая трудоемкость изготовления деревянной шпалы, большой расход высококачественной древесины диаметром 26-56 см. При этом выход шпал из шпальных кряжей составляет не более 50 % [1-4]. Деревянные шпалы недолговечны из-за воздействия окружающей среды. Преимущества железобетонных шпал перед деревянными: малая восприимчивость к разрушению за счет воздействия окружающей среды, сохранение в стране высококачественной древесины для других нужд. Однако железобетонные шпалы имеют массу следующих недостатков: высокая трудоемкость изготовления, высокие потери в процессе их изготовления, высокая стоимость.

Из-за отсутствия демпфирования железобетонной шпалой колебаний и ударов при движении подвижного состава снижается срок службы металлоконструкций вагонов, платформ, а также колесных пар, установленных на вагонах. Увеличивается воздействие колебаний, вибраций и ударов на транспортируемые грузы и людей, снижается срок

службы гравийно-щебеночного основания железнодорожного пути. Кроме того повышается воздействие на строения и объекты, расположенные в непосредственной близости от железнодорожного пути.

С увеличением скорости движения поездов типа «Сапсан» частота контактов колесных пар со шпалами увеличивается. Разрушение железнодорожного пути и подвижного состава, а близлежащих строений при этом ускоряется. Поэтому существует проблема разработки новых конструкций шпал, обеспечивающих повышение их качества, снижение ее стоимости и продление срока службы за счет обеспечения демпфирования шпалами колебаний и ударов при движении поездов. Рассмотрению и исследованию этих вопросов посвящена данная статья.

Методика исследования

Для разработки технологии изготовления необходим анализ механических воздействий на шпалу в процессе эксплуатации. Шпалы служат опорами для рельсов и основное назначение шпал - передавать давление от рельсов на балластную призму и обеспечивать постоянство ширины колеи и устойчивость рельсового пути. Балластная призма - это элемент верхнего строения пути из балласта, укладываемого на земляное полотно для стабилизации рельсошпальной решетки при воздействии динамических нагрузок от подвижного состава. Поперечный профиль балластной призмы состоит из песка и щебня, укладываемого поверх песка [5-9].

Экспериментальная методика базируется на регистрации характеристик колебательного процесса в балластном слое и осуществляется сейсмоприемниками СМ-3, Методика подробно описана в работах [5, 7, 8]. В составе измерительного комплекта используются три датчика, позволяющие измерять три составляющие амплитуды колебаний: вертикальную (Z), горизонтальную вдоль оси пути (X) и горизонтальную поперек пути (Y).

Запись осуществляется в цифровом формате с помощью аналого-цифрового преобразователя сигналов, записываемых в реальном времени в память компьютера. По результатам исследований колебательных воздействий на железобетонную шпалу, размещенную на балластной призме железнодорожного пути для пассажирских поездов в диапазоне скоростей от 55 до 100 км/ч в работе [5] получены аналитические зависимости по расчету значений амплитуды вертикальных (Z), горизонтальных вдоль оси пути (X) и горизонтальных поперек пути (Y) составляющих колебаний.

В данной статье по экспериментальным зависимостям [5] рассчитаны составляющие этих колебаний при скоростях движения поездов типа «Сапсан» свыше 150 км/ч и предложены конструкции новых типов шпал и технология их изготовления.

Результаты исследования и их обсуждение

Ниже приводятся результаты расчетов по амплитудам – A и частотам – f колебаний, возникающих при воздействии на шпалу, размещенную на балластной призме железнодорожного пути для скоростных поездов типа «Сапсан» (табл. 1).

Таблица 1

Частота f и амплитуда A колебаний балластной призмы у подошвы торца шпалы при движении поездов типа «Сапсан»

Вид колебаний	Частота и амплитуда	Составляющие колебаний			Причины возбуждения колебаний
		Вертикальная	Горизонтальная		
			вдоль пути	поперек пути	
Низкочастотный	f , Гц	1,5	1,2	1,3	Силовое нагружение всеми осями тележки
	A , мкм	460	113	140	
Среднечастотный	f , Гц	134	-	-	Силовое воздействие каждой колесной пары
	A , мкм	218			
Высокочастотный	f , Гц	260	170	200	Вибрация неподрессорных масс ходовых частей подвижного состава
	A , мкм	22	11	15	

Из табл. 1 видно, что все виды колебаний обусловлены силовым и вибрационным воздействием различных частей вагонов при их взаимодействии с элементами железнодорожного пути. Наибольшую амплитуду A около 460 мкм имеет вертикальная составляющая при низкочастотном виде колебаний равном 1,5 Гц. Высокочастотный вид колебаний при $f=260$ Гц имеет амплитуду $A=22$ мкм и является следствием конструктивных особенностей ходовых частей подвижного состава. Горизонтальные составляющие колебаний вдоль и поперек пути не столь значительны по сравнению с вертикальными. Преобладающим видом колебаний являются вертикальные среднечастотные, которые характеризуются амплитудами в 4 раза превышающими колебания в горизонтальной плоскости в направлении по оси пути и почти в 3 раза превышающими колебания в горизонтальной плоскости в перпендикулярном направлении оси железнодорожного пути.

Поэтому демпфирующая способность шпалы для среднечастотных колебаний в вертикальной плоскости должна быть наибольшей. На рис. 1 приведена зависимость амплитуды – A и частоты – f вертикальных среднечастотных колебаний от скорости движения поезда – V .

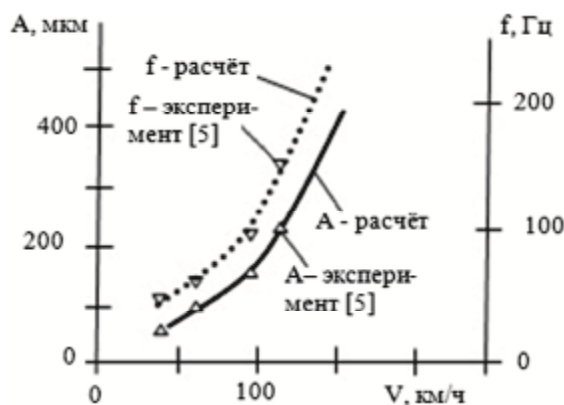


Рис. 1. Зависимость амплитуды – A и частоты – f вертикальных среднечастотных колебаний от скорости движения поезда – V

Как видно из рис. 1, увеличение скорости движения V поезда типа «Сапсан» до 150 км/ч вызывает рост амплитуды до значений $A=400$ мкм, что соответствует значению амплитуды низкочастотного силового воздействия всеми осями вагонной тележки.

Частота f вертикальных среднечастотных колебаний при увеличении скорости V до 150 км/ч возрастает в 2 раза. При этом наблюдается переход колебаний в высокочастотную область при скоростях свыше 150 км/ч.

В работе [10] показано, что для железнодорожных путей с железобетонными шпалами величина амплитуд вертикальных колебаний по результатам экспериментов оказалась в 1,9-2,5 раза большей, чем для пути с деревянными шпалами, то есть демпфирование средне- и высокочастотных колебаний железобетонными шпалами происходило не очень эффективно. Это связано с тем, что железобетонные шпалы изготавливаются из предварительно напряженного железобетона,

следствием влияния большого перепада температур на железобетонные шпалы является низкая трещиностойкость. Чтобы избавиться от этого явления была разработана выше упомянутая конструкция из предварительно напряженного железобетона. Большие перепады температур вызывают повышенные внутренние напряжения в рельсовых путях, вследствие чего железобетонные шпалы не отличаются слишком высокой морозоустойчивостью. Шпалы из древесины незаменимы при низких температурах.

В табл. 2 приведены сравнительные данные по механическим свойствам и демпфирующей способности шпал, изготовленных из различных материалов.

Таблица 2

Сравнительные данные по механическим свойствам шпал

Вид шпалы	Предел прочности при растяжении s_0 , МПа	Модуль упругости Юнга E , ГПа	Тип демпфируемых колебаний
Железобетонная шпала	1275	200	Низкочастотные
Клееная шпала из шпона	130	10	Средне- и высокочастотные
Деревянная шпала	100	6	Высокочастотные

Из табл. 2 видно, что для демпфирования преобладающего вида вертикальных среднечастотных колебаний, возникающих при движении высокоскоростных поездов типа «САПСАН» наиболее подходят клееные шпалы из древесного водостойкого шпона.

Преимущества клееных шпал:

- быстрая окупаемость, так как они гораздо дешевле железобетонных шпал;
- вес деревянной шпалы около 86 кг, что в среднем в три раза меньше, чем вес железобетонной шпалы, что снижает затраты на транспортировку и монтаж;
- срок службы клееных шпал до 39 лет, что в среднем в 2,5 раза выше деревянных шпал;
- устойчивость к перепадам температур по сравнению с железобетонными шпалами;
- упругость по сравнению с железобетонными шпалами, что снижает износ колесных пар;

Технология изготовления клееной шпалы устраняет отрицательные характеристики естественных пороков древесины, что существенно повышает уровни ее показателей прочности и демпфирующей способности по сравнению с деревянными шпалами. По сравнению с железобетонными шпалами у клееных шпал больший коэффициент трения о балласт.

Невысокие эксплуатационные характеристики деревянных шпал, по сравнению с клееными из шпона, связаны с тем, что древесные кряжи для деревянных шпал должны иметь содержание влаги не более 22-25 %. Для этого древесина для изготовления шпал должна заготавливаться зимой в период ее наименьшей влажности. Однако заготовка древесины для деревянных шпал в России производится круглогодично. Доставка производится сплавом по рекам с перегрузкой на наземный транспорт, для транспортировки на шпалопропиточные заводы. Годичный процесс сушки шпальной древесины заменяется более коротким периодом сушки.

Клееная шпала на технологическом этапе получения древесного шпона требует соблюдения регламента по удалению влаги и пропитки, без которых качественный шпон получить не возможно. Поэтому клееная шпала из древесного шпона лишена отрицательной технологической наследственности, которая свойственна цельно древесным деревянным шпалам, приобретенной на стадии заготовки, транспортировки и обработки древесных кряжей.

Конструкция клееной шпалы из древесного водостойкого шпона приведена на рис. 2.

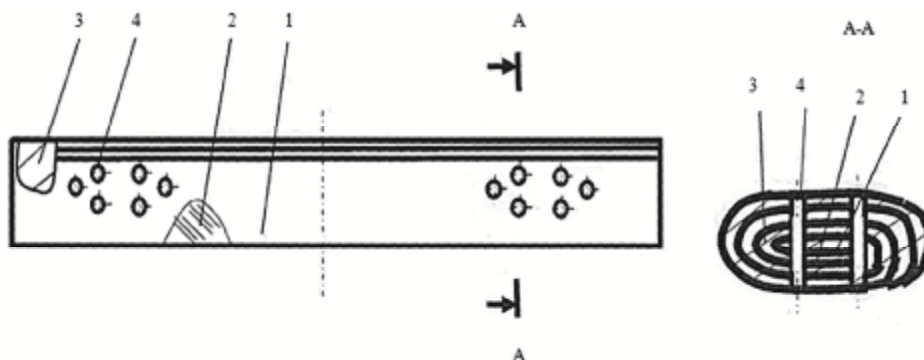


Рис. 2. Схема конструктивного исполнения шпалы с повышенной демпфирующей способностью для высокоскоростных поездов типа «Сапсан»

Технологический принцип изготовления шпалы, показанной на рис. 2, состоит из следующих операций. Тонкие листы древесного шпона пропитываются водостойкой рецептурой на всю толщину антисептиком на основе каменноугольного масла. Затем производится соединение клеем 3 Intercoll L 1421 (фирма-изготовитель Wakol) пропитанных листов шпона в механически более прочные пластины 1 и 2 (рис. 2). После этого наносится еще слой клея 3 на поверхность пластин из древесного шпона и производится свертывание этих пластин по всей длине в брус. Затем свернутый из двух пластин шпона брус помещается под пресс с давлением 40 кг/см^2 на 2 часа и происходит склеивание пропитанных слоев двух пластин 1 и 2 между собой по всей толщине. После склеивания брус вынимается из-под пресса, и сверлятся по разметке отверстия 4 под крепеж рельсов. По предлагаемой технологии могут быть свернуты в брус сразу четыре пластины с толщиной каждой пластины до 4 мм.

В табл. 3 приведены сравнительные технико-экономические показатели клееной шпалы из древесного шпона с железобетонными и деревянными шпалами. Как видно из табл. 3, клееные шпалы имеют более длительный срок службы, по сравнению с деревянными шпалами. По причинам, отмеченным выше, и связанным с первичной подготовкой древесных краёв для изготовления из них деревянных шпал. Однако в России 90 % из всего количества эксплуатируемых в настоящее время железнодорожных шпал являются деревянными [3, 10].

Таблица 3

Сравнительные технико-экономические показатели клееной шпалы из древесного шпона с железобетонными и деревянными шпалами

Тип шпалы	Железобетонная 2700×305×229 мм по ГОСТ 54747-2011	Деревянная пропитанная 2750' 250' 180 мм по ГОСТ 78-2004	Клееная из шпона 2750' 250' 180 мм
Срок службы, лет	45	15	39
Стоимость одной шпалы с НДС, руб.	2300	1100	1400
Основные дефекты шпал	Поперечные и продольные трещины	Продольные трещины и поперечные изломы	Продольные трещины
Вес шпалы, кг	265	85	86

Как видно из табл. 3, по стоимости железобетонные шпалы на 64 % дороже клееных шпал и 2,1 раза дороже пропитанных деревянных. Кроме того, рельсовый путь на железобетонных шпалах отличается большей жесткостью, что увеличивает выход рельсов из строя, вызывает рост расходов на капитальный ремонт пути и ходовых частей подвижного состава по сравнению с клееными шпалами из шпона.

Вес железобетонной шпалы в среднем 3,1 раза больше по сравнению с деревянными и клееными шпалами из шпона. Это усложняет ремонт и прокладку железнодорожных путей. Характерными дефектами железобетонных шпал являются опасные для эксплуатации поперечные и продольные изломы. Для деревянных шпал продольные трещины и поперечные изломы сопровождаются процессами биологического разложения древесины, так как невозможно получить пропитку шпалы антисептиками на всю глубину. Для клееных шпал из шпона продольные трещины располагаются в местах клеевого соединения или на поверхности первого слоя шпона без биологического глубинного разложения древесины.

Заключение

Технология клеевого изготовления шпал позволяет создавать новые типы клееных шпал из древесного шпона для высокоскоростных поездов типа «Сапсан» с повышенной демпфирующей способностью против колебаний в вертикальной плоскости с высокими амплитудами и частотами.

Значимость полученных результатов для строительства железных дорог состоит в том, что предлагаемая конструкция клееной древесной шпалы устойчива к перепадам температур по сравнению с железобетонными шпалами и срок ее службы доходит до 39-40 лет.

Список библиографических ссылок

1. Сафин Р. Г., Зиятдинова Д. Ф., Сафина А. В., Степанова Т. О., Крайнов А. А. Современные направления переработки лесных ресурсов // Вестник Казанского технологического университета. 2015. т. 18, в. 15. С. 144- 148.
2. Шпала : пат. 104940 Рос. Федерация. № 2011102658/11 ; заявл. 24.01.2011 ; опубл. 27.05.2011, Бюл. № 15 с.
3. Яковлева Т. Г., Карпущенко Н. И., Клинов С. И., Путря Н. Н. Железнодорожный путь. М. : Транспорт. 1999. 405 с.
4. Шпала : пат. 115784 Рос. Федерация. № 2011152335/11 ; заявл. 21.12.2011 ; опубл. 10.05.2012, Бюл. № 13 с.
5. Турсунов Х. И. Исследование колебательного процесса гранитного щебня в балластной призме // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2012, № 2. С. 10–16.
6. Способ изготовления шпалы : пат. 2481430 Рос. Федерация. № 2011154396/11 ; заявл. 29.12.2012 ; опубл. 10.05.2013, Бюл. № 1. 3 с.
7. Коншин Г. Г. Упругие деформации и вибрации земляного полотна. М. : РУТ (МИИТ), 2010. 180 с.
8. Мурафа А. В., Макаров Д. Б., Нуриев М. А., Хозин В. Г. Наномодифицированные битумные эмульсии строительного значения // Известия КГАСУ. 2010, № 2 (14). С. 245–250.
9. Rose J. G. Rail reaps benefits from asphalt track beds // Intentional Railway Journal. 1998. № 9. P. 21- 25.
10. Gemot Arnold. New Hannover-Berlin HS line has rigid track bed // International Railway Journal. 1998. № 9. P. 15- 19.
11. Fras Klosters. NS to start ballastless track trials next month // International Railway Journal. 1998. № 9. P. 27- 29.

Taimarov Mikhail Alexandrovich

doctor of technical sciences, professor

E-mail: taimarovma@yandex.ru

Kazan State Power Engineering University

The organization address: 420066, Russia, Kazan, Krasnoselskaya str., 51

Lavirko Yuri Vasilyevich

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: lav.yu55@gmail.com

Sadykov Renat Akhatovich

doctor of technical sciences, professor

E-mail: sadykov_r_a@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Valiullin Bulat Ramilevich

engineer

E-mail: bulat-valiullin@mail.ru

LLC «DSK Veles»

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Parizhskoy Kommuny st., 8

**Development of structures of new type of sleepers
for high-speed trains of «SAPSAN» type****Abstract**

Problem statement. The solution of the problem of developing new sleepers designs ensuring their quality improvement, reducing the cost and prolonging their service life by ensuring the damping of the sleepers with vibrations and shocks during rolling stock movement.

Results. Sleepers serve as supports for rails and the main purpose of sleepers is to transfer the pressure from the rails to the ballast prism and to ensure the consistency of the track width and the stability of the track.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction of railways is that the proposed construction of glued wood sleepers is resistant to temperature changes compared to reinforced concrete sleepers and its service life reaches 39-40 years.

Keywords: sleepers, Peregrine Falcon, ballast prism, types of vibrations, wood veneer.

References

1. Safin R. G., Ziatdinova D. F., Safina A. V., Stepanova T. O., Krainov A. A. Modern directions of processing of forest resources // Vestnik Kazanskogo Tekhnologicheskogo universiteta. 2015. V. 18. P. 144–148.
2. Sleeper : patent 104940 of the Rus. Federation. № 2011102658/11 ; decl. 24.01.2011; publ. 27.05.2011. Bull. № 15 p.
3. Yakovleva T. G., Karpushchenko N. I., Klinov S. I., Putrya N. N. Railway track. M. : Transport, 1999. 405 p.
4. Sleeper : patent 115784 of the Rus. Federation. № 2011152335/11 ; decl. 21.12.2011; publ. 10.05.2012. Bull. № 1. 3 p.
5. Tursunov Kh. I. Investigation of the oscillatory process of granite rubble in the ballast prism // Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya. 2012. № 2. P. 10–16.
6. Method of manufacturing sleepers : patent 2481430 of the Rus. Federation. № 2011154396/11 ; decl. 29.12.2011; publ. 10.05.2011. Bull. № 1. 3 p.
7. Konshin G. G. Elastic deformations and vibrations of the road bed. M. : Russian University of Transport, 2012. 180 p.
8. Murafa A. V., Makarov D. B., Nuriev M. A., Khozin V. G. Nanommodified bitumen emulsion of construction value // Izvestiya KGASU. 2010. № 2 (14). P. 245–250.
9. Rose J. G. Rail reaps benefits from asphalt track beds // International Railway Journal. 1998. № 9. P. 21- 25.
10. Gemot Arnold. New Hannover-Berlin HS line has rigid track bed // International Railway Journal. 1998. № 9. P. 15- 19.
11. Fras Klosters. NS to start ballastless track trials next month // International Railway Journal. 1998. № 9. P. 27- 29.