

- величину радиуса измеренной от середины 20-метровой R_{20} и 10-метровой R_{10} хорды;
- зависимость изменения в величине радиусов ΔR ;
- места, в которых отклонение радиусов минимальное и максимальное;
- места, в которых радиусы R_{20} и R_{10} примерно равны $R_{пр}$;
- зависимость расположения мест, где $\Delta R = \min \Delta R$ и $\Delta R = \max \Delta R$ от изменения стрел изгиба в пределах кривой.

По результатам проведения съемки всех девяти кривых были вычислены радиусы в каждой точке кривой, а также проанализированы различия между измеренными стрелами изгиба, взятыми от середины хорды длиной 20 м и хордой длиной 10 м.

Анализ радиуса кривой № 5 по сравнению с проектным в каждой точке выявляет значительные различия между R_{20} и R_{10} относительно $R_{пр}$. Для обоих вариантов смещение фактической кривой внутрь и наружу фиксируется в одних и тех же точках, за исключением одной точки.

Во всех кривых, кроме кривой № 3, наблюдаются изменения геометрического положения как внутрь, так и наружу. В кривых № 1, 2, 4, 5, 6 и 8 эти изменения имеют незначительные отличия, тогда как в кривых № 7 и 9 они оказались более выраженными. Кривые № 7 и 9 демонстрируют наибольшие отклонения между R_{20} и R_{10} , но при этом уровень расстройств у них минимален.

В ряде случаев рекомендуется или необходимо измерять стрелы изгиба именно от хорды длиной 10 м в точках с шагом 5 м. Исследования в данной области показали, что из девяти изученных кривых:

- в одной (кривая № 3) отклонения R_{20} и R_{10} от $R_{пр}$ совпадают;
- в шести (кривые № 1, 2, 4, 6, 7, 8) отклонение R_{10} от $R_{пр}$ больше, чем отклонение R_{20} от $R_{пр}$;
- в двух (кривые № 5 и 9) отклонение R_{20} от $R_{пр}$ превышает отклонение R_{10} от $R_{пр}$.

Наличие большого отклонения R_{10} от $R_{пр}$ в шести из девяти кривых подчеркивает целесообразность проведения съемки кривой с шагом 5 м. Однако отсутствие нормативной базы для такого подхода не позволяет утверждать, что средний радиус, определенный на основе значений R_{10} , будет достоверным. Эти наблюдения позволяют предположить, что усредненный радиус кривой не отражает реальной ситуации, и оценка радиуса всей кривой может оказаться некорректной.

При проведении работ по выправке кривой акцент в основном делается на разности стрел изгиба, а радиус не является основным параметром, поэтому измерения от хорды длиной 10 м выполняются локально для определения положения «угла» в плане. В этом контексте измерение от 10-метровой хорды действительно оправдано, так как это позволяет более точно установить геометрическое положение рельсовой колеи. Тем не менее в некоторых случаях все же необходимо определить радиус кривой, например, для ведения документации и расчета возвышения наружного рельса.

Список литературы

1 СТП 09150.56.0102005. Текущее содержание железнодорожного пути. Технические требования и организация работ : утв. приказом Нач. Бел. ж. д. от 29.06.2006 № 221 Н. – Введ. 2006-07-01. – Минск : Бел. ж. д., 2006. – 290 с.

2 Романенко, В. В. Вопросы оценки состояния криволинейных участков / В. В. Романенко, А. Б. Капитоненц, В. Д. Макаревич // Инновационное развитие транспортного и строительного комплексов : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию БелИИЖТа – БелГУТа, Гомель, 16–17 нояб. 2023 г. В 2 ч. Ч. 1. – Гомель : БелГУТ, 2023. – С. 415–417.

3 Итоги работы путевого хозяйства в 2023 году и задачи на 2024 год : отчет гос. объединения «Белорусская железная дорога». – Минск : Бел. ж. д., 2024. – 16 с.

УДК 625.172

ПРИМЕНЕНИЕ AUTODESK INVENTOR ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ПОВЕДЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ПОД НАГРУЗКОЙ

В. В. РОМАНЕНКО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

П. А. СЕВАСТИЦКИЙ, Е. М. ВОРОБЬЕВ

Белорусская железная дорога, г. Кричев

Главной задачей железнодорожного транспорта является обеспечение безопасного движения поездов как по общим, так и по специализированным путям, что во многом зависит от состояния верхнего строения пути (ВСП). Устойчивость геометрического положения рельсов во многом определяется типом и состоянием подрельсового основания, состоящего из шпал (для путей), перевод-

ных брусьев (для стрелочных переводов) и мостовых брусьев (для мостов с балластным основанием) [1]. На Белорусской железной дороге (БЖД) подрельсовое основание изготавливают из древесины или железобетона. Выбор материала обусловлен целым рядом факторов и имеет как свои преимущества, так и недостатки в процессе эксплуатации [2].

Для изготовления деревянных шпал, переводных и мостовых брусьев используются лесоматериалы в виде бревен с диаметром от 28 до 40 см и длиной не менее 5,5 м. Стандартная длина шпалы составляет 2750 мм, что позволяет из одного бревна получить две шпалы с минимальными отходами. Длина переводных брусьев варьируется от 3,0 до 5,5 м, что приводит к образованию отходов длиной до 2,5 м, которые не могут быть использованы для создания цельнобрусковых шпал.

С учетом большого количества стрелочных переводов на деревянном основании, остатки брусьев длиной менее 2,75 м составляют значительный объем. Учитывая спрос со стороны БЖД и владельцев железнодорожных путей на древесину, переработка этих остатков для создания подрельсового основания может снизить потребность в древесине для шпал.

В настоящее время на железных дорогах используют цельнобрусковые деревянные шпалы, однако разрабатываются составные варианты, включая клееные, для более эффективного использования остаточных брусьев, хотя это ведет к повышению их стоимости. Для снижения затрат на составные шпалы и избегания необходимости внедрения дополнительных технологий разработаны конструкции, позволяющие использовать обрезанные брусья.

Важным аспектом разработки этих шпал является 3D-моделирование, которое помогает визуализировать и оптимизировать их конструкцию до начала производства. Используя такие программы, как Autodesk Inventor, можно создать точные модели, учитывающие механические нагрузки и эксплуатационные условия, что критически важно для надежности и долговечности. Применение 3D-технологий также позволяет выявить потенциальные проблемы на ранних стадиях разработки, что способствует экономии времени и средств [3].

При проектировании и разработке новых конструкций надежность играет главную роль в обеспечении безопасного движения поездов. Анализ деформационно-напряженного состояния является важным этапом, который позволяет прогнозировать реакцию материалов и конструкций на разнообразные нагрузки. Моделирование нагрузки от поезда служит важным инструментом для оценки устойчивости конструкции под воздействием динамических факторов, таких как ускорение поезда, колебания и вибрации.

Воздействие колес подвижного состава на верхнее строение пути (ВСП) имеет сложный характер и делится на вертикальные и горизонтальные компоненты:

- вертикальное давление, приводящее к просадке пути и деформации рельсов;
- боковое давление, которое может вызывать смещение пути в сторону.

Максимальная расчетная нагрузка от колесной пары на рельсы составляет 23,5 тс, что соответствует нагрузке на одно колесо 11,75 тс. В рамках исследования напряженно-деформируемого состояния вертикальная нагрузка на рельс установлена на уровне 11750 Н (11,75 тс), в то время как боковые нагрузки принимаются в значениях 5, 10 и 15 кН.

Для анализа распределения этих нагрузок по осям используется программа Autodesk Inventor, что позволяет в соответствии с заданными параметрами вертикальной и боковой нагрузки вычислить равнодействующие. Например, при боковой силе 5000 Н получаем следующие результаты:

- для правого рельса – 12769,593 Н, в том числе по векторам: X – минус 11750,000 Н, Y – 0,000 Н, Z – минус 5000,000 Н;
- для левого рельса – 12769,593 Н, в том числе по векторам: X – минус 11750,000 Н, Y – 0,000 Н, Z – 5000,000 Н.

После создания трехмерной модели, учитывая геометрические параметры и материал с помощью встроенных функций анализа нагрузки задаются вертикальные нагрузки, имитирующие реальные условия эксплуатации. Программа осуществляет расчет распределения этих нагрузок по основным осям конструкции, выявляя участки с максимальными напряжениями (рисунок 1) и деформациями.

Метод определения напряжений по Мизесу основывается на комбинации трех главных и касательных напряжений. Суть данного принципа заключается в том, что материал начинает испытывать повреждения в тех зонах, где напряжения, рассчитанные по Мизесу, достигают предельного значения. Для древесины это предельное значение соответствует пределу прочности на растяжение.

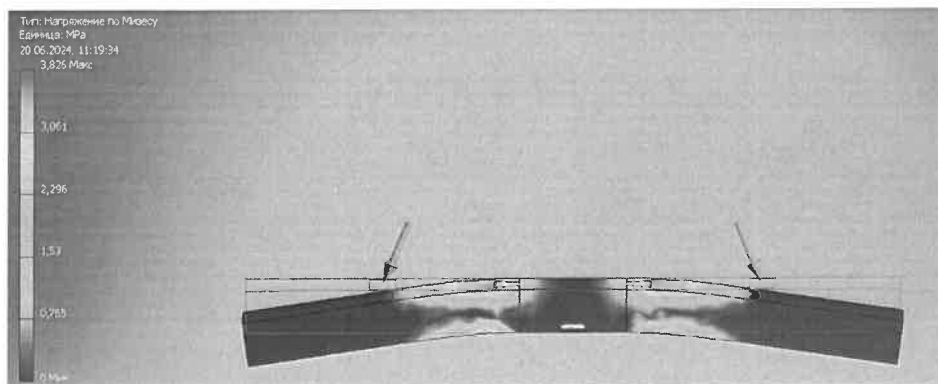


Рисунок 1 – Распределение напряжения по фон Мизесу

Проявление напряжений, величина которых остается в пределах прочности конструкции, свидетельствует об отсутствии сигналов о возможном разрушении элементов системы. В данном случае, принимая во внимание вышеизложенное, можно заключить, что в конструкции с указанными размерами элементов и физико-механическими свойствами материала напряжения остаются ниже допустимых значений, что подтверждается коэффициентом запаса прочности, равным 3,826 (при максимальном значении – 15).

Максимальные напряжения, определенные по Мизесу для шпал из остатков с размерами переводных брусьев, следующие:

- I типа с длиной шипа 100 мм – 4,8 МПа (с длиной 150 мм – 4,2 МПа, разница составляет 13 %);
- II типа с длиной шипа 150 мм – 5,4 МПа (при длине 100 мм – 3,8 МПа, разница – 30 %);
- III типа с длиной шипа 150 мм – 5,8 МПа (при длине 100 мм – 4,9 МПа, разница – 16 %).

Расчеты с использованием Autodesk Inventor подтверждают надежность конструкции составной деревянной шпалы, собранной из остатков древесины, полученных после производства переводных брусьев без изменения их поперечного сечения для всех типов, что говорит о целесообразности использования таких моделей в реальной практике.

Применение трехмерного моделирования вместе с экспериментальными данными в будущем позволит разработать методики для оценки состояния деревянных шпал и рекомендации по их применению в условиях эксплуатации.

Список литературы

- 1 СТП БЧ 56.388-2022. Положение о системе ведения путевого хозяйства : утв. приказом зам. Нач. Бел. ж. д. от 14.05.2022 № 370 НЗ. – Введ. 2022-06-22. – Минск : Бел. ж. д., 2022. – 35 с.
- 2 Невзорова, А. Б. О целесообразности и перспективах применения деревянных шпал в криволинейных участках пути / А. Б. Невзорова, В. В. Романенко // Труды БГТУ. Сер. 1. Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. – 2021. – № 2 (246). – С. 242–249.
- 3 Невзорова, А. Б. Имитационное моделирование несущей способности составной деревянной шпалы с учетом осевой нагрузки / А. Б. Невзорова, В. В. Романенко // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П. О. Сухого. – 2024. – № 1 (96). – С. 72–81.

УДК 625.142.21

РАЗРАБОТКА ПУТЕВЫХ ПРОКЛАДОК ДЛЯ ВЫПРАВКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

К. С. ХОМИЧ

Белорусская железная дорога, г. Пинск

С. С. КОЖЕДУБ, В. И. ИНЮТИН

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Для выправки пути в местах пучения и в зоне рельсовых стыков используются путевые прокладки толщиной от 1 до 10 мм. Для изготовления этих прокладок рекомендуется использовать композиционный материал на основе отходов хлопчатобумажных тканей (ОХБТ). Исследование влияния содержания в связующем поливинилбутираля (ПВБ) (X_1 , C_1 , мас.ч.), магнийцинкового ок-