

УДК 625.144.6

В. Л. МОИСЕЕНКО, кандидат технических наук, П. В. КОВТУН, кандидат технических наук, Н. В. ПИСЬМЕННАЯ, магистр технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОСОБЕННОСТИ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЫПРАВочно-ПОДБИВочно-РИХТОВОЧНОЙ МАШИНЫ

С целью увеличения производительности подбивки шпал и технико-эксплуатационных характеристик железнодорожного пути была разработана выправочно-подбивочно-рихтовочная машина непрерывного действия.

Выправка пути сплошной подбивкой шпал с одновременным регулированием пути в плане, профиле и по уровню является одной из значимых технологий при текущем содержании пути. В Республике Беларусь при выправке пути используются различные типы путевых машин. Можно выделить три основных направления применяемых путевых машин для сплошной выправки пути: циклического действия, непрерывно-циклического действия и непрерывного действия. При циклическом действии используются следующие машины: Duomatic 08-32; Unimat Compact 08-275/3s-16; ВПР-02; ВПР-03. При непрерывно-циклическом действии используются машины Duomatic 09-32 CSM; Dynamic Stophexpress 09-3X, при непрерывном – машина ВПО 3000.

Тем не менее существующее многообразие парка выправочно-подбивочно-рихтовочных машин не позволяет выполнить все необходимые работы при выправке пути из-за их невысокой производительности (рисунок 1).

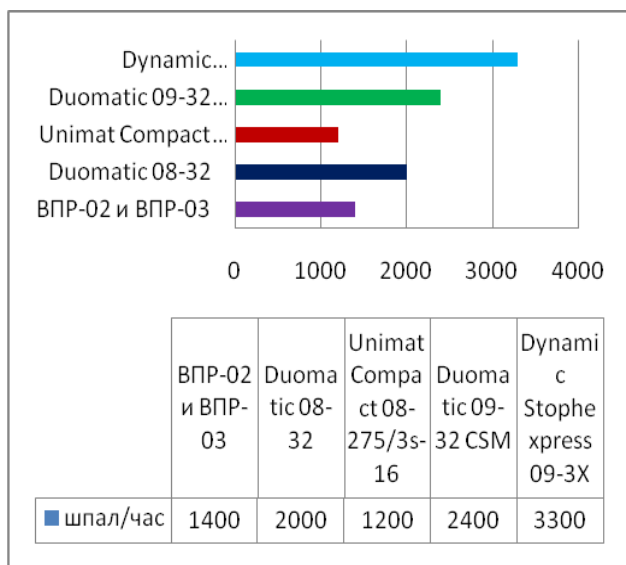


Рисунок 1 – Производительность машин типа ВПР на Белорусской железной дороге

В связи с этим была разработана 3D-модель выправочно-подбивочно-рихтовочной машины непрерывного действия, осуществляющая непрерывную подбивку шпал при постоянном передвижении машины. Её производительность при подбивке двух шпал – более 5500 шпал/ч. Создана модель этой машины, которая позволяет моделировать непрерывную выправку пути и уплотнение балласта.

3D-модель машины непрерывного действия. Выправочно-подбивочно-рихтовочная машина непрерывного действия (рисунок 2) для осуществления способа

непрерывной подбивки шпал железнодорожного пути содержит раму 1, установленную на ходовых приводных тележках 2 и 3 для перемещения по рельсам. На раме установлен подбивочный комплекс (рисунок 3).

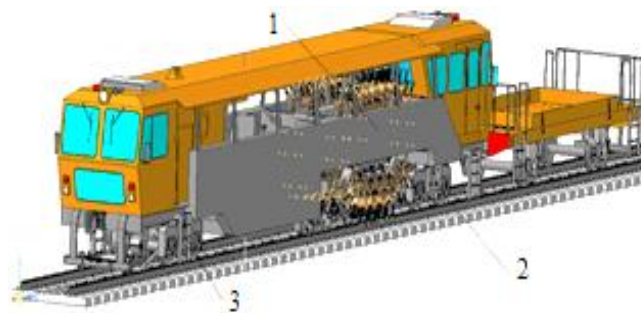


Рисунок 2 – Общий вид выправочно-подбивочно-рихтовочной машины

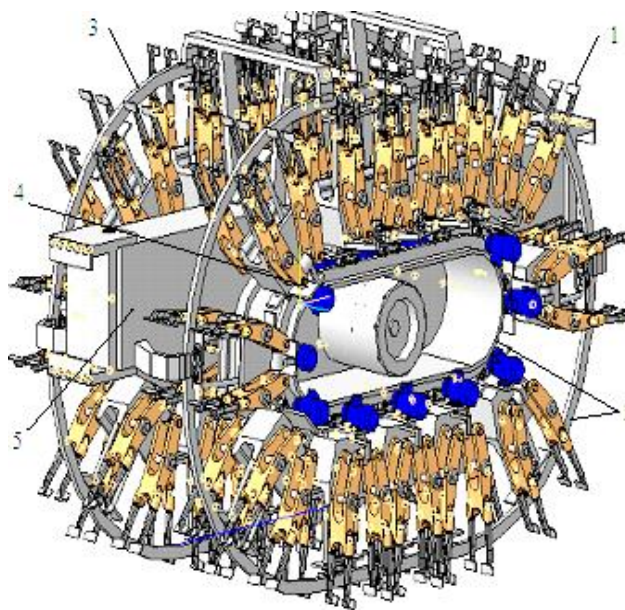


Рисунок 3 – Подбивочный комплекс:
1 – подбивочный блок; 2 – продольные кольцевые направляющие; 3 – участок возврата; 4 – каретки; 5 – рама

На раме подбивочного комплекса выполнены поперечные направляющие, на которых установлена подвижная в горизонтальной плоскости рама с приводами с возможностью независимого перемещения по ним. На подвижной раме параллельно над каждым рельсом выполнены продольные кольцевые (замкнутые) направляющие с прямолинейным (рабочим) участком и участком возврата, включающим два радиусных участка и прямую верхнюю

ветвь. Участок возврата может иметь другие геометрические формы: например часть эллипса. На каждой из кольцевых направляющих установлены каретки.

Количество одновременно подбиваемых шпал может быть выражено дробным числом. Кольцевые направляющие изначально расположены в параллельной продольной оси машины плоскости, например в вертикальной. Каретки снабжены вертикальными направляющими и приводом для перемещения по ним подбивочного блока. На подбивочном блоке закреплены подбойки с приводом для перемещения балласта под шпалу и его уплотнения (подбивки). На каретке может располагаться соединенная с аппаратами управления распределительная, регулирующая и приемопередающая аппаратура, а приводы рабочих органов могут быть снабжены датчиками положения. Каретки могут иметь индивидуальный привод для передвижения по кольцевым направляющим. Выходным звеном привода может являться, например, шестерня, которая зацеплена с зубчатой рейкой, установленной параллельно кольцевым направляющим. Привод может быть многоскоростным или регулируемым. В этом случае количество кареток на каждой кольцевой направляющей должно быть не менее двух. Привод для перемещения кареток по кольцевым направляющим может быть общим для кареток одной направляющей.

Скорость перемещения машины относительно рельс прямо пропорциональна произведению среднего расстояния между соседними шпалами на количество одновременно подбиваемых шпал и обратно пропорциональна времени контакта одного подбивочного блока с балластом.

Расчет на прочность и долговечность основных конструкций и узлов машины. Рама машины (рисунок 4) является основой машины, на которой смонтированы все рабочие органы и вспомогательное оборудование. Она опирается на две ходовые двухосные тележки. На раму передается вес всех узлов и агрегатов, динамические нагрузки от шпалоподбивочного, подъемно-рихтовочного устройства.

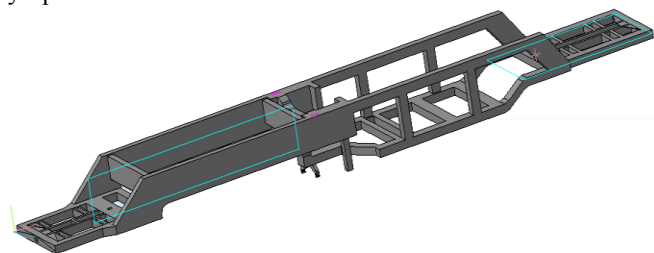


Рисунок 4 – 3D-модель рамы ВПРМ

Произведем расчет модели рамы с помощью библиотеки APMFEM программы «КОМПАС 3DV15».

Метод конечных элементов (МКЭ, или FEM – Finite Element Method) в настоящее время широко используется для решения различных задач механики деформируемого твердого тела, в частности для выполнения экспресс-расчетов на прочность на этапе 3D-проектирования конструкций. Суть метода заключается в разбиении твердотельной модели на конечное число под областей (элементов), составлении и последующем решении системы линейных алгебраических уравнений. Большинство современных САД-систем имеет специальные инструменты, предназначенные для автоматизации подобных расчетов. Прикладная библиотека APM

FEM предназначена для выполнения экспресс-расчетов твердотельных моделей.

Порядок подготовки модели и выполнения расчета:

- 1 Подключение библиотеки APM FEM: Прочностной анализ.
- 2 Подготовка модели к расчету – задание закреплений и приложение нагрузки.
- 3 Задание совпадающих граней (для КЭ-анализа сборки).
- 4 Генерация КЭ-сетки.
- 5 Выполнение расчета.
- 6 Просмотр результатов в виде карт напряжений, перемещений.

Перед расчетом необходимо установить закрепления рамы, приложить все основные нагрузки, воздействующие на раму (в данном случае целесообразно учитывать вес рабочего, вспомогательного оборудования, кабин, усилия подъема и сдвижки пути). Все значения нагрузок увеличены с учетом коэффициента запаса 3,0.

Результаты расчета приведены на рисунке 5.

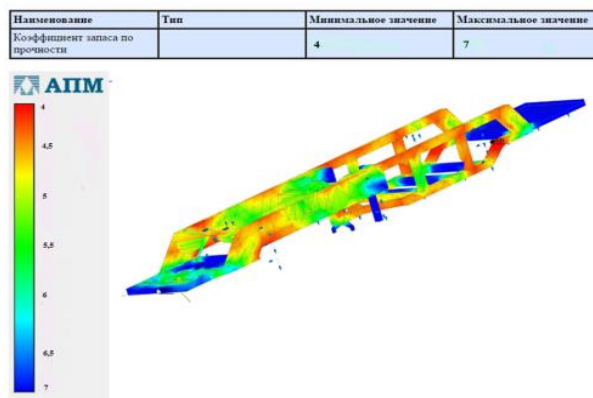


Рисунок 5 – Схема расчета рамы

Из рисунка 5 видно, коэффициент запаса прочности в максимально напряженном месте имеет минимальное значение 4 и 7 в менее напряженных точках. Следовательно, конструкция рамы выдержит предполагаемые нагрузки при производстве работ.

Подбивочные блоки имеют типовую конструкцию, представленную на рисунке 6.

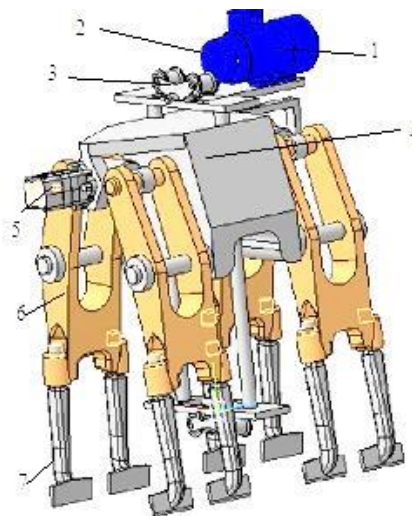


Рисунок 6 – Подбивочные блоки:

- 1 – электродвигатель; 2 – приводная шестерня; 3 – балансир; 4 – корпус блока; 5 – гидромотор привода механизма вибрации; 6 – рычаг; 7 – подбойка

3D-модель подъёмно-рихтовочного устройства представлена на рисунке 7.

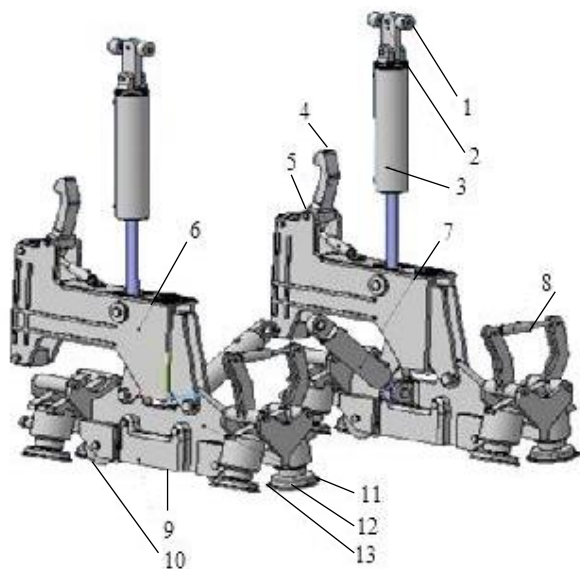


Рисунок 7 – Подъёмно-рихтовочное устройство:

1 – опорный ролик; 2 – опора ГЦ подъема; 3 – ГЦ подъема; 4 – запорный крюк; 5 – ГЦ привода запорного крюка; 6 – рама; 7 – ГЦ сдвига; 8 – ГЦ привода роликов; 9 – электромагнит; 10 – рихтующий каток; 11 – балансир; 12 – подъемный ролик; 13 – подшипниковый узел

Подъёмно-рихтовочное устройство содержит балансир и установленные на него два электромагнита, по одному с каждой стороны. Подъем рельсошпальной решетки будет осуществляться при помощи роликовых захватов, а также с помощью электромагнитов. Использование электромагнитов позволит снизить нагрузку с переднего и заднего захватов, а также избежать излома роликов.

По сравнению с используемыми устройствами данная конструкция позволит осуществлять непрерывное движение машины с поднятой рельсошпальной решеткой, не боясь выхода из строя ее основных органов захвата.

На балансир подъёмно-рихтовочного устройства установлен прямоугольный грузоподъемный электромагнит.

Расчет балансира подъёмно-рихтовочного устройства произведён с помощью библиотеки APM FEM программы «КОМПАС 3D V15». Перед расчетом необходимо установить закрепления балансира, приложить все основные нагрузки, воздействующие на него (в данном случае целесообразно учитывать усилия, приложенные к проушине крепления гидроцилиндра сдвига пути, пальцам крепления серьги ПРУ, пальцам крепления электромагнита подъема пути). Все значения нагрузок увеличены с учетом коэффициента запаса 3,0 (рисунок 8).

Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение
Коэффициент запаса по прочности		2,2	10

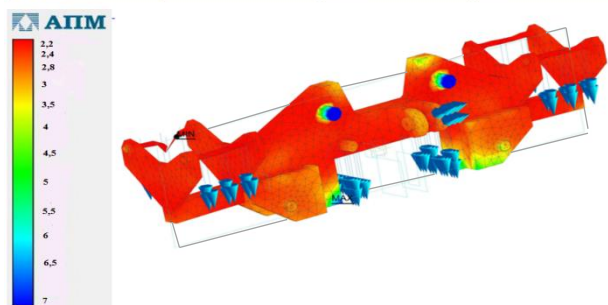


Рисунок 8 – Схема расчёта балансира

Из рисунка 8 видно, коэффициент запаса прочности рамы балансира в максимально напряженном месте имеет минимальное значение 2 и 10 в менее напряженных точках. Следовательно, конструкция рамы балансира выдержит предполагаемые нагрузки при производстве работ.

Производительность выправочно-подбивочно-рихтовочной машины. Она рассчитывается по формуле

$$\Pi_T = \frac{3600n}{t}, \quad (1)$$

где n – количество одновременно подбиваемых шпал; t – время контакта подбоек одного блока с балластом, с ($t=1,415$ с).

С учетом того, что машина движется непрерывно, затрачиваемым на подъем/опускание блоков, а также на их позиционирование и захват рельсошпальной решетки временем можно пренебречь, так как все эти операции производятся во время движения.

Машина может работать в двух режимах: подбивке одновременно одной и двух шпал. При подбивке одной шпалы производительность

$$\Pi_T = \frac{3600 \cdot 1}{1,415} = 2544 \text{ шпал/ч.}$$

При подбивке одновременно двух шпал производительность

$$\Pi_T = \frac{3600 \cdot 2}{1,415} = 5088 \text{ шпал/ч.}$$

При этом скорость перемещения машины, м/с,

$$v_{\text{пер}} = \frac{Ln}{t}, \quad (2)$$

где L – среднее расстояние между соседними шпалами, м ($L=0,6$ м).

$$v_{\text{пер}} = \frac{0,6 \cdot 1}{1,415} = 0,424 \text{ м/с} = 1,52 \text{ км/ч;}$$

$$v_{\text{пер}} = \frac{0,6 \cdot 2}{1,415} = 0,848 \text{ м/с} = 3,05 \text{ км/ч.}$$

Таким образом, производительность модернизированной машины значительно превышает производительности существующих машин, что доказывает целесообразность проектирования и изготовления машин данного типа.

Заключение. Разработка выправочно-подбивочно-рихтовочной машины непрерывного действия велась с учетом конструкторских решений, принятых на существующих выправочно-подбивочно-рихтовочных машинах циклического действия ВПР-3Х, ПМА, ВПР-1200 и непрерывно-циклического действия Plasser&Theurer Unimat 09-32, используемые в Республике Беларусь.

Создана 3D-модель выправочно-подбивочно-рихтовочной машины непрерывного действия, которая позволяет модернизировать непрерывную выправку пути и уплотнение балласта. Предлагаемое изобретение позволит увеличить производительность и создать одинаковые условия для подбивки каждой шпалы.

Разработаны рама машины, рама подбивочных блоков, привод подбивочных блоков, усовершенствована система подбивки шпал, подъемно-рихтовочное устройство. Основные конструкции рассчитаны на прочность, устойчивость, собственные колебания с помощью библиотеки АРМ FEM программы «КОМПАС 3D V15». Выполнены расчеты вписывания машины в габарит, прохождения машиной кривых участков пути, а также тяговый расчет.

Расчетная производительность машины превышает производительность существующих аналогов в два раза, что доказывает экономическую целесообразность данной модернизации.

Список литературы

1 Пат. RU 2 480 552⁽¹³⁾ C1 E 01 B 27/16. Способ непрерывной подбивки шпал железнодорожного пути и машина для его осуществления / Балезин Н. И. (RU). – № 32011146518/11;

Получено 18.09.2018

V. L. Moiseenko, P. V. Kovtun, N. V. Pismennaya. Development of a high-productive machine for continuous action for wrapping and pitching the way.

In order to increase the productivity of the sleepers' tacks and the technical and operational characteristics of the railway track, a straightening-podging and straightening machine was developed.

заявл. 16.11.2011; опубл. 27.04.2013, Бюл. № 12 / Федеральная служба по интеллектуальной собственности, 2013. – 32 с.

2 Пат. RU 2237122 C1 E 01 B 27/27. Выправочно-подбивочная машина / Демидов П. И. (RU), Грунин Е. И. (RU), Тикин П. А. (RU). – № 3203104685/11; заявл. 19.02.2003; опубл. 27.09.2004, Бюл. № 11 / Государственное унитарное предприятие Калужский завод «Ремпутьмаш» (RU), 2004. – 8 с.

3 Путевые машины : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / под ред. С. А. Соломонова. – М. : Желдориздат, 2000. – 756 с.

4 Механизованная выправка и подбивка железнодорожного пути : учеб. пособие / под ред. М. В. Поповича. – Л. : ЛИИЖТ, 1984. – 102 с.

5 А. с. SU 1759980 A1 E 01 B 33/02. Устройство для подъема и рихтовки железнодорожного пути / Ж. Х. Тлеугабылов, Ю. М. Шекунов. – № 4889892/11; заявл. 10.12.90; опубл. 07.09.92, Бюл. № 33 / Соколовско-Сарбайское горно-обогатительное производственное объединение, 1992. – 3 с.