

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ НОРМИРУЕМЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ КОЛПАКА СКОЛЬЗУНА ТЕЛЕЖКИ ГРУЗОВОГО ВАГОНА СРЕДСТВАМИ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А.В. Габец, Д.А. Габец, А.В. Семенов, И.В. Левкин

Рассмотрена методика прочностного анализа колпака скользунa тележки грузового вагона с учетом условий его эксплуатации. Методика включает в себя определение действующих нагрузок; трехмерное твердотельное моделирование сборки бокового скользунa; моделирование области контакта в образуемых парах трения; моделирование напряженно-деформированного состояния колпака и расчет эквивалентных напряжений, а также определение удельного давления, действующего на колпак скользунa.

Ключевые слова: Колпак скользунa, прочностной расчет, твердотельное моделирование, 3D-модель, автоматизированный инженерный анализ.

Согласно статистическим данным [1] вывод из эксплуатации грузовых железнодорожных вагонов в текущий отцепочный ремонт из-за неисправности тележки в 34% случаев вызван несоблюдением зазоров и в 9% - неисправностями скользунa. Скользунa ограничивают боковой наклон кузова вагона на тележках при действии ветровой нагрузки и центробежных сил, возникающих на криволинейных участках пути. Основной рабочей деталью скользунa с зазором для грузовой тележки самой массовой модели 18-100 и ее модификаций является колпак, устанавливаемый на соответствующую опору надрессорной балки (Рисунок 1).

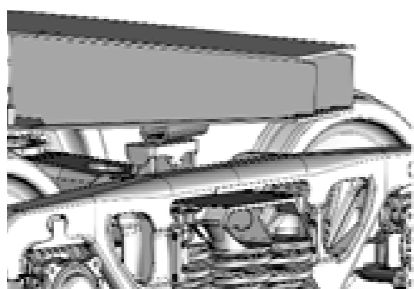


Рисунок 1 - Место установки колпака скользунa

Колпак скользунa участвует в контуре силового замыкания передаваемых нагрузок, расчетные значения которых вычисляются согласно принятым нормам [2]. Прочностной расчет колпака под их воздействием обычно производится с учетом только его конструктивных особенностей, без учета меняющихся условий эксплуатации. Восполнить этот не-

достаток позволяет предлагаемая методика исследования прочности колпака, основанная на использовании 3D-модели сборки, которая состоит из 3D-моделей контактирующих деталей бокового скользунa.

Применение разработанной методики приведено для вагона модели 11-835 [3] на тележке модели 18-100 [4]. Вычисление нагрузок, согласно [2], выполнено для расчетного режима III.

ВЫЧИСЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ НАГРУЗОК

Так как колпак скользунa является составной частью надрессорной балки, то передаваемые им нагрузки определяются в контексте расчета нормативных параметров ее нагружения [5]. Применяемая схема приложения сил показана на Рисунке 2.

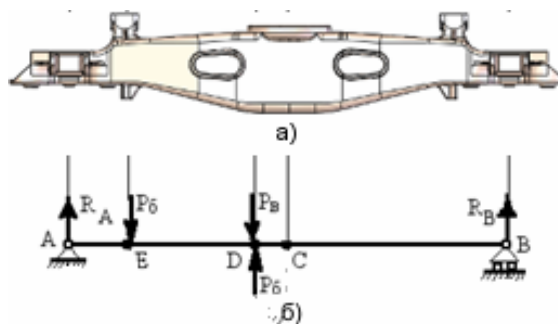


Рисунок 2 – Расчетная схема для определения боковой нагрузки: а – надрессорная балка; б – расчетная схема

При вхождении вагона в криволинейный участок пути на колпак скользунa начинает

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ НОРМИРУЕМЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ КОЛПАКА СКОЛЬЗУНА ТЕЛЕЖКИ ГРУЗОВОГО ВАГОНА СРЕДСТВАМИ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

действовать вертикальная сила $P = P_6$. В результате проворота тележки относительно кузова вагона в образовавшейся паре трения возникает продольная сила трения H .

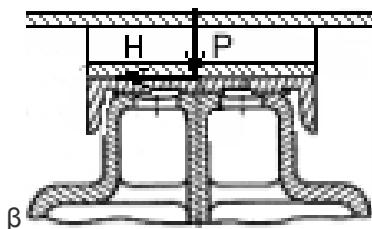


Рисунок 3 - Силы, действующие на колпак скользуна

Вертикальная нагрузка P , действующая на колпак скользуна, определяется расчетным значением вертикальной составляющей от действия центробежных сил на надрессорную балку тележки P_6 , $P=P_6$.

Продольная сила трения H вычисляется по формуле:

$$H = \mu P_6, \quad (1)$$

где μ - коэффициент трения между рабочими поверхностями бокового скользуна;
 P - вертикальная нагрузка, действующая на колпак, H .

Для осевой нагрузки в 23,5 т расчетное значение вертикальной составляющей боковой силы $P_6 = 84,4$ кН. При использовании стального колпака коэффициент трения «сталь по стали» $\mu = 0,18$. Тогда $H = 0,18 \cdot 84,4 = 15,2$ кН.

РАЗРАБОТКА 3D-МОДЕЛИ СБОРКИ КОНТАКТИРУЮЩИХ ДЕТАЛЕЙ БОКОВОГО СКОЛЬЗУНА

3D-модель сборки, используемая для прочностного анализа колпака, разрабатывается в инструментальной среде системы твердотельного моделирования SolidWorks [6]. Первоначально создаются 3D-модели деталей бокового скользуна: ответной части скользуна, установленной на нижнем листе шкворневой балки (Рисунок 4а) и колпака скользуна тележки (Рисунок 4б).

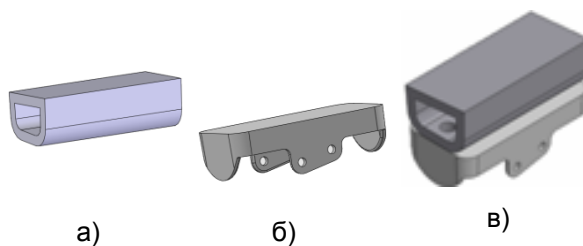


Рисунок 4 – Твердотельные модели: а – модель ответной части скользуна; б – модель колпака скользуна; в – модель исходной сборки бокового скользуна

На базе полученных моделей строится исходная 3D-модель сборки (Рисунок 4в) с одним угловым таблично управляемым параметром.

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ 3D-МОДЕЛИ СБОРКИ БОКОВОГО СКОЛЬЗУНА НА КРИВОЛИНЕЙНОМ УЧАСТКЕ ПУТИ

Взаимное угловое расположение кузова и тележки вагона β при прохождении криволинейных участков пути (Рисунок 5а) определяет соответствующее взаимное расположение контактирующих деталей бокового скользуна. Величина данного угла определяется как $\beta = 90^\circ - \alpha$. Значение угла α вычисляется из решения прямоугольного ΔACO по формуле

$$\alpha = \arccos \frac{l}{2 \cdot r}, \quad (2)$$

где l – база вагона, м;
 r - радиус кривизны участка пути, м.

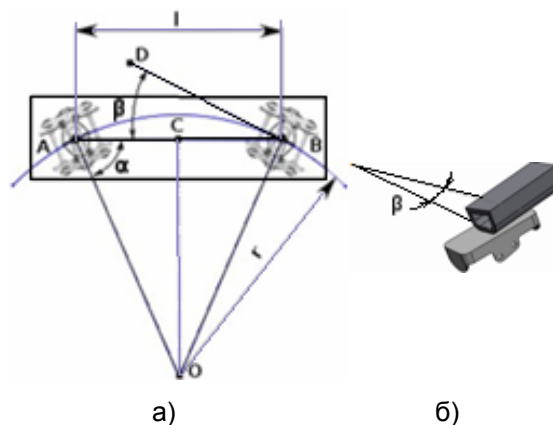


Рисунок 5 - Угловое расположение: а – кузова и тележки вагона; б – колпака и ответной части скользуна

Полностью параметризованная модель сборки позволяет для каждого установленного значения кривизны пути [7] смоделировать взаимное расположение входящих в нее деталей (Рисунок 5б).

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЙСТВУЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ В КОЛПАКЕ СКОЛЬЗУНА

РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ

Предварительно, рабочая 3D-модель сборки бокового скользунa перестраивается для значения угла β , соответствующего заданному радиусу кривизны пути r . Например, радиусу $r = 200\text{м}$ соответствует значение угла $\beta=1,95^\circ$. Полученный результат твердотельного моделирования (Рисунок 6а) загружается в инструментальную среду COSMOSSimulation [8], на базе которой выполняется конкретное исследование.

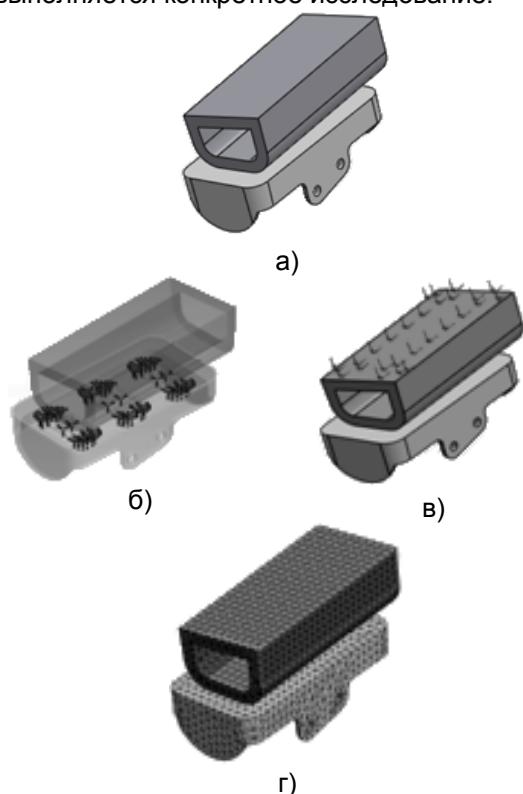


Рисунок 6 – Создание расчетной твердотельной модели сборки:
а – исходная твердотельная модель;
б – схема закрепления; в – схема приложения нагрузок; г – конечноэлементная сетка

РАСЧЕТ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

В составе расчетной модели сборки бокового скользунa методом конечных

элементов выполняется прочностной расчет колпака скользунa: эквивалентные напряжения (Рисунок 7а) и коэффициент запаса прочности (Рисунок 7б).

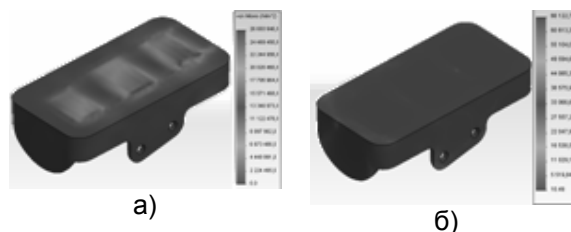


Рисунок 7 – Результаты прочностного расчета колпака скользунa:
а – эквивалентные напряжения;
б – коэффициент запаса прочности

Расчетные значения напряжений по всему объему модели не превышают 26,7 МПа, что удовлетворяет установленным в [2] допускаемым напряжениям. При этом расчетный коэффициент запаса прочности составляет не менее 10,5.

РАСЧЕТ УДЕЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ В ОБРАЗУЕМЫХ ПАРАХ ТРЕНИЯ

Различным угловым положениям соответствуют различные варианты силового замыкания в системе «кузов – тележка» (рисунок 5). Возникающее в образуемой скользунaми паре трения удельное давление вычисляется по формуле:

$$P_{y\partial} = \frac{P_{\sigma}}{S}, \quad (3)$$

где P_{σ} - нагрузка, действующая на колпак скользунa (вертикальная составляющая от действия центробежных сил), Н;

S – площадь области контакта, м^2 .

Средствами SolidWorks моделируется область контакта и автоматически вычисляется ее площадь (Рисунок 8).

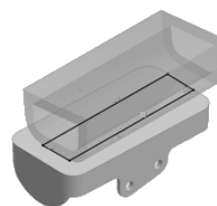


Рисунок 8 – Область контакта в боковом скользунe вагона

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ НОРМИРУЕМЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ КОЛПАКА СКОЛЬЗУНА ТЕЛЕЖКИ ГРУЗОВОГО ВАГОНА СРЕДСТВАМИ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

При площади контакта размером в $10,18 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ $P_{ул} = 8,3 \text{ МПа}$, что значительно превышает установленное в [2] нормативное значение. Выходом в данной ситуации является увеличение площади контакта внесением согласованных изменений в конструкцию скользунов рамы и тележки грузового вагона, конструктивно изменяя и колпак скользуна тележки.

ВЫВОДЫ

Разработанная методика позволяет выполнить исследование основных нормируемых показателей прочности колпака скользуна тележки грузового вагона во всем диапазоне изменения условий его эксплуатации. Основанные на твердотельном моделировании результаты инженерного анализа еще на этапе конструирования детали позволяют произвести оптимальное проектирование ее конструкции. Наиболее эффективное применение разработанной методики обеспечивается при использовании интегрированной инструментальной среды автоматизированных систем класса CAD/CAE.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шпадин Д.В. Новым грузовым вагонам – инновационные узлы и детали // Техника железных дорог. – 2012. – №2. – С.45-48.

2. Нормы расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. -319 с.

3. Грузовые вагоны колеи 1520 мм железных дорог СССР (альбом-справочник). –М.: Транспорт, -1989. 177 с.

4. Быков Б.В. Конструкция тележек грузовых и пассажирских вагонов: Иллюстрированное учебное пособие. –М.: Маршрут, 2004. - 36 с.

5. Расчет вагонов на прочность. Вершинский С.В. и др. Изд. 2-е. Под. ред. Л.А. Шадура. –М.: Машиностроение, 1971. - 432 с.

6. Прохоренко В.П. SolidWorks. Практическое руководство. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2004. – 448 с.

7. СНиП 32-01-95 Железные дороги колеи 1520 мм. Москва, 1995 (Минстрой России).

8. Алямовский А.А. SolidWorks/COSMOS Works. Инженерный анализ методом конечных элементов. – М.: ДМК Пресс, 2004. - 432 с.

Габец А. В. - директор по развитию, руководитель научно исследовательского сектора, ООО «АСЛЗ», gabeca@mail.ru

Габец Д. А. - аспирант АлтГТУ, gabets22@mail.ru.

Семенов А. В. - к.т.н., начальник лаборатории компьютерных интегрированных Инженерных систем АлтГТУ, al7onov@yandex.ru.

Лёвкин И. В. - к.ф.-м.н., доцент кафедры «Информатика, вычислительная техника и информационная безопасность» АлтГТУ, levkiniv@mail.ru.