

и допуская существование бегущих и стоячих волн [32]. В частности, указанными свойствами обладают длинные валы со многими кольцевыми проточками или прикрепленными на равных расстояниях одинаковыми дисками. Параметрическое силовое воздействие передается по квазиоднородной динамической системе в виде бегущих волн с фазовой скоростью, определяемой по формуле [17]:

$$v = \sqrt{c/J},$$

где c – жесткость участка; J – момент инерции характерного участка, (характерный участок измеряется числом участков (или масс), проходящих в секунду).

Таким образом, дистанционное воздействие будет ощущаться через некоторый промежуток времени, за который волна, теряя энергию вследствие демпфирования, пройдет всю систему. Экспериментальные исследования распространения колебаний [32] показали, что традиционные методы расчета динамических систем (принцип Даламбера, уравнения Лагранжа 2-го рода), основанные на законах Ньютона, достоверно определяют только стоячие волны, т. е. собственные частоты и соответствующие им формы колебаний.

Нагружение системы при вынужденных резонансных колебаниях определяется как стоячими, так и бегущими волнами. Так как в бегущей волне, существование которой обусловлено диссипативными свойствами линии, разные сечения колеблются в различных временных фазах, а стоячая волна характеризуется одинаковыми временными фазами, то между усилиями, определяемыми бегущей волной и перемещениями, определяемыми стоячей волной, существует сдвиг фаз, обнаруживаемый при экспериментальном исследовании. Для уточненного определения силовых факторов, действующих на участках, когда энергия возмущения распространяется по системе, необходимо учитывать сдвиги фаз, определяемые фазовыми скоростями бегущих волн [32].

Определенный интерес имеет оценка динамического воздействия со стороны направляющей на транспортный модуль, вызванного неровностями поверхности головки, при различной скорости движения. Этот фактор в первую очередь скажется на усталостной прочности деталей транспортного модуля и стабильности контактирования пары «колесо – направляющая».

Так как поперечное сечение струнной транспортной линии мало по сравнению с существующими путевыми структурами (мостами, путепроводами и т. д.), по всей видимости, маловероятны критические режимы, вызывающие потерю прочности или устойчивости направляющей при действии ветровых нагрузок (применительно к мостовым

конструкциям этот вопрос обсуждался в работе [45]). Однако требуют дополнительного изучения колебания направляющей аэродинамической природы [44] с точки зрения обеспечения плавности хода при высокоскоростном движении.

3.2. Прочность транспортных модулей и рельсо-струнной направляющей

Безопасность эксплуатации СТС определяется прочностью элементов рельсо-струнной эстакады и транспортного модуля. Рассмотрим особенности прочностной оценки на основании существующих расчетных методов.

Направляющая. Направляющая струнной транспортной системы имеет композитную конструкцию (рисунки 1.3, 2.10). Струны, как элементы, воспринимающие усилие натяжения, состоят из отдельных проволок, канатов или полос и представляют собой канат без скрутки – невитой канат. Монолитность струны обеспечивается защитной оболочкой. Струны связаны между собой посредством заполнителя. Заполнитель из материала с высокими демпфирующими свойствами и струны заключены в окаймляющий элемент – корпус, являющийся защитной оболочкой прямоугольного или криволинейного сечения. Контактная нагрузка воспринимается головкой с износостойким покрытием.

Таким образом, элементы с различными функциональными свойствами (высокопрочные струны, демпфирующий заполнитель, защитный корпус, головка с высокой контактной жесткостью и антифрикционным покрытием) обеспечивают необходимые характеристики направляющей в целом.

В настоящее время имеется значительный опыт исследования напряженного состояния отдельных элементов рассмотренной выше композитной структуры. К примеру, известны методы расчета тросовых лент с учетом произвольного повреждения тросов [3], напряженно-деформированного состояния оболочечных конструкций с наполнителем [9] и многослойных деталей [27]. Экспериментально установлена зависимость параметров изгибных колебаний от статического растяжения [21]. Однако для прочностного исследования направляющей СТС необходимо построить модель, комплексно учитывающую механические свойства всех составных частей, адгезионное взаимодействие в соединении «головка – корпус», контактное нагружение головки и предварительное натяжение струн. В качестве начального приближения можно использовать модель соединения, описанную в [48]. Анализ прочности и устойчивости опор