

магнитного потока и напряженности магнитного поля от преобразуемого тока и параметров магнитной системы МДПТ. Выявлено, что длительность формируемых импульсов кроме измеряемого тока зависит от напряжения источника питания, сопротивления балластного резистора, тока коллекторной обмотки и магнитных свойств сердечника. Разработаны линейная и нелинейная динамические модели магнитомодуляционных преобразователей постоянного тока. Показано, что разработанный преобразователь тока с ШИМ при малых отклонениях ширины импульса можно представить в виде последовательно соединенных цепочек линейных динамических звеньев с амплитудно-импульсной модуляцией, а для более точных исследований динамических свойств – в виде ключа, формирующего δ -импульсы, и нелинейного формирователя, формирующего положительные прямоугольные импульсы.

Анализ полученных выражений статических характеристик новых МДПТ показал, что они имеют высокую линейность на начальном участке, причем продолжительность линейного участка характеристики зависит от величин, в основном влияющих на максимальный ток коллектора, значений напряжения источника питания, сопротивления базового резистора и числа витков базовой обмотки. Установлено, что чувствительность разработанных МДПТ в большей степени определяется величиной сопротивления балластного резистора, числом витков коллекторной обмотки и она растет с уменьшением числа витков коллекторной обмотки и с увеличением сопротивления балластного резистора.

Исследование переходного процесса новых МДПТ показал, что при больших постоянных времени фильтра низких частот целесообразным является представление МДПТ на МТМ с ШИМ в виде линейного импульсного звена с амплитудно-импульсной модуляцией. Выявлено, что динамика МДПТ с дискретным фильтром определяется в основном величиной постоянной времени входной цепи и периодом, определяющим время запаздывания выходного напряжения относительно измеряемого тока. Экспериментальными исследованиями установлено, что при анализе динамики МДПТ с отрицательной обратной связью можно пренебречь постоянной времени цепи, образованной обмоткой и резистором обратной связи, так как при реальных параметрах цепи обратной связи значения этой постоянной времени составляют единицы микросекунд, что минимум на два порядка меньше постоянных времени других цепей.

Анализ источников погрешностей новых МДПТ показал, что наибольшее влияние на параметры их элементов, следовательно, на точность измерения, оказывает изменение температуры окружающей среды. Выявлено, что погрешность, возникающая при изменении параметров ферромагнитного сердечника под воздействием температуры, приблизительно на два порядка ниже, чем погрешности, возникающие при температурных изменениях параметров других элементов МДПТ. Показано, что наибольший вклад в величину погрешности вносит изменение коэффициентов усиления транзисторов МДПТ под воздействием температуры, причем чем меньше их величина и чем больше различаются они между собой, тем больше температурный дрейф выходного напряжения МДПТ. Установлено, что для исключения влияния изменения коэффициентов усиления транзисторов преобразователя на суммарную погрешность необходимо подобрать транзисторы с возможно более высоким коэффициентом усиления либо применять составные транзисторы. Основные технические характеристики нового МДПТ: диапазон измерений – 0–200 А; чувствительность – 1,1 В/А; основная приведенная погрешность – $\pm 0,4$ %; степень нелинейности рабочего участка статической характеристики – 0,5 %; напряжение источника питания – 12 В; количество витков в коллекторной обмотке – 100; количество витков в базовой обмотке – 25; сопротивление балластного резистора – 100 Ом; сопротивление базового резистора – 150 Ом; габариты – 115×75×30 мм; масса – не более 150 г.

УДК 629.4.02

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ СИЛ СЖАТИЯ ПРИ СОЗДАНИИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ НАПРЯЖЁННЫХ ВАГОНОКОНСТРУКЦИЙ В КОМПАС-3D V16 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИКЛАДНОЙ БИБЛИОТЕКИ АРМ FEM

А. В. ФОМИН, А. А. СТЕЦКО

Государственный университет инфраструктуры и технологий, г. Киев, Украина

Постановка проблемы. Применение прочностного анализа методом конечных элементов наиболее эффективно в случае анализа сложных конструкций и схем нагрузок, решение которых классическим методом может оказаться достаточно трудоемким.

Основные материалы исследования. 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 подобластей (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 объектов в системе КОМПАС-3D и визуализации результатов этих расчетов.

В состав APM FEM входят инструменты подготовки деталей и сборок, задания граничных условий и нагрузок, а также встроенные генераторы конечно-элементной (КЭ) сетки (как с постоянным, так и с переменным шагом) и постпроцессор. Этот функциональный набор позволяет смоделировать твердотельный объект и комплексно проанализировать поведение расчетной модели при различных воздействиях с точки зрения статике, собственных частот, устойчивости и тепловой нагрузки.

Для создания конечно-элементного представления объекта в APM FEM предусмотрена функция генерации КЭ-сетки, при вызове которой происходит соответствующее разбиение объекта с заданным шагом. Если созданная расчетная модель имеет сложные неравномерные геометрические переходы, то может быть проведено так называемое адаптивное разбиение. Для того чтобы результат процесса был более качественным, генератор КЭ-сетки автоматически (с учетом заданного пользователем максимального коэффициента сгущения) варьирует величину шага разбиения.

Для выполнения расчета построена в КОМПАС-3D V16 модель исследовательского макета рамы вагона-цистерны (масштаб 1:10).

Рассматривалось несколько вариантов приложения вертикальных сил: одно-, двух- и трехточечных. Для приложения силы сжатия по торцам рамы: $1/2$ внутреннего диаметра (по середине), $1/3$, $1/5$ и $1/7$. Как показали результаты компьютерного расчета, наиболее выгодным является вариант, когда сжатие хребтовой рамы (трубы) происходит по нижней кромке. Это можно объяснить тем, что рама (труба) будет больше выгибаться, те же волокна будут иметь максимальное растяжение, чем вызывают больше восприятия (погашения) действия вертикального усилия.

Именно для данного варианта и проводились расчеты по определению оптимальных параметров предварительного натяжения (сжатия). Для создания предварительно напряженного состояния рамы по ее торцам к нижней части трубы прикладывалось распределенная нагрузка. В случае расчета рамы без предварительного напряжения величины сил принять равными 0.

Для разбивки модели на элементы выполнялась команда библиотеки «Генерация КЭ-сетки». Модель содержит 115861 конечный элемент и 38805 узлов.

На первом этапе был проведен расчет рамы без предварительного напряжения, то есть величины сил приняты равными 0. Модель рамы выполнена из стали 20, для которой предел текучести 235 МПа (задается программой самостоятельно). Необходимо было установить, при которой предельной величине силы, действующей вертикально вниз на модель, будет обеспечена ее прочность. Проведены расчеты для величин сил 13000, 13500, 14000 и 14500 Н.

Данное требование выполняется при силе, равной 14000 Н (~1,4 т), в этом случае наибольшая величина напряжений равна 223,5 МПа.

На втором этапе необходимо было установить величину предварительного сжатия модели рамы, при которой наблюдаются наименьшие напряжения в конструкции, при условии действия вертикальной силы величиной, определенной выше. Проведены расчеты для величин сил 500, 1000, 1500, 2000 и 2500 Н.

Оптимальной величиной сжатия является величина 1500 Н, при которой напряжения в конструкции минимальны, а именно 217,7 МПа.

Дополнительно было установлено, что при воздействии только сил сжатия без вертикальной нагрузки уровень напряжений в конструкции будет равным 18,2 МПа.

На третьем этапе необходимо было установить величину вертикальной силы, действующей на модель рамы совместно с предыдущим сжатием величиной 1500 Н, при условии обеспечения прочности конструкции. Проведены расчеты для величин сил 14000, 14200, 14400, 14500, 14600, 14700 и 14800 Н.

Оптимальной величиной вертикальной силы является 14500 Н, при которой напряжения в конструкции максимально приближены к тем, которые возникают в модели рамы к применению предварительного напряжения 225,8 МПа.

Выводы. Проанализировав рассмотренные выше расчеты, можно сделать вывод о том, что применение предварительного напряжения положительно влияет на несущую способность конструкции. Грузоподъемность данной конструкции повышается на 3,45 %, или 5000 Н (~0,5 т) без использования каких-либо дополнительных материалов. В рамках реального вагона это даст достаточно весомый прирост (~5 т), тем самым повышая экономическую эффективность его использования.

Применение прочностного анализа методом конечных элементов наиболее эффективно в случае анализа сложных конструкций и схем нагрузок, решение которых классическим методом может оказаться достаточно трудоемким.

Следующим шагом в подтверждении рассчитанного выше является подготовка к экспериментальному испытанию. Так, уже разработана методика испытания и создан универсальный стенд для испытания рам вагон разного поперечного сечения.

УДК 629.4.014.2

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ЛОКОМОТИВА НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛОКОМОТИВНОЙ ТЯГИ

С. Я. ФРЕНКЕЛЬ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В. Г. КОНОПЛЁВ

Белорусская железная дорога, г. Витебск

Оценку энергоэффективности модернизации тепловозов обычно выполняют, сравнивая расходы топлива на единицу мощности при номинальном режиме работы силовой установки. Однако известно, что на номинальном режиме тепловозы работают достаточно малую часть времени [1–3]. Поэтому такая оценка может оказаться далеко не объективной.

На Белорусской железной дороге значительная часть грузовых тепловозов 2ТЭ10У и 2ТЭ10М подверглись модернизации с заменой двухтактных дизелей 10Д100 четырёхтактными Д49. По данным из маршрутных листов машиниста нами выполнен сравнительный анализ топливной экономичности тепловозов 2ТЭ10М и модернизированных 2ТЭ10МК.

На рисунке 1 показан график влияния выполненной перевозочной работы A на удельный расход топлива e_t тепловозами серии 2ТЭ10М и 2ТЭ10МК за поездку (приняты данные из маршрутных листов за 2017 г.). Каждая точка соответствует одной поездке. Для каждой группы точек соответствующей серии локомотива построена линия тренда. Из рисунка 1 видно, что линия тренда для тепловозов 2ТЭ10МК расположена ниже, чем для тепловозов 2ТЭ10М, что свидетельствует о более низком в среднем расходе топлива на единицу перевозочной работы. Аналогичные результаты получены при построении зависимости удельного расхода топлива от массы состава Q и средней нагрузки на ось вагона q_o .

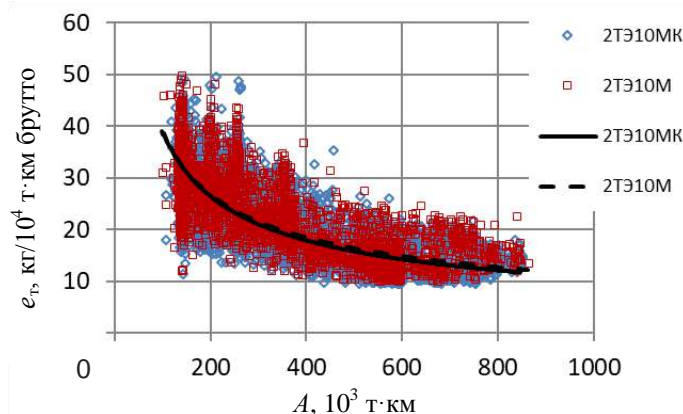


Рисунок 1 – Влияние количества выполненной работы на удельный расход топлива за поездку

Чтобы сравнить условия эксплуатации каждой из серий локомотивов, построены гистограммы распределения перевозочной работы A , массы состава Q , средней нагрузки на ось вагона q_o и линейного пробега s для тепловозов 2ТЭ10М и 2ТЭ10МК. Сравнительный анализ гистограмм показал, что условия эксплуатации тепловозов 2ТЭ10М и