

снижается. При действии сжимающей нагрузки наблюдается противоположная картина. Наибольшей величины напряжения достигают в верхней горизонтальной полке двутавра и уменьшаются к нижней части двутавра. Отсюда можно сделать вывод, что в средней части вертикальных стоек двутавра по высоте сечения наблюдается наименьший уровень напряжений при действии как сжимающей, так и растягивающей продольной силы.

Таким образом, для снижения массы рамы платформы становится возможным облегчение хребтовой и боковых балок путем введения вырезов. Форму, количество вырезов и их размеры возможно обосновать после проведения дальнейших прочностных расчетов.

Список литературы

1 Пастухов, И. Ф. Конструкция вагонов : учеб. / И. Ф. Пастухов, В. В. Пигунов, Р. О. Кошкалда. – М. : Желдориздат, 2000. – 497 с.

УДК 620.168

РАСЧЕТ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО РОТОРА В SOLIDWORKS

Д. И. ПОНАМАРЕНКО, А. Р. КОНОВАЛОВА, И. А. КОНОВАЛОВ

Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация

В предварительно напряженных телах существуют вынужденные продольные колебания. Теоретически можно говорить о значительности взаимовлияния поперечных, продольных и крутильных колебаний в достаточно простых (струны, стержни, пластины и т. д.) механических системах. Возможный путь исследования для таких сложных механических систем экспериментальный, включающий создание стенда для экспериментальных исследований натуральных или модельных роторов с имитацией возбуждения в предварительно напряженных телах комбинации волновой нагрузки различного направления с фиксацией комплексной АЧХ системы, испытания на этом стенде натуральных или модельных объектов с их нагружением различными комбинациями волновой нагрузками, анализ и обобщение полученных результатов.

Исследование динамических характеристик ротора планируется проводить на установке РОУ-1, изначальная конструкция которой представлена на рисунке 1.

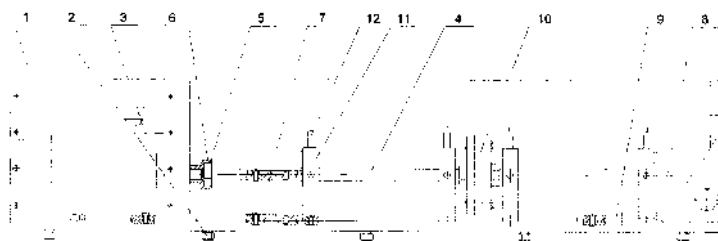


Рисунок 1 – Установка РОУ-1:

1 – станина; 2 – опоры; 3 – электродвигатель; 4 – вал; 5 – муфта; 6 – полумуфта; 7, 8 – корпус опорных узлов; 9 – направляющая пластина; 10 – нагрузочный диск; 11 – стойки; 12 – датчики перемещений

Методика проведения испытаний в среде SolidWorks

Для получения необходимых данных по модернизации установки РОУ-1 необходимо провести аналогичное исследование в среде компьютерного моделирования SolidWorks Simulation (рисунок 2). Основные неизвестные параметры: толщина стенок ротора, давление в полости, при котором выдержат сваренные торцы вала.

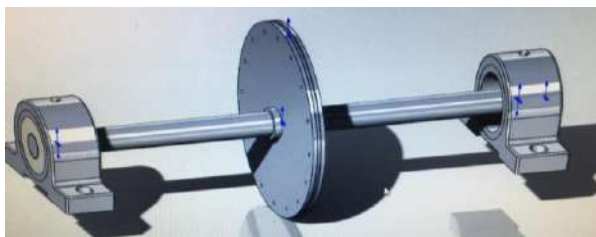


Рисунок 2 – Компьютерная модель РОУ-1

Для определения максимального допустимого давления, закачиваемого в полость ротора, и выявления влияния его на колебания, данную модель необходимо упростить, а именно применить принцип освобождения связей и исключить диск. В итоге получится полый вал, освобожденный от подшипниковых узлов, и без установленного диска.

Подшипниковые узлы заменены реакциями, и принято во внимание то, что конец вала, к которому подсоединен электродвигатель, не имеет никакой возможности перемещаться в пространстве, а подшипниковый узел противоположного конца позволяет ему перемещаться только вдоль самого вала.

Размеры вала: диаметр 32 мм, длина 590 мм, толщина стенок 3 мм.

Симуляция проводилась 6 раз. При этом учитывалась собственная частота вала, а также частота при увеличении внутреннего давления. Шаг увеличения составил 10 МПа начиная с 5 МПа.

Чтобы выявить влияние внутреннего давления вала на частоту колебаний, необходимо задать давление, действующее на концевые стенки вала и распирающее вал по всей длине во всех направлениях (рисунок 3).

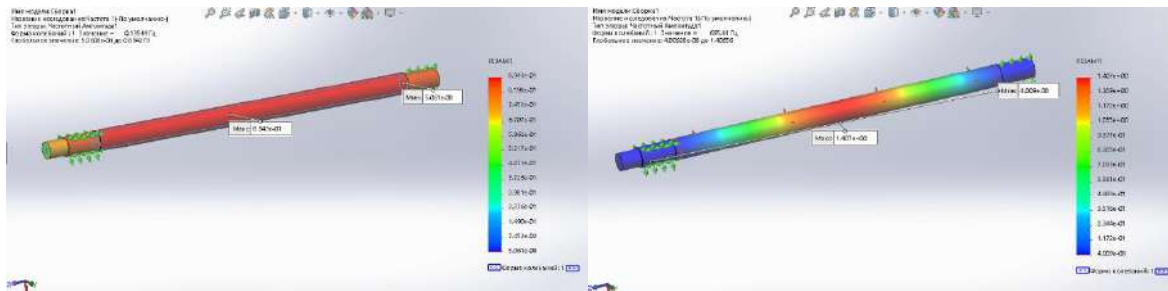


Рисунок 3 – Собственная частота вала и под давлением 5 МПа

По данным экспериментов было выявлено, что при увеличении давления в полости вала до 5 МПа, частота, по отношению к собственной частоте вала, повысилась в 3214 раз.

Таблица 2 – Влияние давления на частоту колебаний

Давление, МПа	Частота, Гц	Давление, МПа	Частота, Гц
0	0,135	25	689,23
5	434,88	35	692,23
15	686,11	45	695,41

Анализируя всё перечисленное, видим, что существенное изменение частот наблюдается только при первых двух ступенях увеличения давления (рисунок 4). Дальнейшее увеличение нецелесообразно, так как частота изменяется пределах 3–5 Гц. Поэтому установленное внутреннее давление составляет 5 МПа.

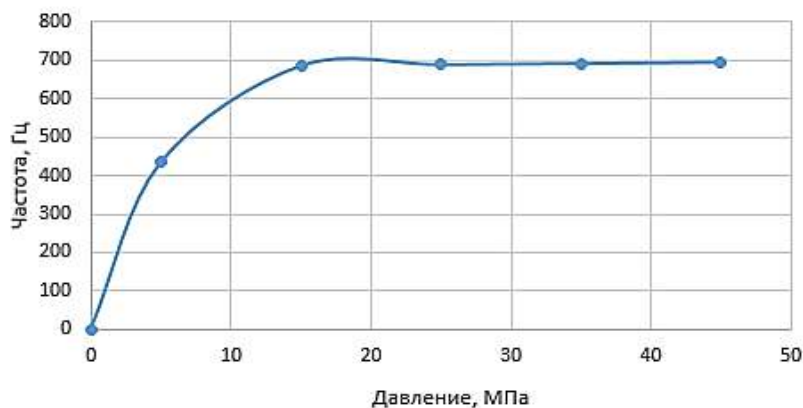


Рисунок 4 – Влияние давления на частоту колебаний

Согласно ГОСТ 949–73 баллоны стальные малого и среднего объема для газов на $P_r \leq 19,6$ МПа (200 кгс/см²). Согласно техническим условиям толщина стенки вала при закачиваемом давлении

14,7 МПа составляет 1,9 мм. Учитывая, что размер диаметра вала гораздо меньше минимального диаметра, данный размер можно оставить в качестве расчетного.

Список литературы

- 1 Антипов, В. А. Реализация продольной силы в роторах турбомашин / В. А. Антипов, А. А. Свечников, Д. И. Понамаренко // Наука и образование транспорту. – 2016. – № 2. – С. 223–226.
- 2 Совершенствование упруго-демпфирующих свойств опор роторов энергетических установок транспортных средств / В. А. Антипов [и др.] // Наука и образование транспорту. – 2018. – № 2. – С. 195–199.

УДК 621:981.2

СНИЖЕНИЕ ИЗНОСА СТАЛЬНОГО КОНТРЕЛА ПРИ ТРЕНИИ ПО ПОКРЫТИЮ НИТРИДА ТИТАНА

А. Н. ПОПОВ, И. Л. ДМИТЕРКО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Плунжерные пары и распылители форсунок представляют собой прецизионные пары трения, изготовленные из сталей с высокой твердостью (60–63 HRC) и характеризуются малой шероховатостью ($R_a < 0,04$ мкм) [1]. Рабочей средой для таких пар трения является дизельное топливо, которое имеет в 300 раз более низкие триботехнические характеристики по сравнению с маслами [2]. При исследовании большого количества плунжерных пар топливных насосов выявлено, что наибольший износ поверхности плунжера наблюдается на его головке со стороны, противоположной рабочей отсечной спирали, в зоне, где воздействие максимальных прижимающих усилий ударного характера (создаваемых давлением 50–80 МПа) накладывается на воздействие движения плунжера с максимальной скоростью (2–4 м/с) в каждом рабочем цикле [3, 4].

Наиболее часто к выходу из строя подвижных трибосопряжений машин приводят абразивное изнашивание и изнашивание вследствие схватывания. Эффективным путем борьбы с абразивным изнашиванием является повышение твердости поверхностных слоев деталей. Существует много традиционных способов создания поверхностных слоев с повышенной износостойкостью. В работе [5] испытывались плоские пары трения с образцами из стали ШХ15, прошедшими различные виды поверхностного упрочнения в дополнение к традиционной закалке: низкотемпературная нитроцементация; ионная имплантация азотной плазмой; лазерная закалка; азотирование в тлеющем разряде; покрытия КИБ на основе нитридов молибдена, хрома, титана; диффузионное хромирование, борирование, силицирование. Однако, по мнению авторов, пары трения сталь ШХ15 (закалка) – покрытие КИБ практически неработоспособны по причине интенсивного изнашивания образца из закаленной стали в связи с наличием капельной фазы на поверхности TiN. Применение покрытий, получаемых методом КИБ, возможно при условии снижения интенсивности изнашивания контртела.

Цель данной работы – установить влияние реакционного газа на капельную фазу и, соответственно, на триботехнические характеристики.

Для получения покрытий использовалась установка вакуумного напыления УВНИПА-1-001 (УРМЗ.279.070). Эта установка оборудована газовым ионным источником ИИ-4-015, с помощью которого можно производить очистку и нагрев подложек; источником плазмы стационарного катодно-дугового разряда с металлическим (титановым) катодом; источником плазмы импульсного катодно-дугового разряда с катодом из графита, используемым для нанесения углеродных покрытий. В установке используется электродуговой испаритель с сепарацией плазменного потока в магнитном поле. Триботехнические испытания проводили на микротрибометре, по схеме «сфера – плоскость» (шарик ШХ15 и исходное покрытие).

Установлено, что с увеличением давления реакционного газа до $8 \cdot 10^{-3}$ Па уменьшается средний размер капельной фазы и её содержание на подложке. При дальнейшем увеличении давления до $3 \cdot 10^{-2}$ Па изменения в содержании и размерах капельной фазы не наблюдаются (рисунок 1). Также были изучены снимки скола покрытия нитрида титана (рисунок 2). Из снимков видно, что с уменьшением давления азота на поверхности появляются образования в форме расплюснутых капель и в конусовидной форме. Капли образовались из катодных пятен при их угасании, а конусообразные объекты, возможно, образуются при кристаллизации титана не вступившего в химическую реакцию с азотом из-за низкого давления.