

УДК 676.5; 674.5

**А. А. Санников**, доктор технических наук, профессор, Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург

**Н. В. Куцубина**, кандидат технических наук, доцент, Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург

**В. В. Васильев**, Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург

## АВТОФРИКЦИОННЫЕ КОЛЕБАНИЯ В СИСТЕМАХ С ИЗБЫТОЧНЫМИ ФРИКЦИОННЫМИ СВЯЗЯМИ БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНЫХ МАШИН

*Обсуждаются возможные причины возникновения автофрикционных колебаний в конструкциях бумагоделательных машин, возбуждаемые импульсными воздействиями и являющиеся диагностическим признаком наличия дефектов, приводящих к нежелательному образованию систем с избыточными фрикционными связями.*

**Ключевые слова:** бумагоделательная машина, автофрикционные колебания, виброзащита.

**В** практике эксплуатации бумагоделательных машин (далее БМ) нередко имеет место вибрация конструктивных элементов БМ, образующих системы с избыточными фрикционными связями, носящая импульсный характер. Системы с избыточными фрикционными связями возникают, например, при перекрещивании осей валов в батареях (при так называемых ножницах) прессов и каландров, при неравенстве диаметров сушильных цилиндров приводов сушильных частей БМ [1].

Избыточные связи превращают механизмы в статически неопределимые системы. Отклонение в размерах избыточных связей приводит к упругой деформации звеньев механизма, дополнительной нагрузке элементов кинематических пар, что требует дополнительных затрат энергии и приводит к повышенному износу подшипников и звеньев.

Источниками вибрации подобных систем могут быть импульсные воздействия, возникающие вследствие возбуждения в системе автофрикционных (релаксационных) колебаний, происходящих из-за регулярного разрыва фрикционной связи с последующим проскальзыванием.

Рассмотрим два вала с перекрещивающимися осями (рис. 1), представляющими собой пространственный механизм. Степень подвижности механизма определяется по формуле Сомова – Малышева [2]

$$W = 6n - 5p_5 - 4p_4 - 3p_3 - 2p_2 - 1p_1. \quad (1)$$

Число подвижных валов  $n = 2$ ; число кинематических пар пятого класса (вращательные пары валов со стойкой)  $p_5 = 2$ ; число кинематических пар второго класса (контакт цилиндрических поверхностей валов)  $p_2 = 1$ . Кинематических пар 4-го, 3-го и 1-го класса нет ( $p_4 = p_3 = p_1 = 0$ ). Формула Сомова – Малышева (1) для этого механизма выглядит следующим образом:

$$W = 6n - 5p_5 - 2p_2 = 6 \cdot 2 - 5 \cdot 2 - 2 \cdot 1 = 0.$$

В механизме имеется одна избыточная фрикционная связь. Валы с перекосом в точке контакта имеют окружные скорости  $V_1$  и  $V_2$ , не совпадающие по на-

правлению. Абсолютные окружные скорости валов совпадают:  $V_1 = V_2$ . Проекция относительных скоростей на оси свидетельствуют о перемещении валов вдоль своих осей. Выбирается осевая игра подшипников, упруго деформируются опоры. При превышении сил упругости над силами трения в контакте валов происходит «срыв» валов ударного характера. Далее процесс раздвигания валов повторяется.

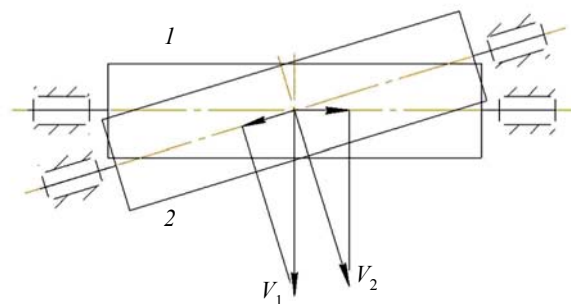


Рис. 1. Валы с перекрещивающимися осями

Наличие автофрикционных колебаний валов из-за непараллельности их осей было выявлено при исследовании вибрации четырехвального пресса фирмы «Белойт-Фампа» бумагоделательной машины Котласского ЦБК. После монтажа прессовой части БМ возникла интенсивная вибрация импульсного характера. Импульсные воздействия пресса были настолько мощны, что возбуждалась вибрация пресса и всей машины, ее фундамента и даже конструкций здания. Выверка валов привела к существенному уменьшению импульсной вибрации.

В бумагоделательном оборудовании используются приводы с клиноременными передачами. Многие клиноременные передачи имеют два и более клиновых ремня. Структурная схема клиноременной передачи с двумя ремнями показана на рис. 2.

Полагая, что каждый ремень представляет собой кинематическую пару четвертого класса, получим по формуле Чебышева [2]

$$W = 3n - 2p_5 - 1p_4,$$

где  $n = 2$  – число подвижных звеньев механизма (шкивы 1 и 2);  $p_5 = 2$  – число кинематических пар пятого класса (вращательные пары А и Б);  $p_4 = 2$  – число кинематических пар четвертого класса (число ремней), следующую степень подвижности механизма:

$$W = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 2 - 1 \cdot 2 = 0.$$

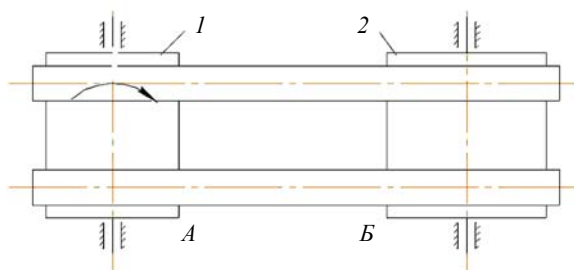


Рис. 2. Структура клиноременной передачи с двумя ремнями

Ременная передача с двумя ремнями имеет одну избыточную фрикционную связь. При  $N$  ремней –  $(N - 1)$  избыточных фрикционных связей.

В многоручьевых клиноременных передачах из-за наличия избыточных фрикционных связей при неравенстве длин ремней и разноразмерности кольцевых канавок на шкивах под ремни возникает неравномерная нагрузка на ремни, следовательно, и неравномерное скольжение, что при определенных условиях приводит к различному передаточному отношению, которое бы имела передача при работе различных ремней. Более короткие и нагруженные ремни нагружаются еще больше, разгружая более длинные ремни. Последние могут иметь отрицательное натяжение, когда ведущая ветвь становится ведомой, и наоборот: ведомая – ведущей. Передаваемый момент наиболее нагруженных ветвей достигает предельного значения, возникает срыв (импульсное проскальзывание) ремня, приводящее к возбуждению вибрации шкивов, ведущего и ведомого валов, крутильных колебаний ведущей и ведомой частей агрегата на собственных частотах поперечных и крутильных колебаний. Иначе: возбуждаются автофрикционные колебания. Срок службы ремней, валов, подшипников уменьшается. Аналогичная ситуация возникает при перекосе сетко- и сукноведущих валов БМ.

Степень подвижности механизма привода сушильных цилиндров БМ (рис. 3) определяется по формуле Чебышева, где  $n = 6$  (два цилиндра с цилиндрическими зубчатыми колесами, паразитное колесо и три сетковедущих вала);  $p_5 = 6$  – число вращательных кинематических пар пятого класса;  $p_4 = 6$  – число кинематических пар четвертого класса (два зубчатых зацепления и четыре гибких связи),

$$W = 3 \cdot 6 - 2 \cdot 6 - 1 \cdot 6 = 0.$$

$W = 0$  означает, что механизм имеет избыточную фрикционную связь.

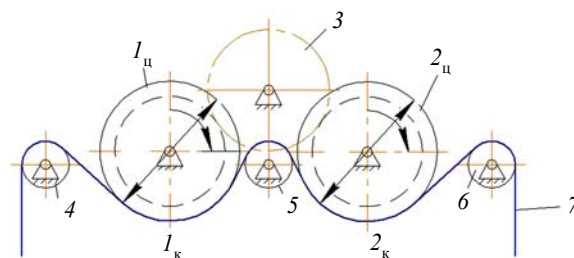


Рис. 3. Фрагмент привода сушильных цилиндров: 1ц и 2ц – сушильные цилиндры; 1к и 2к – цилиндрические зубчатые колеса; 3 – паразитное колесо; 4, 5, 6 – сетковедущие валы; 7 – сетка

В идеальной бездефектной сушильной части передача момента осуществляется преимущественно зубчатыми колесами.

Возникновение автофрикционных колебаний в приводах сушильных цилиндров БМ происходит в случаях, когда диаметры сушильных цилиндров оказываются неравными. Когда передаточные отношения зубчатого зацепления  $u_3$  и передачи с гибкой связью  $u_c = d_2 / d_1$  не равны, происходит периодическое распределение мощности между зубчатой и гибкой передачами, приводящее к срыву сетки относительно шкивов (рис. 3).

Пусть  $\Delta u = u_3 - u_c > 0$ . В этом случае при совместной работе зубчатой и гибкой передач вначале зубчатая передача постепенно разгружается вплоть до полного разгрузки, затем выбирается ее суммарный боковой зазор. При выборке зазора передача момента будет осуществляться только гибкой передачей.

После выборки зазора зубчатая передача будет загружаться моментом, направленным в сторону, противоположную передаваемому моменту. Гибкая передача перегружается, происходит проскальзывание (срыв) сетки относительно сушильного цилиндра.

При втором случае, когда  $\Delta u = u_3 - u_c < 0$ , при совместной работе зубчатой и гибкой передач зубчатая передача будет загружаться моментом, направленным в сторону, совпадающую с передаваемым моментом. Передаваемая мощность будет перераспределена между гибкой и зубчатой передачами. Момент, передаваемый гибкой передачей, до значения, превышающего момент трения сетки о цилиндр, приводит к проскальзыванию сетки относительно одного из цилиндров в виде срыва импульсного характера.

Подобные срывы неоднократно наблюдались на практике. Они имеют импульсный характер и возбуждают интенсивные крутильно-вращательные колебания привода и вибрацию станин и фундаментов сушильных частей БМ преимущественно на собственных частотах.

Автофрикционные колебания, возбуждаемые импульсными воздействиями, имеют характер затухающих колебаний со случайным интервалом времени.

Появление импульсной вибрации может являться диагностическим признаком наличия дефектов, при-

водящих к нежелательному образованию систем с избыточными фрикционными связями.

#### Библиографические ссылки

1. Вибродиагностика, триботехника, вибрация и шум : монографический сборник / под ред. А. А. Санникова,

Н. В. Куцубиной. – Екатеринбург : Уральск. гос. лесотехн. ун-т, 2009. – 416 с.

2. Теория механизмов и машин : учебник / К. В. Фролов [и др.] ; под ред. К. В. Фролова. – М. : Высш. шк., 1987. – 496 с.

*A. A. Sannikov*, DSc in Engineering, Professor, Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg

*N. V. Kutsubina*, PhD in Engineering, Associate Professor, Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg

*V. V. Vasiliev*, Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg

#### Autofrictional Vibrations in Systems with Redundant Frictional Links of Papermaking Machines

*The paper discusses possible causes of autofrictional vibrations occurrence in papermaking machine constructions, excited by impulse effects which are diagnostic features of the presence of defects, leading to undesirable formation of systems with redundant frictional links.*

**Key words:** papermaking machines, autofrictional vibrations, vibration protection.

УДК 676.5; 674.5

**А. А. Санников**, доктор технических наук, профессор, Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург

**Н. В. Куцубина**, кандидат технических наук, доцент, Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург

**В. А. Дубатовк**, Краснокамская бумажная фабрика (филиал ФГУП «Гознак»), Екатеринбург

**Т. В. Калимулина**, аспирант, Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург

**И. В. Перескоков**, аспирант, Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург

## О МЕТОДАХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВИБРАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНЫХ МАШИН ПРИ ПЛАНИРУЕМОМ УВЕЛИЧЕНИИ ИХ СКОРОСТИ

*Обосновывается необходимость прогнозирования вибрационного состояния бумагоделательных машин с целью повышения эффективности их работы при модернизации, обсуждаются методы прогнозирования, апробированные на бумагоделательных машинах различного назначения.*

**Ключевые слова:** бумагоделательная машина, вибрация, прогнозирование.

**В** настоящее время многие предприятия ЦБП с целью повышения эффективности работы модернизируют бумагоделательные машины (далее БМ), как правило, с увеличением скорости их работы. При решении задач модернизации БМ возникает необходимость прогнозирования и оценки вибрационного состояния БМ при планируемом увеличении ее скорости [1].

С увеличением скорости БМ возрастают динамические нагрузки на конструкции БМ пропорционально квадрату увеличения скорости. Частоты вращения валов приближаются к собственным частотам колебаний конструкций. Оба этих фактора во взаимодействии вызывают многократное увеличение параметров вибрации, нередко до величин, опасных или нежелательных при эксплуатации БМ. Повышенная вибрация БМ не только понижает несущую способность конструкций, но зачастую оказывает отрицательное влияние на качественные показатели бумажного полотна.

БМ – многороторные агрегаты. Основная и наиболее очевидная причина вибрации конструкций БМ – валы и цилиндры. Конструкции БМ имеют различные виды вибрации: вынужденную – при силовом воздействии центробежных сил инерции неуравновешенных масс валов; вынужденную – при кинематическом воздействии при волнистости и огранке рабочей поверхности, при статическом прогибе валов, при неравномерной толщине сукон и бумаги; параметрическую – из-за неравномерной жесткости сукна вследствие его некачественной промывки; самовозбуждающуюся, возникающую в зоне контакта валов при трении качения в прессах, каландрах, накатах.

Причины и закономерности каждого вида вибрации имеют характерные отличия. Прогнозирование виброактивности БМ по каждому виду вибрации производится независимо. С увеличением скорости БМ параметры вибрации конструкций изменяются. Причем изменение этих параметров непропорционально изменению скорости. При некоторых услови-