

УДК 655.3.021

**КОМПЕНСАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ БУМАЖНОЙ ЛЕНТЫ  
В РУЛОННОЙ ПЕЧАТНОЙ МАШИНЕ**

©Гордеев А. С.

*Українська інженерно-педагогічна академія*

**Інформація про автора:**

**Гордєєв Андрій Сергійович:** ORCID: 0000-0001-6521-3937; gordeew@ukr.net; доктор технічних наук; завідувач кафедри поліграфічного виробництва і комп'ютерної графіки; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Целью работы является построение модели компенсаторов натяжения бумажной ленты.

Был проведен анализ более 60 литературных источников и экспериментальные исследования на предприятиях.

В результате проведенных исследований разработана двухмассовая модель привода с системой автоматической регулировкой натяжением бумажной ленты.

Модель, учитывающая поперечные деформации передач на синхронизирующем валу и динамические явления, происходящие в системе автоматического регулирования натяжением бумажной ленты, позволяет повысить точность совмещения красок.

**Ключевые слова:** печать; качество; бумага; колебания; компенсация.

**Гордєєв А. С.** «Компенсація динамічних коливань паперової стрічки в рулонній друкарській машині».

Метою роботи є побудова моделі компенсаторів натягу стрічки.

Був проведений аналіз понад 60 літературних джерел та експериментальні дослідження на підприємствах.

В результаті проведених досліджень розроблена двохмасова модель приводу з системою автоматичного регулювання натягом паперової стрічки.

Модель, що враховує поперечні деформації передач на синхронізувальному валу і динамічні явища, що відбуваються в системі автоматичного регулювання натягом стрічки, дозволяє підвищити точність суміщення фарб.

**Ключові слова:** печатка; якість; папір; коливання; компенсація.

**Hordeev A.** “Compensation of dynamic fluctuations of the paper tape in roll printing machine”.

The aim of this work is to build a model of expansion joints tension of the paper tape.

The analysis was performed over 60 literary sources and experimental research on the companies.

As a result of research developed two-mass model of the actuator with automatic adjustment of the tension of the paper tape.

The model takes into account the transverse deformation of the gears on the clock shaft and the dynamic phenomena occurring in the system of automatic regulation of the tension of the paper tape improves the accuracy of matching colors.

**Keywords:** printing; quality paper; fluctuations; compensation.

## 1. Введение

В настоящее время на рынке рулонных печатных машин представлено большое количество моделей различных схем построения, форматов и уровня автоматизации. Массовое использование рулонных машин в последние годы объясняется не только большими скоростями печати, но и высоким качеством печатной продукции.

Высокая скорость современных рулонных печатных машин (порядка 45–50 тыс. об/ч), создают трудности в обеспечении стабильной работы листопроводящей системы на всех ее основных участках. На стабильность движения бумажной ленты оказывают влияние большое количество факторов: лентопитающее устройство и приводы печатных аппаратов; отклонения диаметров цилиндров от номинальных значений; отклонения режимов работы увлажняющих аппаратов. Разброс толщин ленты и ее модуля упругости, также оказывает влияние на приводку красок.

Ранее проведенные исследования [1–3] установили, что в движущейся ленте бумаги протекают процессы образования и развития во времени деформаций и напряжений. С одной стороны, натянутая лента является упругопластической средой, в которой развиваются такие процессы как релаксация и последствие. С другой стороны, при движении ленты в ротационной машине проходит процесс непрерывного смещения ленты в промежутках между лентопроводными валиками и секциями машины. При этом в ленте меняются деформации и напряжение.

Работ по исследованию крутильных и волновых процессов было достаточно, но совместно эти явления в рулонных машинах не изучались. Более того, примерно с середины 70-х годов, когда начали увеличивать быстроходность машин с одновременным изменением диаметров горизонтальных синхронизирующих валов, эта проблема стала выглядеть как будто менее актуальной. Однако, при интенсивном росте длины печатных машин, когда число печатных секций доходит до 4-х и больше и когда общая длина печатного стана составляет 5–7 м становится понятно, что даже при сто миллиметровом диаметре валов, деформации элементов силовых передач в большой мере будут зависеть от правильного расположения опор. И для обоснования количества и видов опор, а также конструкции и видов соединений валов от участка к участку нужны теоретические зависимости. В связи с этим выяснение роли механических параметров системы привода в стабилизации упругих колебаний и связанной с этим координации вращения цилиндров печатных аппаратов является актуальной задачей повышения качества печати.

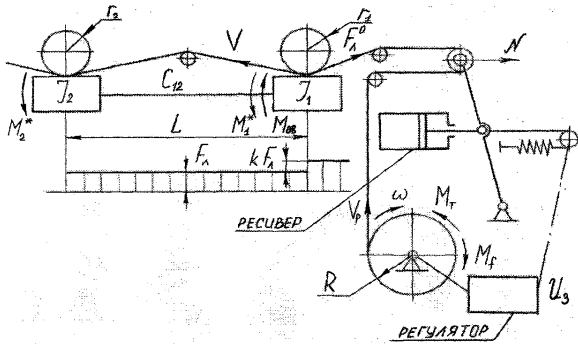
Целью работы является построение модели компенсаторов натяжения бумажной ленты. Специфика явлений в механическом приводе рулонных печатных машин и оценке их динамических свойств обусловлена тем, что технологическим объектом здесь служит непрерывная бумажная лента, обладающая свойствами, резко отличными от свойств других элементов привода.

## 2. Описание модели автоматического регулирования натяжения ленты

Динамическая модель двухсекционной рулонной печатной машины состоит из двух сосредоточенных масс  $I_1$  и  $I_2$ , соединенных безинерционной упругой связью  $C_{12}$  (рис. 1). Большинство существующих моделей не учитывают процессы, происходящие в бумажной ленте между рулоном и первой печатной секцией. Это нарушает технологическую связь, поскольку

**Динаміка та міцність машин**

бумажная лента последовательно проходит через все печатные и дополнительные секции то натяжение определяется свойствами всей системы в целом. Поэтому, в настоящей работе рассматриваются результаты исследования механического привода двухсекционной машины с учетом явлений на участке рулон - первая печатная секция. С этой целью в состав расчетной схемы механического привода включена система автоматического регулирования натяжения ленты.



**Рис. 1** – Расчетная модель двухсекционной рулонной печатной машины

Суть исследования заключается в выяснении роли механических параметров системы привода в стабилизации упругих колебаний и связанной с этим координации вращения цилиндров печатных аппаратов. Приведенная расчетная схема является одномерной цепной моделью, поэтому ее движение описывается известными уравнениями Лагранжа второго рода:

$$\begin{aligned} M_1^* &= M_1 + ke_1 F \\ M_2^* &= M_2 + e_2 F \end{aligned} \quad (1)$$

где  $M_1^*$ ,  $M_2^*$  – крутящие моменты от сил полезных сопротивлений в печатных секциях. Они содержат моменты опоры, возникающие от натяжения бумажной ленты на предыдущем участке ее проводки, и технологические моменты сопротивления в печатных аппаратах;  $F$  – изменение натяжения бумажной ленты;  $e$  – податливость системы;  $k$  – коэффициент.

Для решения системы использовался операторный метод. В основе этого метода лежит прямое и обратное преобразование Лапласа, сведение системы дифференциальных уравнений к системе алгебраических уравнений, возможность получения передаточных функций и получения переходных функций, необходимых для формирования представлений о свойствах модели.

При использовании операторного метода важно знать, в каком из исполнительных механизмов переменное возмущение создает наибольшие динамические возмущения, чтобы наметить меры по целенаправленному изменению наиболее неблагоприятных величин. В связи с этим осуществим необходимое преобразование в начальной системе и перейдем к операторной форме записи при нулевых начальных условиях. Получим

$$\begin{pmatrix} \bar{y}_1^* \\ e_1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \bar{y}_2^* \\ e_2 \end{pmatrix} = \frac{C_{12}}{I_{12}} (\bar{M}_2 + e_2 \bar{F}). \quad (2)$$

В рулонных печатных машинах горизонтальный привод синхронизирующего вала, представляет собой многоопорную балку с упругими муфтами, поэтому при ожидаемых малых поперечных перемещениях шестерен на валах привода их реальное влияние друг на друга ничтожно мало. В связи с этим для данной модели дополнительные уравнения поперечных перемещений передач допустимо представить следующей системой

$$\begin{cases} m_1 e_1 \bar{y}_1 + y_1 = -e_1 \xi_1 P_1 \\ m_2 e_2 \bar{y}_2 + y_2 = -e_2 \xi_2 P_2 \end{cases}, \quad (3)$$

где  $e_i$  – податливость консольных балок;  $m_i$  – массы шестерен;  $\xi$  – коэффициенты, величины которых зависят от проекции сил зубчатого зацепления на расчетную балку.

Податливость  $e$  зависит от способа закрепления балки, места и вида прилагаемой к ней нагрузки. Поэтому в конечном итоге система определяется расчетной схемой, а последняя – его конструктивными особенностями и передач, которые находятся на нем, соединений, опор и тому подобное.

Уже говорилось, что бумажная лента в рулонной машине связывает все исполнительные механизмы от рулонной зарядки до режущего аппарата. Учет связей и свойств бумажной ленты в системе механического привода машины позволяет:

1) установить меру влияния динамических процессов в приводе на натяжение бумажной ленты на участках ее проводки в машине и как следствие несовместимости красок при полноцветной печати;

2) дать оценку изменениям динамических свойств привода во взаимосвязи с упругими свойствами бумажной ленты.

Запишем уравнение (3) в операторной форме

$$\begin{aligned} \frac{\bar{y}_1}{e_1} &= -n_1^* (\bar{M}_1 + k e_1 \bar{F}) \\ \frac{\bar{y}_2}{e_2} &= -n_2^* (\bar{M}_2 + e_2 \bar{F}) \end{aligned}$$

В ранее проведенных исследованиях закон переменной технологической нагрузки, действующий на запечатанный материал  $F$ , задавался в виде случайной или гармонической силы с амплитудой равной  $\pm 0,25F_m$ , где  $F_m$  – технологическое натяжение ленты, которое определяется из требований к работе машины. В реальной же ситуации на запечатываемый материал действуют не одна, а несколько сил, которые имеют конкретные источники возникновения и численные значения. В этих условиях с целью управления натяжением ленты на участке ее подачи в машину, рулонные печатные машины оснащаются системой автоматического регулирования (САР).

При этом предполагается, что реальное изменение натяжения ленты на участке между рулоном и первой печатной секцией будет определяться динамикой САР. По полученным в ходе исследования зависимостям был произведен расчет и построены графики изменения натяжения ленты при различных видах внешних возмущений.

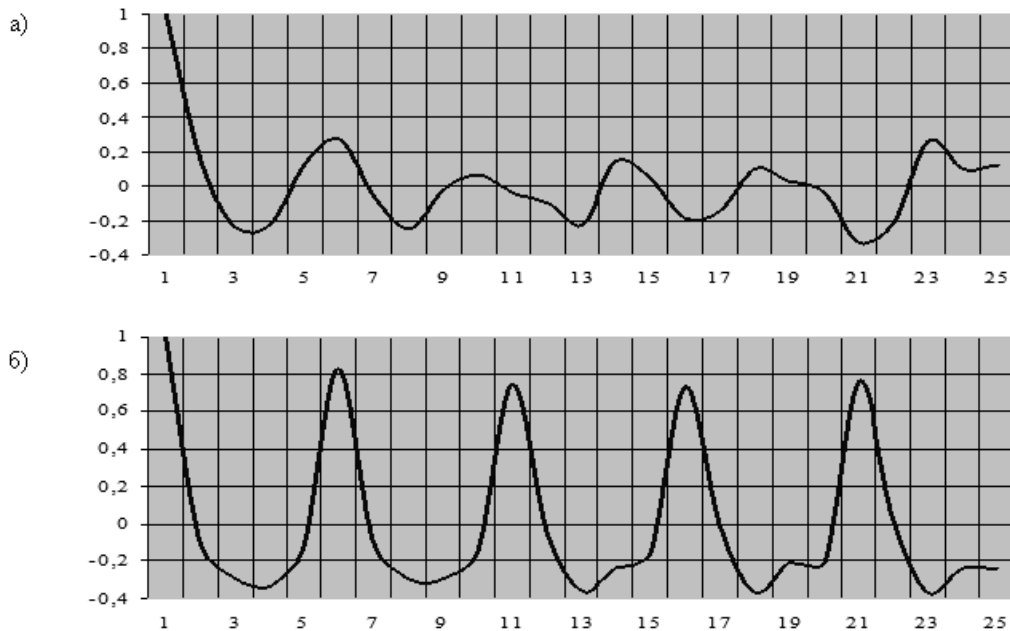
Величины амплитуд внешних возмущений были определены следующим образом. При назначении величины ускорения исходили из того, что желаемое время остановки машины с максимальной скорости  $V = 10$  м/с составляет 4 с, тогда ускорению  $a = 2,5$  м/с<sup>2</sup>. Требованиями к качеству электроэнергии: перепады напряжения в сети не должны превышать  $\pm 5\%$  от номинального. Принимаем что, крутящий момент на оси рулона, возникающий от неуравновешенности рулона, может достигать 20 Н·м.

В сетях сжатого воздуха типографий поддерживается рабочее давление 0,3–0,6 МПа. При этом действующее давление в пневмосистеме САР не должно превышать 0,4 МПа. Таким образом, максимальное усилие на поршнях при диаметре цилиндров 100 мм составит

## Динаміка та міцність машин

3140 Н, при этом колебания давления в пневмосистеме не должны превышать 1%. Принимаем  $N = 20$  Н. Как было установлено, наиболее значимыми действиями являются изменения ускорения и давления воздуха в пневмосистеме.

По полученным зависимостям был произведен расчет и построены графики изменения натяжения ленты на участке проводки «рулон – первая печатная секция» (рис. 2).



**Рис. 2** – Графики изменения натяжения ленты на участке «рулон – первая печатная секция» при внезапной смене: а – давления в пневмосистеме; б – ускорения

### Выводы

В результате проведенных исследований разработана двухмассовая модель привода с системой автоматической регулировкой натяжением бумажной ленты. Модель, учитывающая поперечные деформации передач на синхронизирующем валу и динамические явления, происходящие в системе автоматического регулирования натяжением бумажной ленты, позволяет повысить точность совмещения красок.

### Список использованных источников:

1. Балакина Е. Н. К вопросу исследования динамики механических приводов рулонных машин / Е. Н. Балакина, Е. А. Воронов // Прикладные задачи механики. – Омск: Изд-во Ом-ГТУ, 1999. – С. 16–19.
2. Воронов Е. А. Научные основы анализа и синтеза параметров механических приводов рулонных машин при регламентированной точности печатания : дис. ... доктора техн. наук / Е. А. Воронов ; Московский полиграф. ин-т. – М., 1990.
3. Система автоматического регулирования натяжения бумажной ленты / Л. М. Кавын, Н. М. Луцкив, Р. И. Петрив, И. Т. Стрепко, С. Килан // Полиграфия и издательское дело. – 2007. – № 2. – С. 15–19.

### References

1. Balakina, E & Voronov, E 1999, 'K voprosu issledovaniya dinamiki mekhanicheskikh privodov rulonnykh mashin', *Prikladnye zadachi mekhaniki*, pp. 16-19.
2. Voronov, E 1990, 'Nauchnye osnovy analiza i sinteza parametrov mekhanicheskikh privodov rulonnykh mashin pri reglamentirovannoy tochnosti pechataniya', *Doct.tekh.n. thesis*, *Moskovskiy poligraficheskiy institut*, Moskva.
3. Kavyn, L, Lutskiv, N, Petriv, R, Strepko, I & Kilan, S 2007, 'Sistema avtomaticheskogo regulirovaniya natyazheniya bumazhnoy lenty', *Poligrafiya i izdatelskoe delo*, no. 2, pp. 15-19.

Стаття надійшла до редакції 23 жовтня 2014 р.