

3. Санников А.А., Куцубина Н.В., Васильев В.В. Автофрикционные колебания в системах с избыточными фрикционными связями бумагоделательных машин// Вестник ИжГТУ. – Ижевск, 2012. № 2. – С.14-16.

---

УДК 676+62-7

**МОДЕРНИЗАЦИЯ И ДИАГНОСТИКА БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНОЙ  
МАШИНЫ НА НЕБОЛЬШИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

**Санников Александр Александрович,**  
д-р техн. наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [sannikov@usfeu.ru](mailto:sannikov@usfeu.ru)

**Носков Игорь Борисович,**  
главный механик, АО «Ярославская бумага»,  
г. Ярославль, E-mail: [noskov@yarpaper.ru](mailto:noskov@yarpaper.ru)

**Васильев Вадим Владимирович,**  
старший преподаватель,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [Vadim@yandex.ru](mailto:Vadim@yandex.ru)

**Куцубина Нелли Валерьевна,**  
канд. техн. наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [Nelly3416@mail.ru](mailto:Nelly3416@mail.ru)

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

*Аннотация.* В статье обсуждаются вопросы прогнозирования вибрационного и диагностики технического состояния малогабаритной бумагоделательной машины при увеличении ее скорости.

**MODERNIZATION AND DIAGNOSTICS OF PAPER  
MACHINE FOR SMALL BUSINESS**

**Sannikov Alexander Alexandrovich,**  
holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, professor  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [sannikov@usfeu.ru](mailto:sannikov@usfeu.ru)

**Noskov Igor Borisovich,**  
chief mechanic, JSC «Yaroslavl paper», Yaroslavl, E-mail: [noskov@yarpaper.ru](mailto:noskov@yarpaper.ru)

**Vasiliev Vadim Vladimirovich,**  
senior lecturer, Ural State Forest Engineering University,  
Yekaterinburg, E-mail: [Vadim@yandex.ru](mailto:Vadim@yandex.ru)

**Kutsubina Nelli Valeryevna,**  
Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor,  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [Nelly3416@mail.ru](mailto:Nelly3416@mail.ru)

*Key words:* paper machine, vibration, forecasting, diagnostics.

*Abstract.* The article discusses the issues of vibration prediction and diagnostics of the technical condition of a small paper machine with increasing its speed.

В промышленности России и других стран работают крупные предприятия по производству бумаги массового потребления преимущественно из древесины. На этих предприятиях в технической эксплуатации оборудования задействованы службы (лаборатории) диагностики, состоящие из одного-двух десятков специалистов.

Наряду с крупными предприятиями в промышленности работают десятки малых предприятий, которые специализируются на производстве бумаги преимущественно из макулатуры. На этих предприятиях работают одна-две узкоформатные тихоходные бумагоделательные машины. Ремонтный персонал на этих предприятиях малочисленен, специализированных служб диагностики нет. На предприятии в лучшем случае проводятся работы по измерению общего уровня вибрации и температуры корпусов подшипников, которые по совместительству выполняет один из слесарей ремонтной службы предприятия.

Решение о необходимости профилактических мероприятий по предотвращению отказов оборудования принимаются руководителями отделов главного механика и главного энергетика, технологической службы, исходя из опыта, то есть на основе, так называемой, органолептической диагностики. Фактически, в общепринятом понимании, диагностика малоскоростных машин не проводится.

В настоящее время потребность в бумаге, используемой для производства картона, возрастает. Предприятия, выпускающие бумагу для картона, увеличивают скорости БМ.

Для обоснования возможности увеличения скорости БМ необходима комплексная диагностика их конструкций, при которой производится модальный анализ и прогнозирование их вибрационного состояния. Иначе определяются собственные частоты колебаний валов и цилиндров, станин и фундамента, привода, выявляется напряженное состояние конструкций и оценка их технического состояния [1].

Определение вышеназванных параметров необходимо не только для принятия решений о модернизации, но также является теоретической основой для диагностики БМ после модернизации, для оформления диагностического паспорта БМ.

Эти вопросы, в частности, решались коллективом кафедры технической механики и оборудования ЦБП УГЛТУ при обосновании возможности увеличения рабочей скорости БМ Valmet АО «Ярославская бумага» более, чем в 2 раза.

Простейший и совершенный метод прогнозирования и оценки вибрационного состояния машины – довести ее скорость до планируемой величины, измерить и оценить параметры вибрации. Этот метод широко применяется в случаях, когда скорость машины увеличивается на 5-10% , максимум 20%. Но он невозможен и даже опасен, когда скорость машины планируется увеличить в 1,5-2 раза и более.

В этом случае приемлем метод прогнозирования вибрационного состояния БМ на основе модального анализа валов и цилиндров, станин и фундамента. Метод модального анализа заключается в определении собственных частот колебаний и параметров вынужденных колебаний конструкций при достигнутой скорости БМ и расчетного обоснования и оценки параметров их вынужденных колебаний при прогнозируемой скорости.

Так, в результате экспериментальных исследований БМ Valmet АО «Ярославская бумага» выявлено, что станина и фундамент, валы и цилиндры работают в дорезонансном режиме, то есть частоты их собственных колебаний  $\omega_0$  превышают частоты возбуждающих колебания сил. Этому способствует малая ширина машины и высокая жесткость массивного фундамента. Амплитуды виброперемещений конструкций, возбуждаемых силами инерции неуравновешенных масс валов и цилиндров, качественно описывается зависимостью [2], которая графически представлена на рис. 1.

$$S_a = \frac{m_{вe}}{m_k} \frac{\eta^2}{\sqrt{(1-\eta^2)^2 + \frac{\eta^2}{\alpha p^2}}}, \quad (1)$$

где  $m_B$  – масса вала, неуравновешенность которого возбуждает колебания конструкции;  
 $m_K$  – масса конструкции, колебания которой возбуждаются силой инерции неуравновешенной массы вала;  
 $e$  – удельный дисбаланс вала;  
 $\eta$  – частотное отношение, равное отношению частоты вращения вала  $\omega$  к частоте собственных колебаний конструкции  $\omega_0$ ,  $\eta = \omega/\omega_0$ ;  
 $\alpha_p$  – коэффициент динамического усиления колебаний конструкции при резонансе, равный отношению амплитуд виброперемещений при резонансе  $S_{ap}$  к мере уровня возбуждающих колебаний сил  $v = m_B e/m_K$ ,

$$\alpha_p = S_{ap} m_K / (m_B e).$$

Для валов и конструкций БМ  $\alpha_p = 8 \dots 15$ .

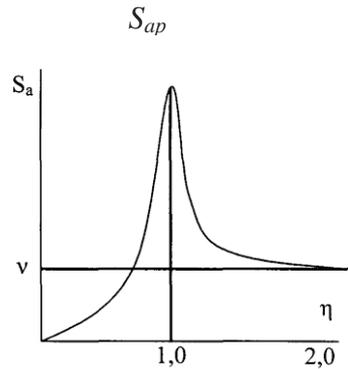


Рис.1. Амплитудно-частотная характеристика конструкции БМ

Из зависимости (1) вытекает, что интенсивность колебаний конструкций БМ зависит, прежде всего, от частотного отношения  $\eta$  и от меры уровня возбуждающих колебания сил  $v$ .

Определение динамических характеристик валов и цилиндров, станин и фундамента БМ при достигнутой скорости, при разгоне отдельных секций БМ до максимально возможной скорости показали, что при увеличении скорости БМ в 2,5 раза параметры вибрации конструкций БМ увеличатся, но не превысят допустимых значений при условии балансировки валов и цилиндров. Предложена для балансировки валов и цилиндров непосредственно на предприятии простейшая балансировочная установка (рис.2), реализованная на ряде предприятий ЦБП.



Рис.2. Балансировочная установка:

а – привод балансируемого вала; б – подвеска корпуса подшипника балансируемого вала

Увеличение скорости БМ приведет к увеличению мощности привода секций, которую можно определить по известной формуле [3]:

$$P_n = P_d \frac{V_n}{V_d} [1 + K_V(V_n - V_d)K_m], \text{ кВт},$$

где  $P_n$  и  $P_d$  – прогнозируемая и достигнутая при эксперименте мощность привода, кВт;  
 $V_n$  и  $V_d$  – прогнозируемая и достигнутая при эксперименте скорость машины, м/мин;  
 $K_V$  – скоростной коэффициент;  
 $K_m$  – коэффициент, учитывающий возможность увеличения нагрузки.

Коэффициент  $K_V$  принимается равным  $K_V = 0,004$  для привода формующей части,  $K_V = 0,0004$  – для привода прочих секций. Коэффициент  $K_m$  принимается равным  $K_m = 1,25 \dots 1,3$  – для формующей части, каландра и наката;  $K_m = 1,25 - 1,5$  – для сушильной части.

Как уже отмечалось, функции и наукоемкость диагностики оборудования на малых и крупных предприятиях совпадают, а организация службы диагностики отличаются из-за малочисленности ремонтного персонала. Структура и организация системы диагностики на крупных и средних предприятиях не приемлемы для малых предприятий.

Видится следующая неформальная структура службы диагностики. Штатный руководитель службы – специалист из инженерно-технических работников или высококвалифицированных рабочих, подготовленный для измерения и анализа параметров вибрации, в частности, спектрального состава вибрации, способный организовать выверку и балансировку, виброизоляцию оборудования. В состав неформальной службы по диагностике технического состояния БМ и другого технологического оборудования должны входить представители отделов главных механика, энергетика, технолога. Включение в неформальную службу технолога обуславливается тем, что многие параметры технического состояния БМ, например, оборудования массоподводящей системы, напорного ящика, сеточного стола и даже прессовой части проявляются на качественных показателях бумажного полотна, например, колебаниях массы квадратного метра бумаги.

## Список литературы

1. Куцубина Н.В. Теория и практика оценки технического состояния трубчатых валов бумагоделательных машин. Моногр./ Н.В. Куцубина.– Екатеринбург: Уральск. гос. лесотехн. ун-т, 2016. – 132 с.
2. Куцубина Н.В. Виброзащита технологических машин и оборудования лесного комплекса/ Н.В. Куцубина, А.А. Санников. – Екатеринбург: Уральск. гос. лесотехн. ун-т, 2008. – 212 с.
3. Бумагоделательные и картоноделательные машины /под ред. В.С. Курова, Н.Н. Кокушина. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 598 с.

---

УДК 676.22.017

## МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПОДАЧИ ХИМИКАТОВ НА БДМ7 ООО «ЦБК «КАМА». ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

**Захватаев Евгений Олегович,**  
главный технолог ООО «Целлюлозно-бумажный комбинат «Кама»  
г. Краснокамск, E-mail: [Zahvataev-EO@cbk-kama.ru](mailto:Zahvataev-EO@cbk-kama.ru)

**Романов Олег Евгеньевич,**  
инженер в направлении продаж оборудования, ООО «Макорус»,  
г. Санкт-Петербург, E-mail: [romanov\\_oe@makorus.com](mailto:romanov_oe@makorus.com)

*Ключевые слова:* удержание волокна, дозирование химикатов, TrumpJet.