

АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛЕБАНИЙ ФУНДАМЕНТОВ И КОНСТРУКЦИЙ КОРООБДИРОЧНЫХ БАРАБАНОВ

Шомин И.И.¹, Побединский В.В.¹, Василевский Д.А.¹

¹ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», Екатеринбург, Россия (620085, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37), e-mail: pobed@el.ru

Разработаны динамическая и математическая модели системы «барабан-фундамент» на грунтовом основании, описывающие вертикальные и горизонтально-вращательные колебания в элементах конструкций корообдирочных барабанов и их фундаментов. Для разработки динамической модели колебаний фундаментов корообдирочных барабанов принята модель грунтового основания Н.П. Павлюка – Э. Рауша с сосредоточенными параметрами. На реализованных в среде MathCad моделях выполнено имитационное моделирование и определены собственные частоты и амплитудно-частотные характеристики колебаний по всем обобщенным координатам в элементах конструкции конкретного корообдирочного барабана и фундамента. На примере исследования корообдирочного барабана КБ-425 графически показаны значения параметров колебаний элементов системы. В работе сделано обобщение результатов исследований с возможностью использования моделей и программы при исследованиях колебаний корообдирочных барабанов и фундаментов любых типоразмеров методами имитационного моделирования.

Ключевые слова: корообдирочный барабан, фундамент, колебания, имитационное моделирование, амплитудно-частотные характеристики.

AMPLITUDE-FREQUENCY CHARACTERISTICS OF FOUNDATIONS AND STRUCTURES DEBARKING DRUMS

Shomin I.I.¹, Pobedinsky V.V.¹, Vasilevsky D.A.¹

¹Ural State Forest Engineering University

Developed a dynamic mathematical model of the system and "drum-base" on grade, describing the vertical and horizontal rotational oscillations in structural elements debarking drums and their foundations. To develop a dynamic model of vibration foundations debarking drums accepted model of the subsoil NP Pavlyuk - E. Rausch with lumped parameters. Realized in the medium to MathCad models performed simulations and determine the natural frequencies and amplitude-frequency characteristics of all generalized coordinates in structural elements specific debarking drum and base. With Studies debarking drum КБ-425 are shown graphically oscillation parameters of system elements. The paper made a synthesis of research leading to the use of models and programs in research vibration debarking drums and foundations all sizes by simulation.

Keywords: debarking drum, foundation, vibration, imitation simulation, amplitude-frequency characteristics.

На крупных лесоперерабатывающих и целлюлозно-бумажных предприятиях для окорки древесины используется метод групповой окорки, осуществляемой в корообдирочных барабанах (КБ). КБ представляет собой полый вращающийся цилиндр, внутрь которого помещаются окашиваемые лесоматериалы. На цилиндре секции крепятся бандажи, посредством которых они опираются на стальные опорные ролики с ребрами для восприятия осевых нагрузок. Корпуса подшипников роликов установлены на цельносварные рамы опорной станции, закрепленные на фундаменте. Работа КБ сопровождается значительными динамическими нагрузками и колебаниями, которые способствуют развитию деформаций и повреждений конструкции барабана, фундамента и снижению надежности, появлению осадков грунтовых оснований и нарушению работы КБ, а также в виде вибраций определенных частот оказывают неблагоприятное воздействие на людей. Поэтому для проектирования КБ

необходимы данные о характеристиках динамических процессов, возникающих в конструкции барабана и фундаменте при окорке.

Целью настоящих исследований являлось определение амплитудно-частотных характеристик колебаний, возникающих в конструкции КБ и фундаменте при окорке лесоматериалов.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**.

1. Разработка динамической модели системы КБ.
2. Разработка математической модели колебаний системы КБ.
3. Реализация математической модели в среде MathCad и выполнение имитационного моделирования процесса колебаний системы КБ для конкретного типоразмера барабана.
4. Определение собственных частот колебаний фундамента КБ.
5. Определение амплитудно-частотных характеристик колебаний системы «барабан-фундамент» на грунтовом основании.
6. Обобщение модели для исследования КБ любого типоразмера.

При исследовании колебаний КБ фундамент и массив грунта под ним будем рассматривать как сложную систему, состоящую из нескольких упругих связанных между собой тел с распределенными параметрами. Известно, что модуль упругости бетона в сотни раз превышает модуль упругости грунта, поэтому фундамент можно считать абсолютно жестким, а сложную колебательную систему «барабан-фундамент» на грунтовом основании следует рассматривать как состоящую из нескольких упругих связанных между собой тел с распределенными параметрами. Для разработки динамической модели колебаний в фундаменте КБ примем модель грунтового основания Н.П. Павлюка – Э. Рауша с сосредоточенными параметрами [1; 2]. Фундамент по этой модели рассматривается как твердое тело, связанное с неподвижным основанием. Общий центр масс фундамента и КБ и центр тяжести подошвы фундамента лежат на одной вертикальной оси. Поэтому колебания фундамента можно разделить на ряд независимых колебаний: вертикальных, горизонтально–вращательных в двух взаимно перпендикулярных плоскостях и вращательных относительно вертикальной оси [1–3]. Силы, возбуждающие колебания фундаментов, действуют в вертикальном и горизонтально-поперечном направлениях. Поэтому рассмотрим колебания фундаментов также в этих направлениях. Пусть в некоторый момент времени фундамент из положения равновесия I переместится в положение II (рисунок 1).

Движение фундамента определится значением трех независимых координат: проекциями X и Y смещения центра масс фундамента и КБ на соответствующие координатные оси и углом поворота ψ_f фундамента относительно оси, перпендикулярной плоскости колебаний. Движение барабана, кроме того, определяется углом поворота ψ_b относительно фундамента.

Прикладывая к фундаменту и барабану силы и моменты сил, действующие на них в

некоторый момент времени t , а также силы инерции и моменты сил инерции массы фундамента и барабана, проектируя их на оси X и Z и взяв сумму моментов всех сил относительно

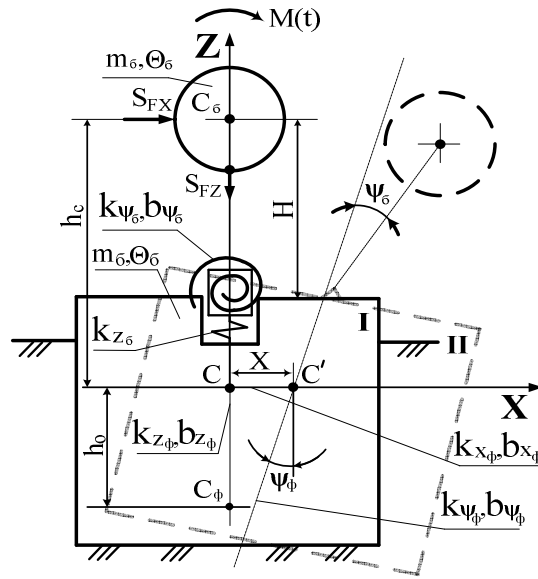


Рисунок 1 – Динамическая модель колебаний корообдирочного барабана на фундаменте

но центра масс всей конструкции, а также сумму моментов всех сил, действующих на барабан относительно верхнего обреза фундамента, получим, согласно принципу Даламбера, систему дифференциальных уравнений:

$$m_{\delta} \ddot{z}_{\delta} + b_{z\delta} (\dot{z}_{\delta} - \dot{z}_{\phi}) + k_{z\delta} (z_{\delta} - z_{\phi}) = \sqrt{S_{FZ}} (\omega) \pi ; \quad (1)$$

$$m_{\phi} \ddot{z}_{\phi} + b_{z\phi} (\dot{z}_{\phi} - \dot{z}_{\delta}) + k_{z\delta} (z_{\phi} - z_{\delta}) + b_{z\phi} \dot{z}_{\phi} + k_{z\phi} z_{\phi} = 0 ; \quad (2)$$

$$m_{\phi} \ddot{x}_{\phi} + b_{x\phi} (\dot{x}_{\phi} - h_0 \dot{\psi}_{\phi}) + k_{x\phi} (x_{\phi} - h_0 \psi_{\phi}) + m_{\delta} H \ddot{\psi}_{\delta} = \sqrt{S_{FX}} (\omega) \pi ; \quad (3)$$

$$\theta_{\phi} \ddot{\psi}_{\phi} + (b_{\psi\phi} + b_{x\phi} h_0^2) \dot{\psi}_{\phi} + (k_{\psi\phi} - m_{\phi} g h_c) \psi_{\phi} + (\theta_{\delta} + m_{\delta} h_c H) \dot{\psi}_{\delta} - m_{\delta} g H \psi_{\delta} - \dots$$

$$\dots - b_{x\phi} h_0 \dot{x}_{\phi} - k_{x\phi} h_0 x_{\phi} = \sqrt{S_{FX}} \pi h_c + \sum_{i=1}^n M_{ai} \sin(i\omega t + \beta_{Mi}) ; \quad (4)$$

$$(\theta_{\delta} + m_{\delta} H^2) \dot{\psi}_{\delta} + b_{\psi\delta} \dot{\psi}_{\delta} + (k_{\psi\delta} - m_{\delta} g H) \psi_{\delta} + m_{\delta} H h_c \ddot{\psi}_{\delta} - m_{\delta} g H \psi_{\delta} + \dots$$

$$\dots + m_{\delta} H \ddot{x} = \sqrt{S_{FX}} \pi H + \sum_{i=1}^n M_{ai} \sin(i\omega t + \beta_{Mi}) , \quad (5)$$

где m_{ϕ}, m_{δ} - массы фундамента и барабана; $\theta_{\phi}, \theta_{\delta}$ - моменты инерции масс фундамента и барабана относительно центра масс системы; $k_{z\phi}, k_{x\phi}, k_{\psi\phi}, b_{z\phi}, b_{x\phi}, b_{\psi\phi}$ - коэффициенты жесткости и неупругих сопротивлений грунта при вертикальных, горизонтальных и поворотных смещениях фундамента; $k_{z\delta}, k_{\psi\delta}, b_{z\delta}, b_{\psi\delta}$ - коэффициенты жесткости и неупругих сопротивлений опор барабана при вертикальных и горизонтально-вращательных смещениях

барабана; h_0 - расстояние от центра масс установки до центра жесткости основания по вертикали; h_c - расстояние от центра масс установки до центра масс барабана; H - расстояние от верхнего обреза фундамента до центра масс барабана; M_{ai} - амплитуды i -х гармонических составляющих возмущающегося момента; $\beta_{zi}, \beta_{xi}, \beta_{Mi}$ - углы сдвига фаз гармонических составляющих сил и момента; S_{Fz}, S_{Fx} - спектральная плотность ударной нагрузки при отрыве бревен от стенки барабана и их ударе в вертикальном и горизонтальном направлении.

Уравнения (1, 2) независимы от уравнений (3-5), которые являются взаимосвязанными. Следовательно, вертикальные колебания можно рассматривать независимо от горизонтальных и вращательных колебаний.

Приравняв к нулю неупругие сопротивления и возмущающие силы в уравнениях (1-5), описывающие вертикальные и горизонтально-вращательные колебания фундамента КБ, из преобразованной таким образом системы уравнений определяются собственные частоты колебаний конструкции.

Реализация математической модели (1-5) была выполнена в среде MathCad. Как показали расчеты, собственные частоты колебаний системы для барабана марки КБ-425 с размерами фундамента $a_\phi=7,8$ м, $b_\phi=25,7$ и с учетом коэффициента $c_0=14$ МН/м³ для естественных оснований фундаментов машин [3], соответствующих грунту в виде мелкозернистого водонасыщенного песка рыхлой и средней плотности, составили: вертикальных колебаний $f_{1\phi\phi} = 11,5$ Гц и $f_{2\phi\phi} = 26,6$ Гц; горизонтально-вращательных $f_{1rx} = 9,2$ Гц и $f_{2r\psi} = 10,3$ Гц и $f_{1r\phi} = 48,1$ Гц.

Низшие собственные частоты вертикальных и горизонтально-вращательных колебаний фундамента близки к собственным частотам крутильно-вращательных колебаний привода, субгармонике открытой зубчатой передачи и частоте вращения двигателя [4; 5]. При совпадении этих частот амплитуды колебаний на низших собственных частотах вертикальных и горизонтально-вращательных колебаний фундамента возрастут.

Исследования амплитудно-частотных характеристик системы выполнялись методом моделирования по следующей методике.

Решение уравнений (1, 2), описывающих вынужденные вертикальные колебания фундамента, ищем в виде:

$$z_\phi = A_{z\phi 1} \cos \omega t + A_{z\phi 2} \sin \omega t ; z_\phi = A_{z\phi 1} \cos \omega t + A_{z\phi 2} \sin \omega t \quad (6)$$

Решение уравнений (3-5), описывающих вынужденные горизонтально-вращательные колебания, ищем в виде:

$$x_\phi = A_{x\phi 1} \cos \omega t + A_{x\phi 2} \sin \omega t ; \psi_\phi = A_{\psi\phi 1} \cos \omega t + A_{\psi\phi 2} \sin \omega t ;$$

$$\psi_{\phi} = A_{\psi\phi 1} \cos \omega t + A_{\psi\phi 2} \sin \omega t . \quad (7)$$

Амплитуда горизонтально–вращательных колебаний фундамента КБ-425 на уровне корпусов подшипников опорных роликов складывается из горизонтальных и вращательных колебаний фундамента КБ на этом же уровне и выражается зависимостью

$$A_{\text{пд}} = A_{\text{хф}} h_{\text{п1}} + A_{\psi\phi} h_{\text{п2}} , \quad (8)$$

где $h_{\text{п1}}$, $h_{\text{п2}}$ – расстояние от центра масс фундамента и барабана соответственно до корпусов подшипников опорных роликов.

Подставляя решения уравнений (6) в уравнения (1, 2), а решения уравнения (7) в уравнения (3-5), с учетом (8) получим после преобразований систему линейных алгебраических уравнений, описывающих вынужденные вертикальные и горизонтально-вращательные колебания системы «барабан–фундамент» на грунтовом основании. Система уравнений реализована в среде MathCad, а на рисунке 2 в формате MathCad показаны результаты расчетов амплитудно-частотных характеристик вертикальных и горизонтально–вращательных колебаний системы «барабан–фундамент» на грунтовом основании для барабана КБ-425.

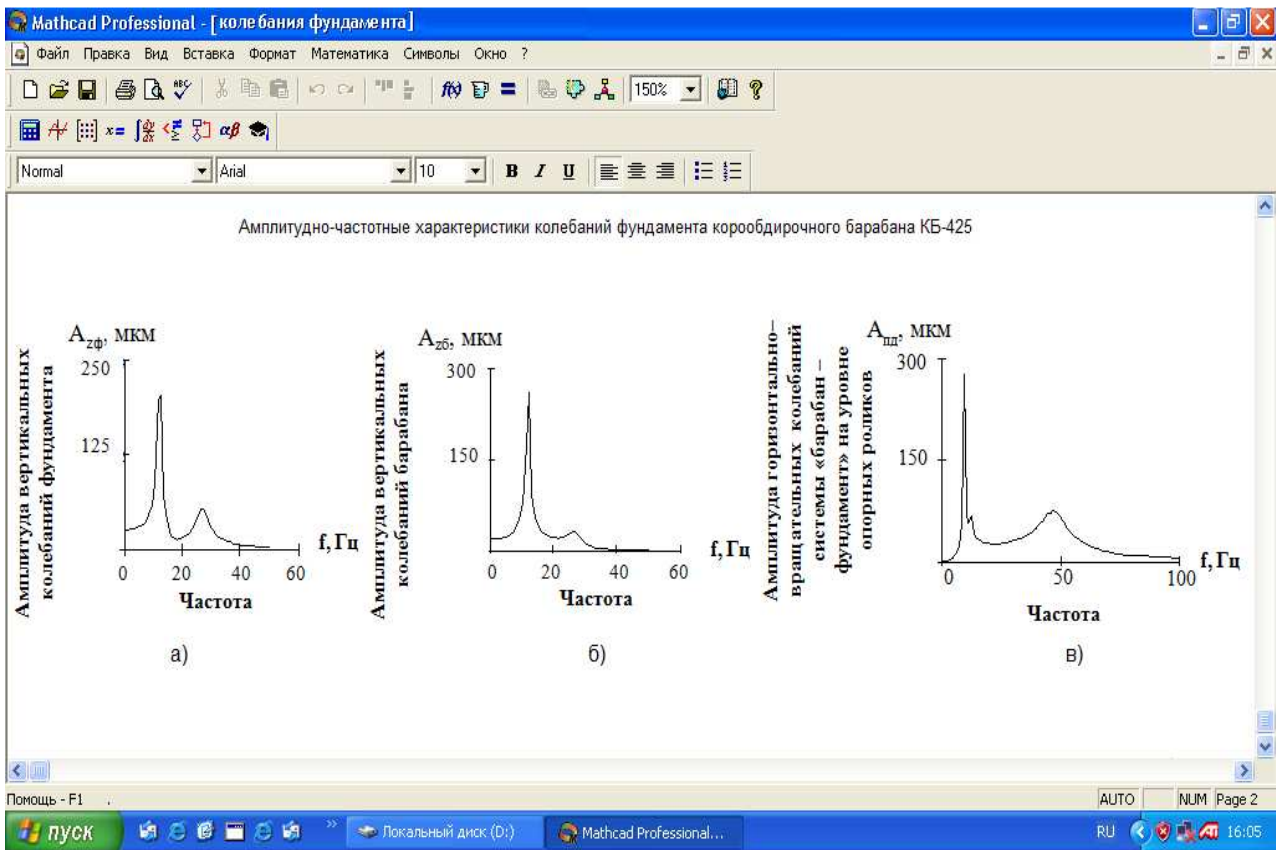


Рисунок 2 – Амплитудно-частотные характеристики колебаний системы «барабан–фундамент» на грунтовом основании в среде MathCad барабана КБ-425:
 а – вертикальные колебания фундамента; б – вертикальные колебания КБ;
 в – горизонтально–вращательные колебания КБ на уровне подшипниковых опор

Из рисунка 2 следует, что собственные частоты колебаний фундамента и частоты, на которых проявляются пики, совпадают. Это является одним из подтверждений адекватности принятой модели.

Корообдирочные барабаны серии КБ, выпускаемые ЗАО «Петрозаводскмаш», являются конструктивно подобными. Такими же конструктивно подобными предусмотрены для них и фундамента. В различных по габаритам барабанах обрабатывается одинаковая по размерно-качественным характеристикам древесина, поэтому уравнения (1-5) применимы и ко всей группе барабанов. Зная исходные данные в уравнениях (1-5), можно определить динамические характеристики системы «барабан-фундамент» на грунтовом основании любых подобных КБ на фундаменте, что позволит использовать предложенные модели на стадии проектирования. Исходя из вышесказанного, можно обобщить модель, проверенную на адекватность на примере КБ-425, для всех типоразмеров барабанов конструктивного ряда.

Выводы

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Разработанные динамическая (рисунок 1) и математическая (1-5) модели системы «барабан-фундамент» на грунтовом основании достаточно корректно и точно описывают колебания в элементах конструкции КБ и его фундамента. Реализация моделей в компьютерной программе MathCad позволяет использовать в практике проектирования барабанов и фундаментов для выполнения имитационного моделирования их колебаний.
2. Определены собственные частоты колебаний конструкции КБ и фундамента.
3. Получены амплитудно–частотные характеристики системы по всем обобщенным координатам.
4. На примере исследования барабана КБ-425 показана достаточная адекватность модели, а также обобщены результаты исследования с возможностью использования для барабанов любого типоразмера.

Список литературы

1. Рауш Э. Фундаменты машин. – М. : Стройиздат, 1965. – 420 с.
2. Савинов О.А. Современные конструкции фундаментов под машины и их расчет. - Изд. 2-е. – Л. : Стройиздат, 1979. – 452 с.
3. Санников А.А. Пути снижения колебаний лесопильного оборудования : монография. – М. : Лесн. пром–сть, 1980. – 160 с.
4. Шомин И.И., Труфакин А.В. Спектральный анализ вибрации привода корообдирочных барабанов // Социально–экономические и экологические проблемы лесного комплекса : ма-

тер. Междунар. науч.–техн. конф. / Урал. гос. лесотехн. ун–т. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2003. – С. 177–178.

5. Шомин И.И., Санников А.А. Теория крутильно-вращательных колебаний привода коробдирочных барабанов // Технологии, машины и производство лесного комплекса будущего : материалы Международной научно-практической конференции / ВГЛТА. – Воронеж : ВГЛТА, 2004. – Ч. I. - С. 146 - 148.

Рецензенты:

Гороховский Александр Григорьевич, доктор технических наук, профессор, генеральный директор ОАО «Уральский научно-исследовательский институт переработки древесины», г. Екатеринбург.

Баженов Евгений Евгеньевич, доктор технических наук, профессор, директор института автомобильного транспорта и технологических систем ФГБОУ ВПО «УГЛТУ», г. Екатеринбург.