



УДК 51-7: 621.43

**Имомкулов Шухратжон Бокижонович,**

Кандидат технических наук, доцент,  
Наманганский инженерно-технологический институт,  
г. Наманган

**Абдукаххоров Зоҳиджон,** Кандидат технических наук, доцент,

Наманганский инженерно-технологический институт,  
г. Наманган

**Мамарасулов Расулжон Бокижон угли,** Ассистент,

Наманганский инженерно-технологический институт,  
г. Наманган

## **ВЛИЯНИЕ СВОБОДНЫХ И ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ДЛИТЕЛЬНОСТЬ РАБОТЫ ВАЛА.**

### **THE INFLUENCE FREE AND COMPELLED FLUCTUATIONS ON DURATION OF THE FUNCTIONING (WORKING) THE GROSS**

**Аннотация.** В статье рассмотрены процессы свободных и вынужденных крутильных колебаний вала с одной массой, даны основные определения. Произведен вывод дифференциальных уравнений свободных и вынужденных крутильных колебаний вала с одной массой и приведено их решение.

**Abstract.** In article are considered processes free and compelled крутильных of the fluctuations of the gross with one mass, are given main determinations. The Made conclusion of the differential equations free and compelled of the fluctuations of the gross with one mass and is brought their decision.

**Ключевые слова:** разращения вала, жестокость вала, крутящий момент, крутильные колебания, свободные колебания, вынужденные колебания, частота амплитуды, резонансных кривых, резонансные напряжения.



**Keywords:** разращения gross, cruelty of the gross, turning moment, крутильные of the fluctuation, free fluctuations, compelled fluctuations, frequency of the amplitude, resonance crooked, resonance.

## Введение

При эксплуатации джинных машин, даже полностью уравновешенных, на определенных скоростных режимах появляются вибрации и стуки, приводящие иногда к разрушению вала джинного пила. Причиной этого являются крутильные вала джинного пила, которые возникают вследствие недостаточной жесткости вала джинного пила под действием переменных по величине и направлению крутящих моментов от источника движения [1].

Крутильные колебания представляют собой периодические колебания в плоскости вращения навешенных на вал масс, при которых участки вала между массами скручиваются и раскручиваются под действием циклически меняющегося крутящего момента. Любая конструкция под действием переменных сил испытывает два вида колебаний - свободные и вынужденные [2].

При отсутствии сопротивлений свободные колебания могло бы продолжаться бесконечно долго с неизменными амплитудой и частотой.

Амплитуда колебаний (угол скручивания вала)

$$\varphi = \frac{M_{кр} l}{GI_p} = \frac{M_{кр}}{c} = M_{кр} e \quad (1)$$

где  $M_{кр}$ - крутящий момент,

$l$ - длина вала,

$G$ - модуль упругости материала вала,

$I_p$ - полярный момент инерции сечения вала,

$c$  –крутильная жесткость вала,

$e$  – податливость вала.

Частота колебаний (число циклов колебаний в секунду) [3].



$$\nu_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{GI_p}{\theta l}} \quad (2)$$

где  $\theta$  - момент инерции массы относительно оси вала.

Крутильные колебания могут быть собственными (свободными) и вынужденными. Рассмотрим задачу о свободных и вынужденных крутильных колебаний вала с одной массой и приведем ее решение используя дифференциальные уравнения.

Отметим, что дифференциальные уравнения представляют собой основной аппарат естество испытателя и инженера, а потому именно они широко задействованы в процессе решения ряда технических задач.

### Основная часть

Собственные колебания вала джигного пила совершает выведенный из состояния покоя под действием только момента сил упругости вала  $M_{yn}$  и момента сил инерции  $M_{ин}$  от вращающихся масс. Вынужденные колебания вала джигного пила возникают в процессе работы от источника движения вследствие действия периодически изменяющихся крутящих моментов, которые вызывают упругие деформации скручивания конца вала [4].

Совпадение какой-либо формы свободных колебаний с частотой какой-либо гармонической составляющей возмущающего момента называется резонансом, а частота вращения, при которой наступает резонанс, называется критической (или резонансной) частотой [5].

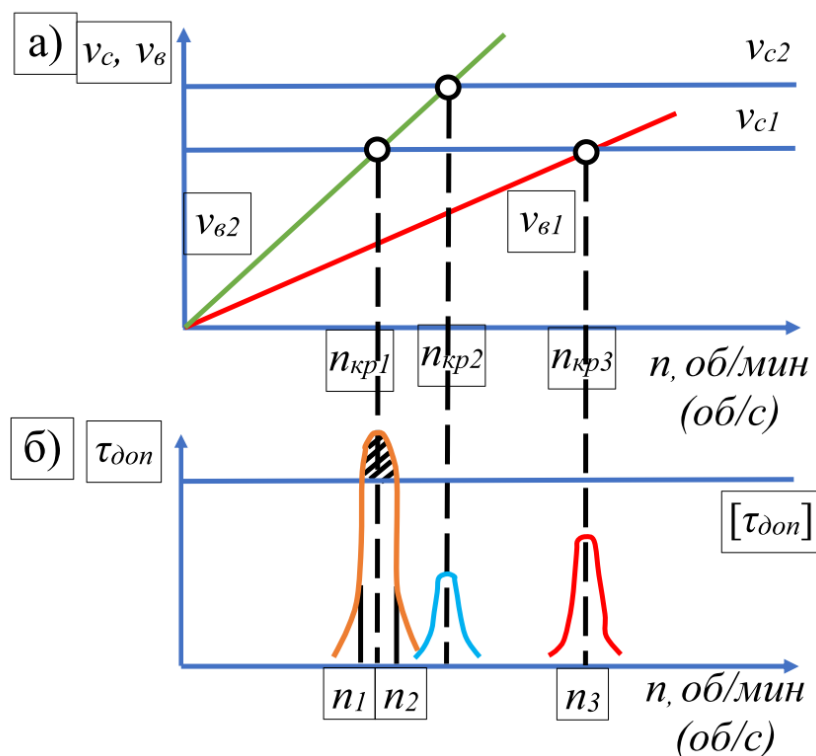
Из равенства частот  $\nu_c = \nu_b = kn$  кол/с вытекает, что критическая частота вращения

$$n_{кр} = \frac{\nu_c}{k} c^{-1} \quad (3)$$

При резонансе амплитуда крутильных колебаний (угол скручивания вала) и пропорциональные ей дополнительные напряжения кручения увеличиваются и могут оказаться опасными для прочности вала и вызывать его поломку (рис.1.а, б). Опасные режимы работы можно определить с помощью графика (см. рис.1., б)



На этот же график наносится линия допустимого напряжения от крутильных колебаний  $\sigma_{\text{доп}}$  установленного из соображений усталостной прочности материала вала [6]. Если линия допустимого напряжения не пересекает резонансных кривых, резонансные напряжения особой опасности не представляют и режимы  $n_{\text{кр}2}$  и  $n_{\text{кр}3}$  допустимы для длительной работы. Режимы  $n_{\text{кр}1}$  опасен для длительной работы, так как прямая допустимая напряжения отсекает на резонансной кривой участок чрезмерно больших напряжений.

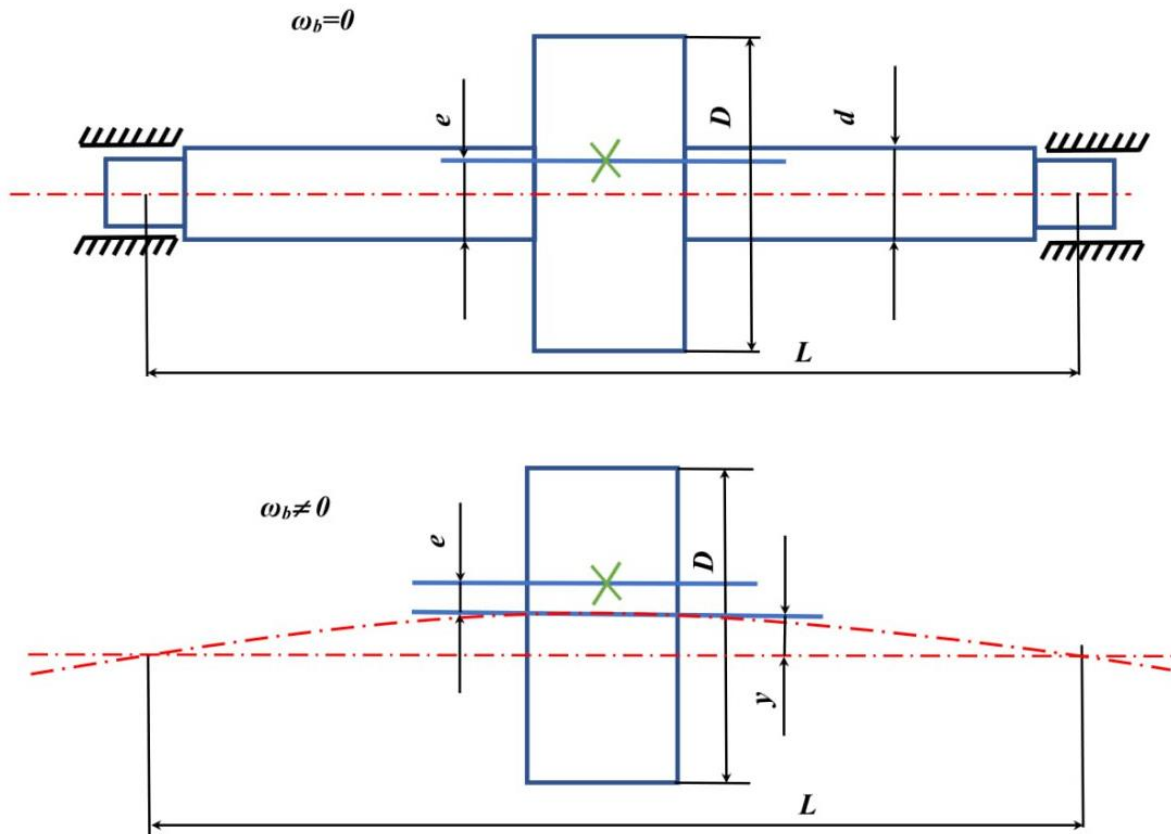


**Рис. 1. Определение критических частот вращения и запретных зон.**

На рис. 1, а – резонансные частоты появляются при пересечении линий собственных колебаний вала джинного пила  $v_{c1}$  и  $v_{c2}$ .

Диапазон частот вращения вблизи  $n_1$  называемый критически опасным для длительной работы.

При совпадении частот собственных крутильных колебаний с вынужденными колебаниями возникает резонанс [7]. Создаются большие дополнительные напряжения кручения, приводящие к поломке вала.



**Рис 2. Расчётная схема к определению силы действующих вызывающая прогиб вала  $y$  в сечении под центром тяжести диска (джинного пила).**

На вал действует центрабежная сила, вызывающая прогиб вала  $y$  в сечении под центром тяжести диска,  $e$  – расстояние от осевых линии вала до центр тяжести диска (пила)

$$F_{ц} = m(e + y) \quad (4)$$

При свободных колебаниях вала эта сила уравнивается силой упругости  $F_{ц} = F_y$

$$F_y = cy \quad (5)$$

где  $c$  – изгибная жесткость вала. Выразим  $y$  из уравнение равновесия

где  $\omega_c = \sqrt{\frac{c}{m}}$  - частота собственной колебание вала

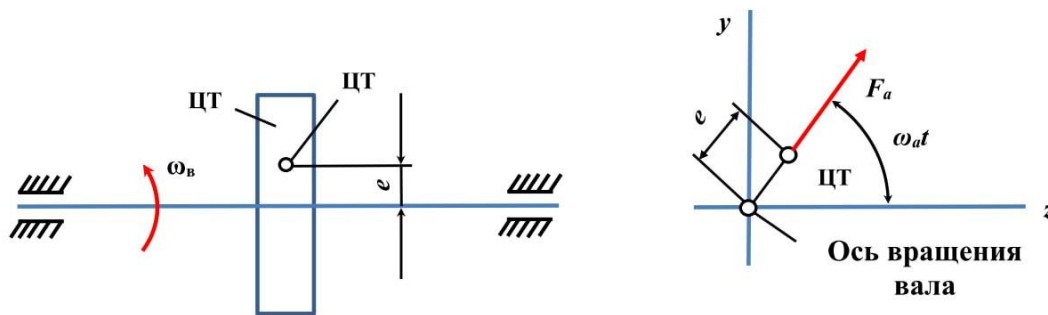
$$y = e / \left( \frac{\omega_c^2}{\omega_b^2} - 1 \right) \quad (6)$$



Погрешности в условиях резонанса можно ожидать разрушения машины, необходимо проводить определение критической частоты вращения. Частота собственных изгибных колебаний от действия силы тяжести диска:

$$\omega_c = \sqrt{1/(\delta mg)} = \sqrt{g/y_{ст}} \quad (7)$$

где  $\delta = y_{ст}/(mg)$  изгибная податливость вала или прогиб от единичной силы;  $y_{ст}$ - статический прогиб вала от действия силы тяжести вала  $mg$  диска;



**Рис 3. Расчётная схема к определению силы действующих вызывающая прогиб вала  $y$  в сечении под центром тяжести диска (джинного пила).**

Вынужденные колебания с одной степенью свободы описывают следующим уравнением:

$$y = \frac{F_{ц}}{m(\omega_c^2 - \omega_B^2)} \sin \omega_B t, \quad (7)$$

где  $y$  – амплитуда вынужденных колебаний массы  $m$ ;  $F(t)$ - амплитуда возмущающей силы  $F(t) = F_{ц} \sin \omega_B t$ ,  $\omega_B$ - круговая частота возмущающей силы или частота вынужденных колебаний системы;  $\omega_c$ - круговая частота собственных колебаний системы.

Следовательно, при  $\omega_c = \omega_B$  наступает резонанс и  $\gamma \rightarrow \infty$ .

Частоту вращения вала ( $\text{мин}^{-1}$ ), при которой наступает резонанс, называют критической

$$n_{кр} = \left(30/\pi\right) \omega_{кр} = \left(30/\pi\right) \omega_c = \left(30/\pi\right) \sqrt{g/y_{ст}} \quad (8)$$



За предел вибрационной устойчивости обычно принимают для жестких валов  $n \leq 0,7 \cdot n_{кр}$ , а для гибких валов  $n \geq 1,3 \cdot n_{кр}$ , но при этом для избегания поломок зону резонанса следует проходить быстро.

Центробежная сила, действующая на вал:

$$F_{ц} = m \cdot \omega_B \cdot e, \text{ Н} \quad (9)$$

Критический прогиб между опорами:  $[y] = (0,0002 \dots 0,0003) \cdot l$ , где  $l$  - расстояние между опорами;

Данное явление называется резонансом и приводит к резкому повышению деформации кручения и возможным поломкам вала джигного пила.

### **Заключение**

Таким образом, крутильные колебания вала джигного пила были оценены с использованием дифференциального исчисления. Что в свою очередь говорит о важности математических методов при решении технических задач.

### **Список литературы:**

1. Истомин П.А. Крутильные колебания в судовых ДВС. Л.: Судостроение, 1968. 303 с.
2. Лурье И.А. Крутильные колебания в дизельных установках. М.; Л.: Военмориздат, 1940. 220 с.
3. Терских В.П. Расчет крутильных колебаний силовых установок: в 2 т. М.: Машгиз, Т. 1, 1953. 260 с.; Т. 2, 1954. 214 с.
4. А.Г. Горшков, В.Н. Трошин, В.И. Шалашилин. Сопротивление материалов. М., Изд. ФИЗМАЛИТ, 2002 г.
5. А.В. Александров, В.Д. Потапов, Б.П. Державин. Сопротивление материалов. М., В.Ш., 2003 г.
6. Леликов О.П. Расчет валов на ЭВМ. – М.: МВТУ, 1986.
7. Глухих В.Н. Расчет и проектирование валов в редукторах: Метод. указания по курсовому проектированию. – СПб.: ИПО ЛТА, 2002.