



Франчук В. П.

Савлук С. В.

Государственное  
высшее учебное  
заведение  
«Национальный  
горный университет»

УДК 621.928

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА СИНХРОНИЗАТОРА С УПРУГИМ ЭЛЕМЕНТОМ ДЛЯ ИНЕРЦИОННОГО ВИБРОВОЗБУДИТЕЛЯ ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ КОЛЕБАНИЙ

*Запропонована методика розрахунку синхронізатора з пружним елементом. Приведені залежності жорсткості пружного елемента і ексцентриситету кривошипів синхронізатора від параметрів вібробудувача і приводу.*

*The method of calculation of the synchronizer and an elastic element is proposed. The dependences of the elastic element of rigidity and eccentricity of the parameters of the synchronizer cranks, and drive exciters are described.*

**Постановка задачи.** Повышение производительности и надежности режима синхронной работы валов инерционного вибровозбудителя прямолинейно направленных колебаний связано с обеспечением наименьшего угла рассогласования фаз вращения валов, что актуально в условиях смещения центра масс исполнительного органа.

Использование синхронизатора с упругим элементом обеспечивает требуемый режим работы вибровозбудителя [1]. Для правильного выбора параметров синхронизатора необходимо подготовить зависимости для их расчета с учетом параметров вибровозбудителя.

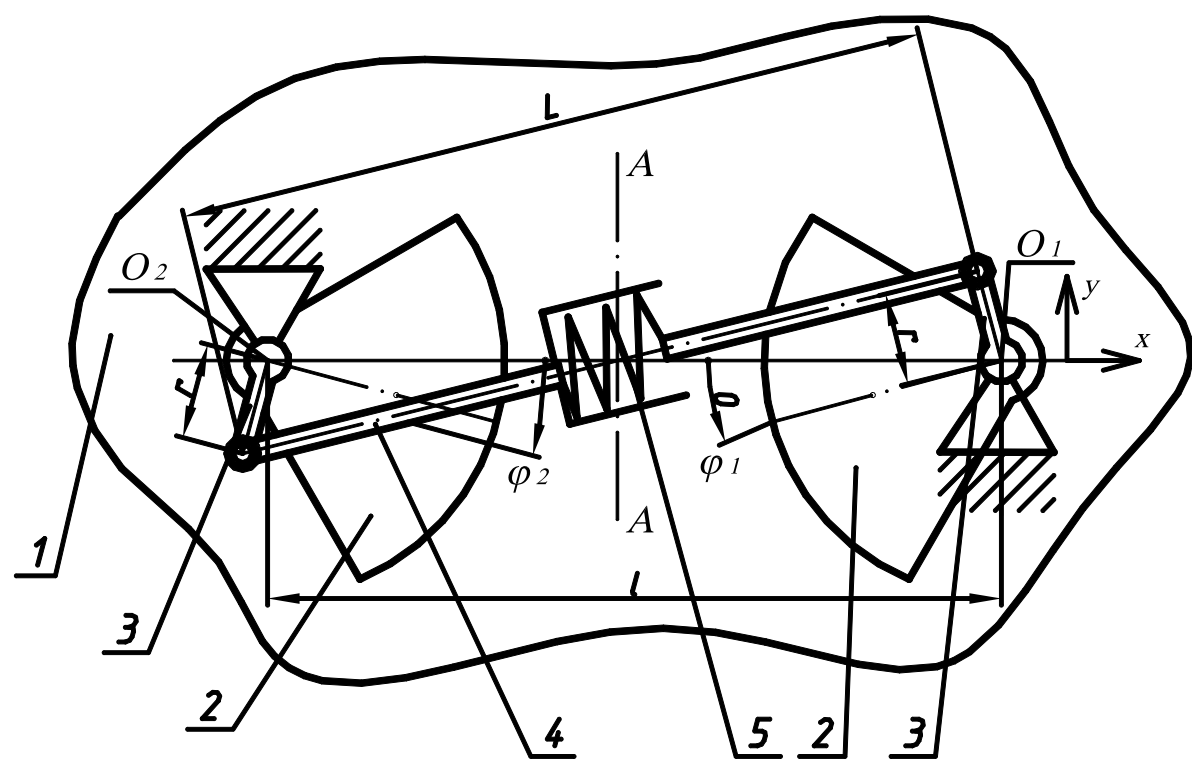
**Целью статьи** является получение методики расчета синхронизатора с упругим элементом для инерционного вибровозбудителя прямолинейных колебаний с учетом параметров вибровозбудителя, его привода и технологического процесса.

**Основная часть.** Схема синхронизатора с упругим элементом в конструкции двух инерционных вибровозбудителей представлена на рисунке 1. Тело инерционного вибровозбудителя 1 содержит два закрепленных вала с дебалансными массами 2. Дебалансные массы 2 вращаются вокруг центров  $O_1$  и  $O_2$  с угловой координатой  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  соответственно. На дебалансных валах 2 жестко расположены эксцентриковые выступы 3. Эксцентриковые выступы 3 соединены

между собой корпусом 4, состоящим из двух частей и соединенных упругим элементом 5. Эксцентриковые выступы 3 в исходном положении соединены с корпусом синхронизатора таким образом, что в любом положении валов вибровозбудителя при симметричном расположении дебалансных масс относительно оси А-А, проходящей через середину межцентрового расстояния валов и перпендикулярной их плоскости упругий элемент 5 находится в недеформированном состоянии, а эксцентрики 3 располагаются относительно друг друга с углом  $180^\circ$ .

Принцип действия инерционного двухвального вибровозбудителя направленных колебаний заключается в том, что при синхронном и синфазном вращении его валов в разных направлениях они создают возмущающие круговые колебания, которые в сумме дают возмущающие усилия, направленные вдоль линии А-А. При этом дебалансные массы в произвольный момент времени расположены симметрично относительно плоскости А-А, что характерно для установившегося режима работы вибровозбудителя.

В результате действия технологической нагрузки и разброса параметров сопротивления в подшипниковых узлах режим синхронной работы вибровозбудителя нарушается и угол рассогласования фаз вращения валов изменяется.



**Рис. 1. Схема синхронизатора с упругим элементом в конструкции двухвального инерционного вибровозбудителя**

Принцип действия синхронизатора с упругим элементом заключается в том, что синхронизатор за счет потенциальной энергии упругого элемента уравнивает положение дебалансных грузов и величина угла рассогласования их фаз вращения стремится к нулю, а скорости уравниваются.

Режим, в котором валы вибровозбудителя вращаются синхронно, но с разным углом сдвига фаз вращения, приводит к тому, что изменяется длина упругого элемента синхронизатора. Это приводит к деформации растяжения или сжатия упругого элемента. При этом в нем возникает сила сопротивления, которая, воздействуя на валы вибровозбудителя посредством жестко соединенных кривошипных элементов, увеличивает или уменьшает угол рассогласования фаз и, следовательно, синхронно-синфазный режим вращения валов вибровозбудителя стабилизируется. Воздействие на валы вибровозбудителей при деформировании упругого элемента синхронизатора происходит в двух положениях: упругий элемент растянут (рис. 2. б), упругий элемент сжат (рис. 3. в).

Степень деформации упругого элемента зависит от геометрического положения

эксцентриковых выступов (кривошипных элементов) на валах вибровозбудителя (рис. 2. а).

Жесткость упругого элемента 5 выбрана таким образом, чтобы любой дебалансный вал вибровозбудителя мог повернуться относительно другого в любом положении. В случае если жесткость упругого элемента синхронизатора подобрана таким образом, что при вращении валов угол рассогласования фаз не может принимать любые значения в пределах  $0...2\pi$ , то при пуске это может вызвать опрокидывание одного или обоих двигателей. Конструктивные особенности упругого синхронизатора заключаются в том, что при изменении угла разности фаз  $\xi=0..45^\circ$  плечо момента сопротивления  $h$  растет, а после начинает уменьшаться, что продемонстрировано на рис. 2. Это случай характерен для расположения точек вращения кривошипных элементов, когда они находятся вдали от плоскости осей дебалансных валов. В первом случае (рис. 2. а) – упругий элемент синхронизатора находится в ненагруженном состоянии – момент сопротивления равен нулю. В другом случае (рис. 2. в) – за счет деформации упругого элемента появляется сила сопротивления  $F_{sopr}$  и момент



сопротивления  $M_{sopr}$  который зависит от плеча  $h$ . Момент увеличивается за счет роста силы сопротивления и увеличения его плеча. В случае, когда угол рассогласования фаз превышает  $45^\circ$  (рис. 2. б), момент от силы сопротивления продолжает увеличиваться, но плечо уменьшается. В этом случае может произойти проворачивание дебалансного вала (рис. 2. д).

В положениях, когда точки вращения кривошипных элементов вблизи от плоскости осей дебалансных валов плечо момента сопротивления  $h$  растет при изменении угла разности фаз  $\xi = 0..90^\circ$ .

За счет действия упругого элемента синхронизатора угол рассогласования фаз уменьшается и валы начинают вращаться в

таком режиме, когда сила сопротивления от упругого элемента постоянно стремится к нулю либо изменяется симметрично в пределах цикла. Согласно кинематической схеме вибровозбудителя с синхронизатором, такой режим возможен, только в положении как показано на рис.2.г. Это вывод подтверждается известным энергетическим критерием – любая система находит режим, при котором затрачивается минимум энергии [2]. Поэтому согласно указанному критерию и проведенной экспериментальной проверке валы вращаются в режиме с наименьшими энергозатратами, а это режим синхронного и синфазного вращения вибровозбудителей (рис. 3. а).

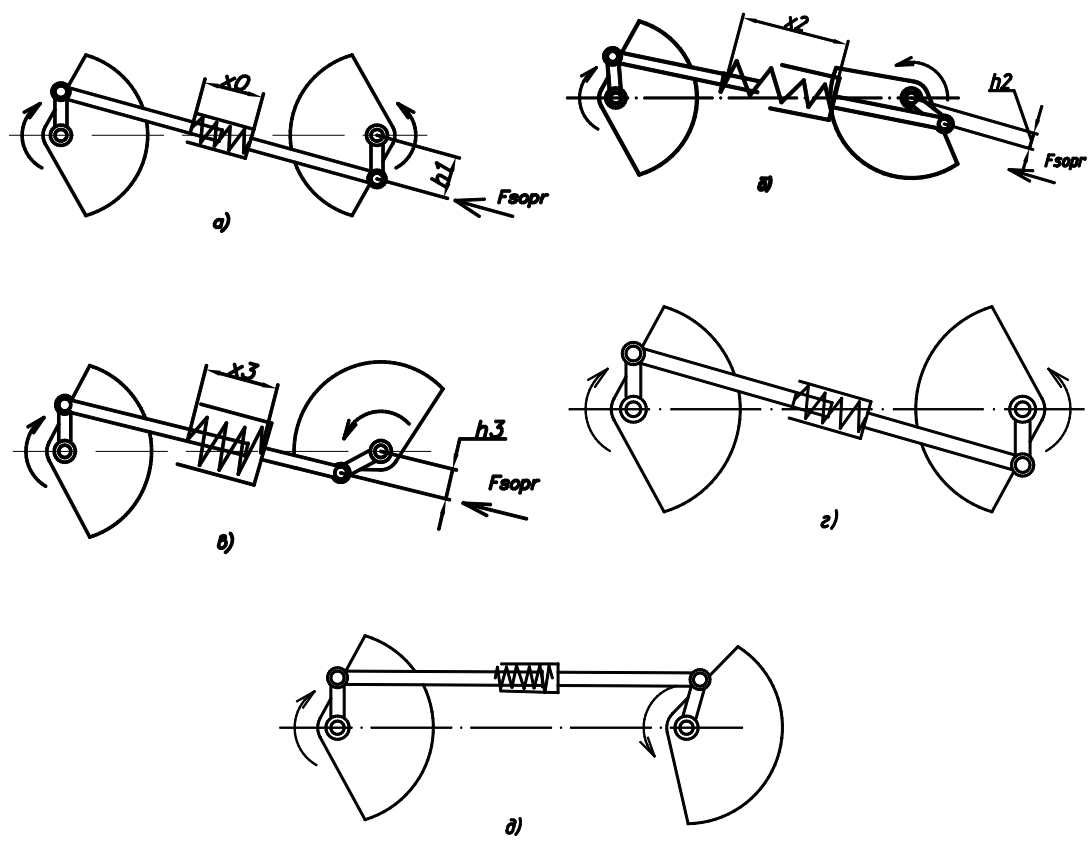


Рис. 2. Расположение дебалансных грузов и конструктивных элементов синхронизатора с упругим элементом на валах вибровозбудителя

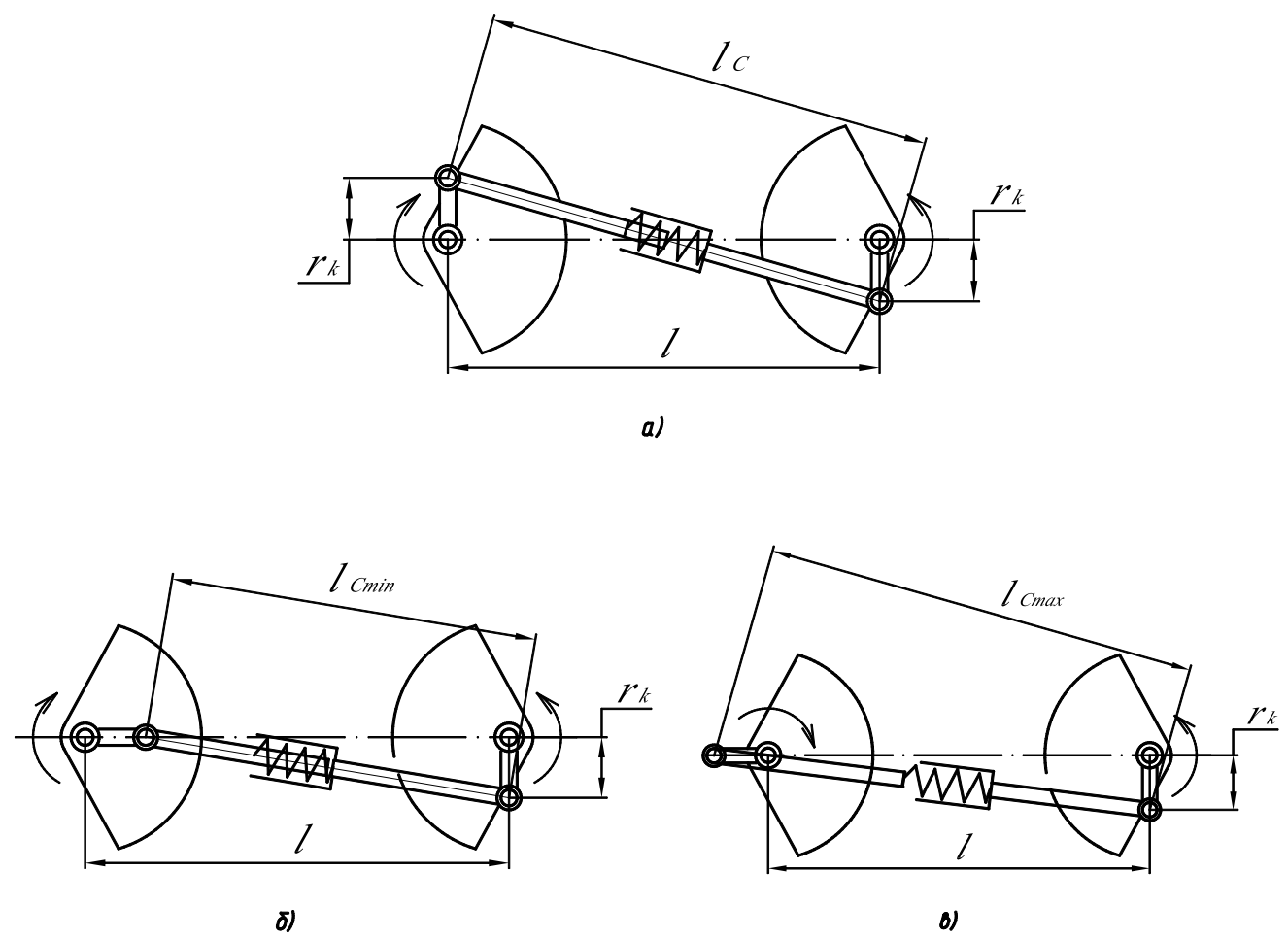
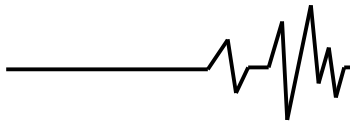


Рис. 3. Расчетные схемы для определения длины синхронизатора

**Основные теоретические предпосылки к расчету синхронизатора с упругим элементом**

На первом этапе рассчитывается область значений эксцентриситета втулок или кривошипных шатунов [3]:

$$r_k = k_{эксц} l, \quad (1)$$

где  $k_{эксц} = 0,025 \dots 0,14$  – коэффициент рациональных значений эксцентриситета втулок синхронизатора,  $l$  – межосевое расстояние валов вибровозбудителя.

На следующем этапе предварительно осуществляется выбор подшипников для принятой конструктивной схемы синхронизатора.

Назначается величина эксцентриситета  $r_k$  с учетом типоразмера подшипника и зависимости (1).

Определяется наибольшее плечо момента сил сопротивления:

$$h_{max} = r_k. \quad (2)$$

Деформация упругого элемента в крайних положениях сжатия и растяжения упругого элемента синхронизатора:

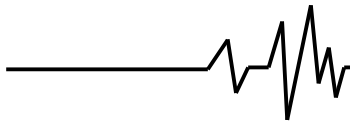
$$X_k = 2r_k. \quad (3)$$

Полный ход точек крепления упругого элемента синхронизатора из положения наибольшего сжатия в положение максимального растяжения:

$$X_{cp} = 4r_k. \quad (4)$$

Определяется длина синхронизатора, в положении валов вибровозбудителя, при котором деформация упругого элемента отсутствует (рис.3.а):

$$l_c = \sqrt{l^2 - 4r_k^2}. \quad (5)$$



Положения валов вибровозбудителя, для которых наибольшие значения произведения деформации и плеча момента сил сопротивления упругого элемента синхронизатора  $X \cdot h$  продемонстрированы на рисунках 3.б, в.

Длина синхронизатора в положении со сжатым упругим элементом синхронизатора для  $X \cdot h \rightarrow \max$  (рис.3.б):

$$l_{C \min} = \sqrt{l^2 - 2lr_k + 2r_k^2}. \quad (6)$$

Длина синхронизатора в положении с растянутым упругим элементом синхронизатора для  $X \cdot h \rightarrow \max$  (рис.3.в):

$$l_{C \max} = \sqrt{l^2 + 2lr_k + 2r_k^2}. \quad (7)$$

Величина наибольшей деформации упругого элемента для случаев  $X \cdot h \rightarrow \max$ :

$$X_{\max 1} = |l_C - l_{C \max}|$$

$$X_{\max 2} = |l_C - l_{C \min}|$$

Определяется суммарный максимальный момент двигателей:

$$M_{\max} = 2\lambda \frac{N}{\omega}, \quad (8)$$

где  $\lambda$  – отношение максимального к номинальному моменту двигателя;  $N$  – мощность приводных двигателей, Вт;  $\omega$  – номинальная скорость вращения вала электродвигателя, рад/с.

Рассчитываются суммарные потери в подшипниковых узлах:

$$R_s = \sum R_i, \quad (9)$$

где  $R_i$  – сопротивления от действия различных факторов (усилия нагружения, технологической нагрузки, гидродинамических свойств смазки).

Определяется жесткость упругого элемента синхронизатора:

$$C_{12} = \frac{k(M_{\max} - R_s)}{Xh}, \quad (10)$$

где  $k=0,1-1$  (для снижения нагрузок рекомендуется использовать  $k$  с меньшим

значением),  $X = X_{\max}$  – величина наибольшей деформации упругого элемента для случаев  $X \cdot h \rightarrow \max$ .

Производится расчет проверки на прочность подшипниковых узлов синхронизатора, и подшипниковых узлов вибровозбудителя (в случае необходимости). Максимальное усилие, прикладываемое к одному подшипниковому узлу синхронизатора:

$$F_{\max} = C \cdot X. \quad (11)$$

Проверка выполнения условию соответствия подшипника:

$$F_{\max} < [F], \quad (12)$$

где  $[F]$  – статическая грузоподъемность подшипника [4].

В случае невыполнения условия (12) производится выбор другого типоразмера подшипника (8).

**Выводы.** Путем анализа и обобщения результатов исследований синхронизатора с упругим элементом предложена методика расчета и выбора его параметров.

### Литература

1. Савлук С. В. Обеспечение режима синхронно-синфазного вращения валов вибровозбудителя направленных колебаний с учетом рационального положения осей его валов и использования упругого синхронизатора / С.В. Савлук // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. трудов ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2011. – Вып. 95. – С. 136-141.

2. Франчук В. П. Исследование и разработка принципов синхронизации нескольких вибровозбудителей / В.П. Франчук // Науково-технічний збірник: Гірнична електромеханіка та автоматика, вип. 2(61), Дніпропетровськ, 1999. – С. 235-239.

3. Савлук С. В. Динамика вибровозбудителя направленного действия, оснащенного упругим синхронизатором / С. В. Савлук // Сборник науч. Тр. НГУ: Днепропетровск, 2009. – № 33. – Т.1. – С. 117-122.

4. Ануриев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: [Справочник: в 4 т.] / Под ред. И. Н. Жестковой. – 8-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2001. – Т. 2. – 912 с.: ил. – С. 134-136.