



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
B06B 1/00 (2020.08)

(21)(22) Заявка: 2020119118, 09.06.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
09.06.2020

Дата регистрации:
28.01.2021

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 09.06.2020

(45) Опубликовано: 28.01.2021 Бюл. № 4

Адрес для переписки:
127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49, РГАУ-
МСХА имени К.А. Тимирязева, Управление
научной деятельности

(72) Автор(ы):

Васильев Александр Михайлович (RU),
Васильева Любовь Валентиновна (RU),
Бредихин Сергей Алексеевич (RU),
Андреев Владимир Константинович (RU),
Андреева Надежда Владимировна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Российский государственный
аграрный университет - МСХА имени К.А.
Тимирязева" (ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА
имени К.А. Тимирязева) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2528550 C2, 20.09.2014. RU
2528271 C2, 10.09.2014. RU 2671933 C1,
07.11.2018. DE 955756 C, 10.01.1957.

(54) Способ возбуждения механических колебаний силовых факторов с регулируемыми параметрами

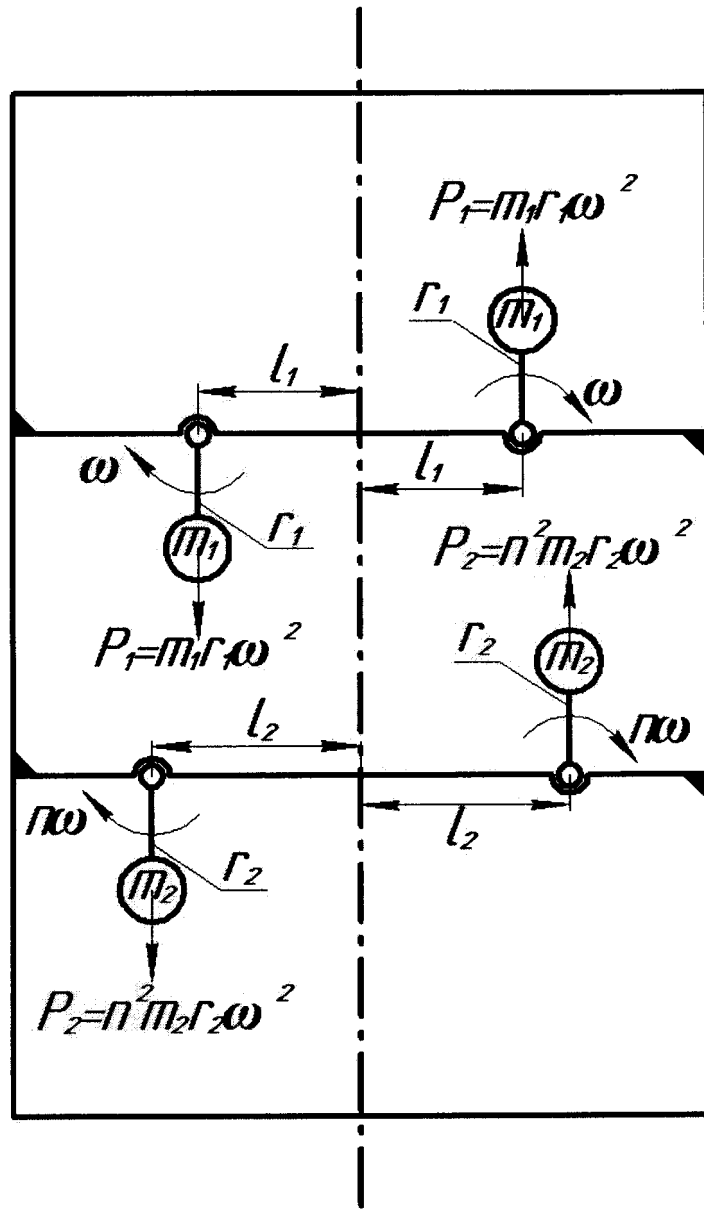
(57) Реферат:

Изобретение относится к вибрационной технике, в частности к технике агропромышленного комплекса, и может быть использовано на зерноперерабатывающих предприятиях в технологическом и транспортном оборудовании. Согласно изобретению в четырехдебалансном вибровозбудителе, возбуждающем колебания силовых факторов по

несимметричному закону, изменение направления наибольшего по абсолютной величине силового фактора на противоположное достигается изменением начального положения медленно вращающихся дебалансов. Техническим результатом является варьирование скорости транспортирования и повышение эффективности процессов сепарирования зерновых смесей. 22 ил.

RU 2 741 748 C1

RU 2 741 748 C1



Фиг. 7



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
B06B 1/00 (2020.08)

(21)(22) Application: **2020119118, 09.06.2020**

(24) Effective date for property rights:
09.06.2020

Registration date:
28.01.2021

Priority:

(22) Date of filing: **09.06.2020**

(45) Date of publication: **28.01.2021** Bull. № 4

Mail address:

127550, Moskva, ul. Timiryazevskaya, 49, RGAU-MSKHA imeni K.A. Timiryazeva, Upravlenie nauchnoj deyatel'nosti

(72) Inventor(s):

**Vasilev Aleksandr Mikhajlovich (RU),
Vasileva Lyubov Valentinovna (RU),
Bredikhin Sergej Alekseevich (RU),
Andreev Vladimir Konstantinovich (RU),
Andreeva Nadezhda Vladimirovna (RU)**

(73) Proprietor(s):

Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya "Rossijskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet - MSKHA imeni K.A. Timiryazeva" (FGBOU VO RGAU-MSKHA imeni K.A. Timiryazeva) (RU)

(54) **METHOD FOR EXCITATION OF MECHANICAL OSCILLATIONS OF POWER FACTORS WITH CONTROLLED PARAMETERS**

(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: invention relates to vibration equipment, particularly to agroindustrial complex, and can be used for grain processing enterprises in the process and transport equipment. According to the invention, in four-debalance-type vibration exciter, which excites oscillation of power factors by

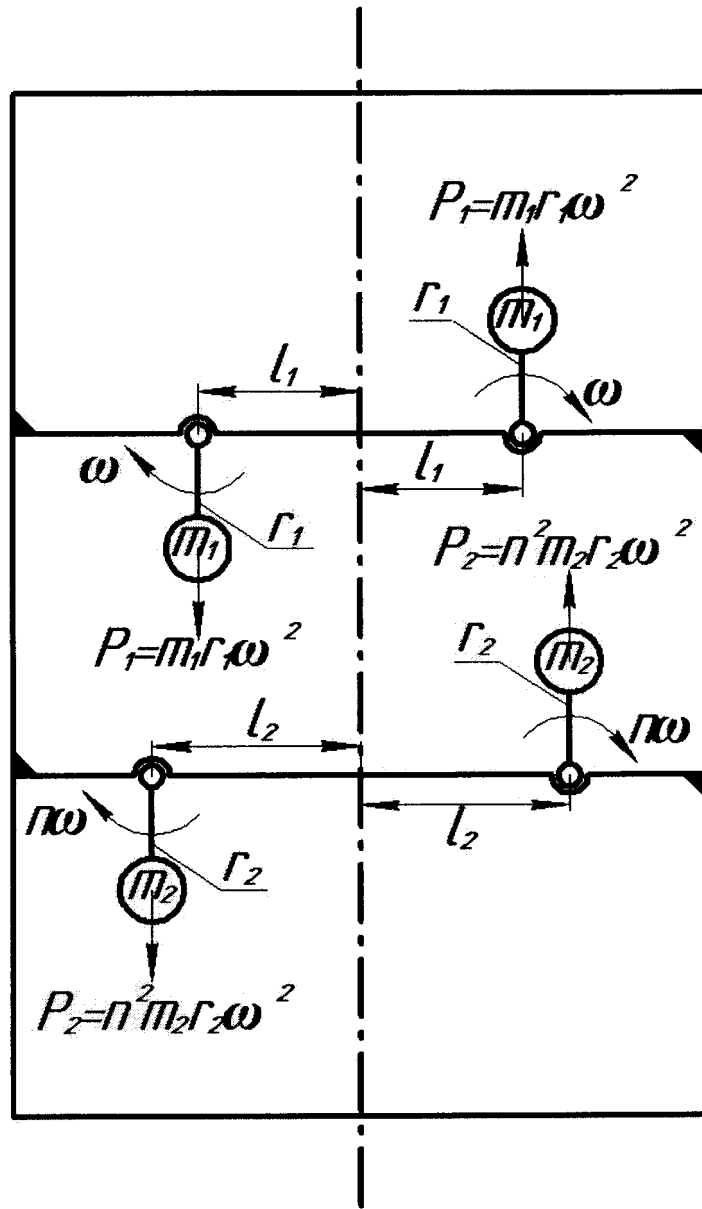
asymmetric law, change of direction of maximum power factor by absolute value to opposite one is achieved by changing initial position of slow-rotating unbalances.

EFFECT: technical result is a variation in the speed of transportation and higher efficiency of separation of grain mixtures.

1 cl, 22 dwg

RU 2 741 748 C1

RU 2 741 748 C1



Фиг. 7

Изобретение относится к вибрационной технике, в частности к технике агропромышленного комплекса, и может быть использовано на зерноперерабатывающих предприятиях в технологическом и транспортном оборудовании. Кроме того, изобретение может быть использовано в других отраслях промышленности, связанных с переработкой сыпучих материалов.

Цель изобретения - расширение функциональных возможностей центробежного вибровозбудителя при его использовании в вибрационном оборудовании для сепарирования и транспортирования зерна и других сыпучих материалов, путем сообщения рабочим органам машин колебаний с параметрами, соответствующими осуществляемому процессу.

Известны способы возбуждения механических колебаний силовых факторов (силы и/или момента) с применением центробежных вибровозбудителей. При этом вибровозбудитель может содержать один или несколько дебалансов. Дебаланс представляет собой вращающееся неуравновешенное звено. Дисбалансом небаланса называют произведение неуравновешенной массы m на ее эксцентриситет r относительно оси вращения.

Известен способ возбуждения негармонических (подчиняющихся несимметричному закону) колебаний силы [1] центробежным вибровозбудителем, содержащим четыре дебаланса, равномерно вращающихся вокруг параллельных осей (фиг. 1). Оси вращения дебалансов расположены на общем основании. Дебалансы попарно имеют одинаковые по величине угловые скорости противоположного направления. При этом величина угловой скорости первой пары дебалансов вдвое меньше величины угловой скорости второй пары дебалансов, то есть первая пара дебалансов вращается с угловой скоростью $\omega_1 = \omega$, а вторая с угловой скоростью $\omega_2 = 2\omega$. Дебалансы, вращающиеся с равными по величине угловыми скоростями, имеют одинаковые дисбалансы, то есть одинаковые по величине произведения неуравновешенной массы m на ее эксцентриситет r относительно оси вращения. Причем, дисбалансы дебалансов, вращающихся с частотой 2ω в четыре раза меньше величины дисбалансов дебалансов, вращающихся с частотой ω . Для упрощения дальнейших рассуждений условимся называть одноименными дебалансы, вращающиеся с равными по величине угловыми скоростями, а отрезок, соединяющий оси вращения таких дебалансов, межосевым расстоянием одноименных дебалансов. Оси вращения одноименных дебалансов расположены симметрично относительно прямой, перпендикулярной их межосевому расстоянию. При этом оси вращения первой пары дебалансов и оси вращения второй пары дебалансов расположены симметрично относительно одной прямой.

Поясним принцип действия такого центробежного вибровозбудителя. При равномерном вращении дебалансов развиваются центробежные силы инерции:

$P_1 = m_1 r_1 \omega_1^2 = m_1 r_1 \omega^2$ - центробежная сила инерции, развиваемая дебалансом первой пары;

$P_2 = m_2 r_2 \omega_2^2 = 4m_2 r_2 \omega^2$ - центробежная сила инерции, развиваемая дебалансом второй пары. На рисунке (фиг. 2) показано некоторое произвольное положение дебалансов после поворота из начального положения первой пары дебалансов на угол $\delta_1 = \delta$, второй пары - на угол $\delta_2 = 2\delta$. Как видно из рисунка, горизонтальные составляющие сил инерции одноименных дебалансов взаимно уравновешивают друг друга. Вертикальные составляющие сил инерции дебалансов складываясь, образуют результирующую силу, зависимость которой от угла поворота дебалансов имеет вид

$$P_{\Sigma} = 2m_1r_1\omega^2 \cos \delta + 8m_2r_2\omega^2 \cos 2\delta, \quad (1)$$

направленную вдоль прямой, представляющей собой ось симметрии расположения осей вращения дебалансов.

5 Зависимость результирующей силы от угла поворота дебалансов, описываемая уравнением (1), получена при условии, когда за начальное положение дебалансов принято такое их положение, при котором центробежные силы инерции первой и второй пар дебалансов одновременно создают максимальные по величине равнодействующие силы одинакового направления. Равнодействующие центробежных сил инерции первой и второй пар дебалансов в начальном положении соответственно равны $P_{P1}=2m_1r_1\omega^2$ и $P_{P2}=8m_2r_2\omega^2$. Очевидно, что при этом в начальном положении дебалансов вибровозбудитель возбуждает максимально возможную по величине силу.

15 Как отмечено выше дисбаланс быстровращающихся дебалансов в четыре раза меньше дисбаланса медленновращающихся дебалансов, то есть если дисбаланс медленновращающегося дебаланса равен $m_1r_1=mr$, то дисбаланс быстровращающегося дебаланса равен $m_2r_2=0,25 mr$. Тогда результирующая сила, возбуждаемая вибровозбудителем, имеет вид

$$20 \quad P_{\Sigma} = 2mr\omega^2 \cos \delta + 2mr\omega^2 \cos 2\delta. \quad (2)$$

Зависимость возбуждаемой вибровозбудителем результирующей силы в безразмерном выражении может быть представлена в виде

$$25 \quad p(\delta) = \frac{P_{\Sigma}}{2mr\omega^2} = \cos \delta + \cos 2\delta. \quad (3)$$

На рисунке (фиг. 3) представлен график зависимости результирующей силы в безразмерном выражении от угла поворота дебалансов за цикл работы механизма вибровозбудителя. Заметим, что циклом механизма вибровозбудителя является время, по истечении которого дебалансы возвращаются в начальное (исходное) положение. 30 В рассматриваемом случае в течение кинематического цикла медленновращающиеся дебалансы совершают один оборот, а быстровращающиеся - два.

Как видно из графика (фиг. 3), функция результирующей силы от угла поворота дебалансов имеет наибольшее значение, равное двум, и наименьшее - минус одна целая сто двадцать пять тысячных. Это означает, что наибольшие значения возбуждаемой вибровозбудителем силы в противоположных направлениях не равны друг другу. При принятом положительном и отрицательном направлениях силы абсолютная величина наибольшего значения результирующей силы в положительном направлении больше абсолютной величины наибольшего значения силы в отрицательном направлении, то есть имеет место несимметрия закона колебаний силы, возбуждаемой 40 вибровозбудителем.

Следует заметить, что развиваемая таким вибровозбудителем сила способна сообщить основанию и связанному с ним рабочему органу прямолинейные негармонические колебания в том случае, если сила проходит через центр масс колеблемой системы. Негармоничность закона колебаний в данном случае означает неравенство наибольшего 45 положительного значения ускорения рабочего органа абсолютной величине наибольшего отрицательного значения ускорения.

Этот способ возбуждения колебаний силы реализован в конструкции машин с целью сообщения рабочему органу негармонических (несимметричных) прямолинейных

колебаний.

Известен способ возбуждения негармонических колебаний момента [2] центробежным вибровозбудителем, содержащим четыре дебаланса, вращающихся вокруг параллельных осей (фиг. 4). Оси вращения дебалансов расположены на общем основании. Дебалансы вращаются равномерно, попарно имеют одинаковые по величине и направлению угловые скорости и одинаковые дисбалансы. Вращение дебалансов синхронизировано и согласовано по фазе так, чтобы одноименные дебалансы одновременно занимали положения, в которых развиваемые ими центробежные силы инерции были параллельны друг другу и направлены в противоположные стороны. Следовательно, центробежные силы инерции одноименных дебалансов создают пару сил, момент которой переменен по величине и направлению, а его величина и направление зависят от положения дебалансов.

На рисунке (фиг. 5) показано произвольное положение дебалансов: дебалансы первой пары, вращающиеся с угловой скоростью $\omega_1 = \omega$, показаны при их повороте из начального положения на угол $\delta_1 = \delta$; дебалансы второй пары, вращающиеся с угловой скоростью $\omega_2 = 2\omega$, показаны при их повороте из начального положения на угол $\delta_2 = 2\delta$. Будем считать момент, направленный против часовой стрелки, положительным. Как видно из рисунка (фиг. 5), в рассматриваемом положении силы инерции первой и второй пар дебалансов образуют пары сил, моменты которых положительны. Момент пары, создаваемой силами инерции медленно вращающихся дебалансов, равен $M_1 = 2l_1 m_1 r_1 \omega^2 \cos \delta$. Момент пары, создаваемой силами инерции быстро вращающихся дебалансов, равен $M_2 = 8l_2 m_2 r_2 \omega^2 \cos 2\delta$. Результирующий момент, возбуждаемый вибровозбудителем, равен алгебраической сумме моментов, создаваемых центробежными силами инерции первой и второй пар дебалансов. Зависимость результирующего момента от угла поворота дебалансов имеет вид

$$M_{\Sigma} = 2l_1 m_1 r_1 \omega^2 \cos \delta + 8l_2 m_2 r_2 \omega^2 \cos 2\delta. \quad (4)$$

Из анализа уравнения (4) можно сделать следующие выводы. Зависимость результирующего момента подчиняется негармоническому закону. Зависимость результирующего момента, описываемая уравнением (4), имеет место при условии: в начальном положении дебалансов центробежные силы инерции одноименных дебалансов создают максимальные по величине моменты одинакового (положительного) направления. Такое начальное положение дебалансов можно охарактеризовать следующим образом: центробежные силы инерции одноименных дебалансов направлены перпендикулярно прямым, соединяющим оси их вращения, в противоположные стороны.

Возбуждаемый таким вибровозбудителем результирующий момент может сообщить основанию, а, следовательно, и связанному с ним рабочему органу машины либо негармонические вращательные колебания, либо вращательно колебательное движение (вращение с наложенными на него вращательными колебаниями).

Если дисбаланс быстро вращающегося дебаланса в четыре раза меньше дисбаланса медленно вращающегося дебаланса и расстояния между осями вращения первой и второй пар дебалансов равны друг другу $2l_1 = 2l_2 = 2l$, то зависимость возбуждаемого вибровозбудителем момента будет иметь вид

$$M_{\Sigma} = 2l m r \omega^2 \cos \delta + 2l m r \omega^2 \cos 2\delta. \quad (5)$$

Зависимость возбуждаемого вибровозбудителем момента в безразмерном выражении

может быть представлена в виде

$$m(\delta) = \frac{M_{\Sigma}}{2lmr\omega^2} = \cos \delta + \cos 2\delta. \quad (6)$$

5 Как видно, правые части уравнений (3) и (6) имеют одинаковый вид. Следовательно, колебания силы и момента подчиняются одному закону. Заметим, что зависимости результирующих силы и момента, описываемые соответственно уравнениями (3) и (6), соответствуют таким установочным параметрам (массы m_1 и m_2 , эксцентриситеты r_1 и r_2 , расстояния между осями вращения одноименных дебалансов $2l_1$ и $2l_2$)

10 вибровозбудителя, при которых отношение максимальных значений силовых факторов, возбуждаемых силами инерции медленно и быстро вращающихся дебалансов, равно

единице, то есть при $\frac{2m_1r_1\omega^2}{8m_2r_2\omega^2} = 1$ и $\frac{2l_1m_1r_1\omega^2}{8l_2m_2r_2\omega^2} = 1$. При этом за начальное положение

15 дебалансов принято положение, в котором силы инерции одноименных дебалансов создают максимальные по величине силовые факторы (силы или моменты) одинакового направления. Легко убедиться, что при одинаковых соотношениях максимальных значений силовых факторов, возбуждаемых силами инерции медленно и быстро вращающихся дебалансов, и при одинаковых условиях начальной фазировки

20 дебалансов, законы колебаний силы и момента в безразмерном выражении будут иметь как одинаковый характер, так и одинаковые параметры колебаний.

Следовательно, четырехдебалансный вибровозбудитель в зависимости от условий фазировки одноименных дебалансов и направлений их вращения относительно друг друга (в одну сторону или в противоположные) может возбуждать колебания либо

25 силы, либо момента, подчиняющиеся негармоническому закону. Причем законы имеют одинаковые характеристики (симметричный, несимметричный закон, степень несимметрии закона колебаний) при одинаковых соотношениях максимального значения силового фактора (силы или момента), возбуждаемого силами инерции

30 медленно вращающихся дебалансов к максимальному значению силового фактора, возбуждаемого силами инерции быстро вращающихся дебалансов, и при одинаковых условиях начальной фазировки дебалансов.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату является способ возбуждения механических колебаний силовых факторов с прогнозируемыми параметрами [3] центробежным вибровозбудителем, содержащим четыре дебаланса,

35 вращающихся вокруг параллельных осей. Оси вращения дебалансов расположены на общем основании. Дебалансы вращаются равномерно и попарно имеют одинаковые по величине угловые скорости. При этом величина угловой скорости первой пары дебалансов меньше величины угловой скорости второй пары дебалансов. Первая пара дебалансов вращается с угловой скоростью $\omega_1 = \omega$, а вторая с угловой скоростью $\omega_2 = n\omega$,

40 где n - передаточное отношение передачи, синхронизирующей и согласовывающей по фазе вращение дебалансов, равное отношению угловой скорости быстро вращающихся

дебалансов к угловой скорости медленно вращающихся $n_{2-1} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = n$. Дебалансы,

45 вращающиеся с равными по величине угловыми скоростями, имеют одинаковые массы m и эксцентриситеты r относительно оси вращения. Оси вращения одноименных дебалансов, вращающихся с одинаковыми по величине угловыми скоростями, расположены симметрично относительно прямой, перпендикулярной их межосевому расстоянию. При этом оси вращения первой пары дебалансов и оси вращения второй

пары дебалансов расположены симметрично относительно одной и той же прямой.

На рисунке (фиг. 6) представлен вибровозбудитель, содержащий четыре дебаланса, предназначенный для возбуждения негармонических колебаний силы при условии: центробежные силы инерции первой и второй пар дебалансов в начальном положении развивают максимальные по величине силы одинакового направления.

Зависимость возбуждаемой таким вибровозбудителем силы имеет вид

$$P_{\Sigma} = 2m_1r_1\omega_1^2 \cos \delta_1 + 2m_2r_2\omega_2^2 \cos \delta_2 = 2m_1r_1\omega^2 \cos \delta + 2m_2r_2n^2\omega^2 \cos n\delta . \quad (7)$$

Зависимость возбуждаемой силы в безразмерном выражении может быть представлена в виде

$$p(\delta) = \frac{P_{\Sigma}}{2m_2r_2n^2\omega^2} = a \cos \delta + \cos n\delta , \quad (8)$$

где $a = \frac{m_1r_1\omega^2}{m_2r_2n^2\omega^2}$ - коэффициент, равный отношению максимального значения силы,

создаваемой силами инерции медленно вращающихся дебалансов, к максимальному значению силы, создаваемой силами инерции быстро вращающихся дебалансов.

На рисунке (фиг. 7) представлен вибровозбудитель, содержащий четыре дебаланса, предназначенный для возбуждения негармонических колебаний момента при условии: центробежные силы инерции первой и второй пар дебалансов в начальном положении развивают максимальные по величине моменты одинакового направления.

Зависимость возбуждаемого этим вибровозбудителем момента имеет вид

$$M_{\Sigma} = 2m_1r_1l_1\omega_1^2 \cos \delta_1 + 2m_2r_2l_2\omega_2^2 \cos \delta_2 = 2m_1r_1l_1\omega^2 \cos \delta + 2m_2r_2l_2n^2\omega^2 \cos n\delta . \quad (9)$$

Зависимость возбуждаемого момента в безразмерном выражении может быть представлена в виде

$$m(\delta) = \frac{M_{\Sigma}}{2m_2r_2l_2n^2\omega^2} = b \cos \delta + \cos n\delta , \quad (10)$$

где $b = \frac{m_1r_1l_1\omega^2}{m_2r_2l_2n^2\omega^2}$ - коэффициент, равный отношению максимального значения

момента, создаваемого силами инерции медленно вращающихся дебалансов, к максимальному значению момента, создаваемого силами инерции быстро вращающихся дебалансов.

Как видно правые части уравнений (8) и (10) полностью совпадают при равенстве коэффициентов $a=b$. Следовательно, законы колебаний силы и момента, возбуждаемые четырехдебалансным вибровозбудителем, имеют одинаковые характеристики при одинаковом соотношении максимальных значений силовых факторов, создаваемых силами инерции медленно и быстро вращающихся дебалансов.

Такой четырехдебалансный вибровозбудитель в зависимости от начальной фазировки дебалансов и величины передаточного отношения передачи, синхронизирующей и согласовывающей по фазе вращение дебалансов, может создавать колебания силовых факторов (силы или момента), подчиняющихся либо несимметричному, либо симметричному закону. Вибровозбудитель возбуждает несимметричные колебания силовых факторов (силы или момента) в том случае, если одновременно выполняются следующие условия. В начальном положении центробежные силы инерции медленно и быстро вращающихся дебалансов создают максимальные силовые факторы. Сумма

полных чисел оборотов дебалансов первой и второй пар при их одновременном возвращении в начальное положение, то есть за кинематический цикл механизма вибровозбудителя, является нечетным числом. Очевидно, что второе условие выполняется при определенных значениях передаточного отношения передачи, синхронизирующей и согласовывающей по фазе вращения дебалансов. Второе условие выполняется, если передаточное отношение n передачи, синхронизирующей и согласовывающей по фазе вращения дебалансов, является дробным числом, состоящим из целой части, являющейся четным числом, и дробной части, равной четырем десятым. То есть передаточное отношение n является дробным числом вида $n=i+0,4$, где i - четное число. Такое дробное число можно охарактеризовать следующим образом: дробное число, при умножении которого на пять получаем четное число - $5n=5i+2$. При таком значении передаточного отношения передачи, синхронизирующей и согласовывающей по фазе вращения дебалансов, в четырехдебалансном центробежном вибровозбудителе в течение кинематического цикла механизма вибровозбудителя медленно вращающиеся дебалансы делают пять оборотов, а число полных оборотов быстро вращающихся дебалансов равно четному числу, равному пятикратному значению передаточного отношения n . Следовательно, при таких значениях передаточного отношения n сумма полных чисел оборотов дебалансов при их одновременном возвращении в начальное положение является нечетным числом. Вибровозбудитель возбуждает симметричные колебания силовых факторов при выполнении одного из следующих условий. В начальном положении центробежные силы инерции медленно и быстро вращающихся дебалансов создают силовые факторы, равные нулю. Сумма полных чисел оборотов дебалансов первой и второй пар за кинематический цикл является четным числом. Заметим, что в таком начальном положении дебалансов центробежные силы инерции одноименных дебалансов направлены вдоль прямой, соединяющей оси их вращения, в противоположные стороны и уравновешивают друг друга.

Реализация этого способа возбуждения механических колебаний силовых факторов с прогнозируемыми параметрами в приводах вибрационного технологического и транспортного оборудования для переработки зерна и других сыпучих материалов позволяет сообщать рабочим органам машин колебания с различными параметрами закона движения. То есть создать привод, позволяющий обеспечивать параметры закона колебаний рабочего органа в соответствии с осуществляемым в оборудовании процессом. Однако такой привод имеет один существенный недостаток: ограниченная область варьирования параметров закона колебаний силовых факторов.

Так, для изменения на противоположное направления силового фактора с наибольшим по модулю значением, то есть для изменения направления несимметрии закона колебаний силового фактора, должно быть изменено положение вибровозбудителя. Вибровозбудитель должен быть повернут относительно первоначального положения на 180° . При необходимости такого изменения положения вибровозбудителя следует сначала демонтировать вибровозбудитель, а затем осуществить его монтаж и настройку в новом положении. При этом такая перестановка вибровозбудителя должна быть предусмотрена конструкцией машины.

Следовательно, использование известных способов сообщения рабочим органам машин движения по законам, параметры которых соответствуют виду осуществляемого в оборудовании процесса, сопровождается усложнением конструкции привода, а также созданием различных конструкций приводных механизмов.

Реализация предлагаемого способа регулирования параметров законов колебаний силовых факторов в конструкциях оборудования для переработки зерна и других

сыпучих материалов позволит создать унифицированный привод, в котором изменением начального положения медленно-вращающихся дебалансов обеспечивается изменение на противоположное направление силового фактора с наибольшим по модулю значением.

5 Известно, что причиной направленного в среднем движения частиц сыпучего тела по горизонтальной однородно-шероховатой поверхности, совершающей горизонтальные колебания, является несимметрия закона колебаний поверхности, выражающаяся в том, что наибольшее значение ускорения опорной поверхности в одном из направлений отличается по абсолютной величине от наибольшего значения ускорения в противоположном направлении. Величина средней скорости 10 транспортирования частиц сыпучего тела относительно колеблющейся поверхности при прочих одинаковых условиях (частота колебаний опорной поверхности, коэффициенты сопротивления сдвигу частиц относительно поверхности) зависит от того, насколько наибольшее положительное значение ускорения поверхности отличается по модулю от наибольшего отрицательного ускорения. Направление средней скорости 15 транспортирования зависит от того, модуль какого из двух наибольших значений ускорения плоскости больше - положительного или отрицательного.

Средняя скорость виброперемещения является основным параметром, определяющим производительность транспортного оборудования, а в сепарирующем оборудовании 20 - производительность и эффективность осуществляемого в этом оборудовании процесса. Средняя скорость виброперемещения влияет на эффективность процесса сепарирования через толщину слоя сыпучего материала и время его пребывания на рабочем органе. При неизменной длине рабочей поверхности (например, длина сита) увеличение средней скорости сыпучего тела уменьшает время протекания процесса сепарирования и толщину 25 слоя. Уменьшение времени процесса сепарирования снижает его эффективность. Уменьшение толщины сыпучего тела до определенного предела, как правило, повышает эффективность процесса сепарирования. Дальнейшее уменьшение толщины слоя ниже определенного значения приводит к снижению эффективности процесса.

Следовательно, в транспортном оборудовании, для увеличения его 30 производительности, транспортирующему рабочему органу необходимо сообщать несимметричный закон колебаний с наибольшим различием по величине значений максимальных положительного и отрицательного ускорения.

В процессах сепарирования действие вибраций на сыпучее тело проявляется в разрыхлении и самосортировании этого тела с одной стороны, и в подаче, 35 обеспечивающей непрерывность процесса - с другой. Иногда эффективность процесса сепарирования определяется преимущественно самосортированием. Примерами таких процессов могут служить: очистка зерна от равновеликой минеральной примеси в камнеотделительных машинах; процесс ситового сепарирования, в котором проходowego компонента немного, а толщина сыпучего тела во много раз превышает размеры 40 частиц, при этом через сито просеиваются лишь частицы, находящиеся в нижнем слое, в который они попадают вследствие самосортирования. Если концентрация проходowego компонента в исходной смеси велика, как, например, при очистке зерна от крупных примесей в сепараторе или при ситовом сепарировании зерносмеси с большой концентрацией мелкой фракции, то самосортирование не оказывает большого влияния 45 на результаты процесса в целом и решающее значение приобретает просеивание.

Согласно вышеизложенному в сепарирующих машинах параметры закона колебаний рабочего органа должны соответствовать виду осуществляемого в машине процесса. В случае необходимости закон колебаний рабочего органа должен обеспечивать

эффективное самосортирование зерносмеси. Эффективность самосортирования находится в прямой зависимости от продолжительности воздействия вибраций на сыпучее тело. При осуществлении процесса сепарирования, эффективность которого определяется эффективностью процесса просеивания, закон колебаний рабочего органа должен обеспечивать оптимальную для просеивания скорость частиц сыпучего тела относительно ситовой поверхности. Направление несимметрии закона колебаний в сочетании с наклоном рабочей поверхности к горизонтали и сообщением поверхности наклонных колебаний открывает широкие возможности варьирования скорости виброперемещения.

Следует заметить, что предлагаемый способ позволяет менять на противоположное направление наибольшего по абсолютной величине силового фактора, возбуждаемого вибровозбудителем. Это означает, что настройка вибровозбудителя позволяет менять на противоположное направление транспортирования обрабатываемого материала по вибрирующей рабочей поверхности. Этот эффект регулировки параметров законов колебаний силовых факторов может быть использован в приводах транспортного оборудования, оборудования для осуществления процессов сепарирования, дозирования и смешивания сыпучих материалов.

Задача изобретения - совершенствование оборудования для транспортирования и сепарирования зерновых смесей путем сообщения рабочим органам машин движения по законам, параметры которых соответствуют осуществляемому в оборудовании процессу.

Поставленная задача решается предлагаемым способом возбуждения механических колебаний силовых факторов (силы или момента) по несимметричному закону центробежным вибровозбудителем, состоящим из четырех дебалансов, оси вращения которых расположены на общем основании, попарно имеющих одинаковые дисбалансы и имеют начальное положение, в котором их центробежные силы инерции создают максимальные по величине силовые факторы, и вращающихся с одинаковыми по величине угловыми скоростями, что обеспечивается передачей, синхронизирующей и согласовывающей по фазе вращение дебалансов с передаточным отношением, равным отношению угловой скорости быстровращающихся дебалансов к угловой скорости медленно вращающихся, согласно изобретению, для получения силового фактора с наибольшим абсолютным значением, направленным против направления силового фактора, создаваемого быстровращающимися дебалансами, изменяют начальное положение медленно вращающихся дебалансов путем их поворота в любом направлении на угол, равный произведению, частного от деления 180° на величину передаточного отношения передачи, синхронизирующей и согласовывающей по фазе вращение дебалансов, на число из интервала значений от ноль целых две десятых до удвоенного значения передаточного отношения минус ноль целых две десятых с шагом равным ноль целых четыре десятых при условии, что передаточное отношение является дробным числом, целая часть которого является четным числом, а дробная часть равна ноль целых четыре десятых.

Техническим результатом является варьирование величины и направления скорости транспортирования и повышение технологической эффективности процессов сепарирования зерновых смесей.

Для сообщения рабочим органам машин колебаний с параметрами, соответствующими осуществляемому процессу, применим центробежный вибровозбудитель с четырьмя дебалансами.

Дисбалансы, то есть произведения неуравновешенной массы m на ее эксцентриситет

г относительно оси вращения, двух дебалансов одной пары должны быть равны друг другу. Эти дебалансы должны иметь одинаковые по величине частоты вращения ω . Дисбалансы второй пары дебалансов также должны быть равны друг другу и могут отличаться по величине от дисбалансов первой пары дебалансов. Дебалансы второй пары должны иметь одинаковые по величине частоты вращения, но отличающиеся от частоты вращения первой пары дебалансов. Сохраним ранее принятую нумерацию дебалансов. Будем считать первой парой дебалансов дебалансы, вращающиеся с частотой $\omega_1 = \omega$, а второй парой - с частотой $\omega_2 = n\omega$, n - дробное число вида $i+0,4$, где i - четное число. Очевидно, что $n > 1$, то есть вторая пара дебалансов вращается с большей частотой. Вращение дебалансов должно быть соответствующим образом синхронизировано и согласовано по фазе. Добиться этого можно посредством либо зубчатой (шестеренной) передачи, либо зубчатой ременной передачи, то есть передачи, исключающей проскальзывание ведущего и ведомого звеньев. Заметим, что отношение

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = n$$

является передаточным отношением передачи, синхронизирующей и согласовывающей по фазе вращение первой и второй пар дебалансов.

Такой вибровозбудитель позволяет получать различные законы колебаний силовых факторов (силы или момента). Эти силовые факторы, в зависимости от конструктивного исполнения (расположения) вибровозбудителя, либо передаются непосредственно на рабочий орган машины, либо на выходное звено исполнительного механизма, связанное с рабочим органом.

Как отмечено выше, несимметрия закона колебаний силовых факторов означает - наибольшее положительное значение силового фактора не равно абсолютному значению его наибольшего отрицательного значения. Для определенности дальнейших рассуждений введем понятие направления несимметрии закона колебаний возбуждаемого силового фактора. Несимметрия закона колебаний считается положительной, если наибольшее положительное значение силового фактора больше абсолютной величины наибольшего отрицательного значения силового фактора. Несимметрия закона колебаний отрицательная, если абсолютная величина наибольшего отрицательного значения силового фактора больше наибольшего положительного значения силового фактора. Будем рассматривать такую начальную фазировку дебалансов, при которой вибровозбудитель возбуждает колебания силового фактора по несимметричному закону и передаточное отношение передачи, синхронизирующей и согласовывающей по фазе вращение дебалансов, является дробным числом вида $n = i + 0,4$, где i - четное число. Как отмечено выше при такой фазировке дебалансов силы инерции медленно и быстровращающихся дебалансов в начальном положении должны создавать максимальные по величине силовые факторы. Очевидно, что в таком начальном положении силы инерции медленно и быстровращающиеся дебалансов могут создавать силовые факторы одинакового или противоположного направления. Для определенности дальнейших рассуждений будем считать, что в начальном положении силы инерции медленно и быстровращающихся дебалансов создают максимальные по величине силовые факторы одинакового направления. Примем это направление за положительное.

Следует заметить, что, как отмечено выше, такой вибровозбудитель, содержащий четыре дебаланса, в зависимости от условий фазировки дебалансов может возбуждать либо колебания силы, либо колебания момента. При этом характеристики законов колебаний в безразмерном выражении совпадают при одинаковых значениях

передаточного отношения $\frac{\omega_2}{\omega_1} = n$, при одинаковых условиях начальной фазировки

дебалансов и при одинаковых соотношениях максимального значения силового фактора, создаваемого силами инерции медленновращающихся дебалансов к максимальному значению силового фактора, создаваемого силами инерции быстро вращающихся дебалансов. Выполнение последнего условия означает, что в уравнениях (8) и (10) коэффициенты a и b равны друг другу, то есть $a=b$. Поэтому в дальнейших рассуждениях зависимость возбуждаемого силового фактора будем обозначать в общем виде как $f(\delta)$. Очевидно, что выводы, полученные при исследовании рассматриваемых зависимостей, характеризуют параметры законов колебаний, как силы, так и момента.

Как отмечено выше, зависимость силового фактора несимметрична, если в начальном положении медленно и быстро вращающиеся дебалансы создают максимальные по величине силовые факторы одинакового направления и если передаточное отношение передачи, синхронизирующей и согласовывающей по фазе вращения дебалансов, является дробным числом вида $n=i+0,4$, где i - четное число. При этом зависимость силового фактора в общем случае описывается уравнением $f(\delta)=\alpha \cos \delta + \cos n\delta$, а наибольший по абсолютной величине силовой фактор имеет положительное направление, совпадающее с направлением силовых факторов, создаваемых силами инерции медленно и быстро вращающихся дебалансов в начальном положении.

Оценим влияние начальной фазировки медленно вращающихся дебалансов на направление максимального по абсолютной величине силового фактора, возбуждаемого вибровозбудителем. Очевидно, что для оценки влияния начальной фазировки медленно вращающихся дебалансов необходимо сохранять неизменными установочные параметры вибровозбудителя, оказывающие влияние на характеристики закона колебаний. К числу таких параметров относятся: начальная фазировка

быстро вращающихся дебалансов; передаточное отношение $\frac{\omega_2}{\omega_1} = n$; соотношение

максимальных силовых факторов, создаваемых силами инерции медленно и быстро вращающихся дебалансов.

Как условлено выше, исследовать влияние начальной фазировки медленно вращающихся дебалансов будем в вибровозбудителе, предназначенном для возбуждения несимметричных колебаний силовых факторов, при условии, что

передаточное отношение $\frac{\omega_2}{\omega_1} = n$ является дробным числом вида $n=i+0,4$, где i - четное

число. В этом случае исходным начальным положением дебалансов является такое их положение, при котором силы инерции быстро и медленно вращающихся дебалансов создают силовые факторы, максимальные по величине одинакового направления (фиг. 6) и (фиг. 7). Следовательно, неизменным начальным положением быстро вращающихся дебалансов является положение, в котором их центробежные силы инерции создают максимальный по величине силовой фактор в положительном направлении.

Изменим условия начальной фазировки медленно вращающихся дебалансов путем их поворота из исходного начального положения на некоторый произвольный угол γ . На рисунке (фиг. 8) представлено новое начальное положение дебалансов в вибровозбудителе, предназначенном для возбуждения колебаний силы. Новое начальное положение дебалансов отличается от исходного начального положения тем, что медленно вращающиеся дебалансы повернуты относительно исходного положения на

произвольный угол γ в направлении их вращения.

Тогда зависимость возбуждаемого силового фактора в безразмерном выражении при новом начальном положении дебалансов может быть представлена в виде

$$f(\delta) = \cos n\delta + a \cos(\delta + \gamma), \quad (11)$$

где γ - угол отстройки медленновращающихся дебалансов от начального положения, в котором их силы инерции создают максимальный по величине силовой фактор.

Определим значения угла γ , при которых такое изменение начального положения медленновращающихся дебалансов сопровождается изменением на противоположное направление наибольшего по абсолютной величине силового фактора, возбуждаемого вибровозбудителем.

Следует отметить, что, если передаточное отношение n является дробным числом вида $n=i+0,4$, где i - четное число, то кинематический цикл механизма вибровозбудителя, то есть время, по истечении которого дебалансы возвращаются в начальное положение, соответствует пяти оборотам медленновращающихся дебалансов. При этом число оборотов быстро вращающихся дебалансов равно пятикратному значению передаточного отношения.

При определении значений угла γ следует иметь в виду, что угол γ может принимать значения в пределах от 0° до 360° , так как периодическая функция $\cos \delta$ имеет период равный 360° .

Направление наибольшего по абсолютной величине силового фактора изменится на противоположное, то есть с положительного направления на отрицательное, если при новой начальной фазировке дебалансов они смогут занять положение, в котором силы инерции быстро и медленно вращающихся дебалансов одновременно создадут максимальные силовые факторы в отрицательном направлении.

Если быстро и медленно вращающиеся дебалансы занимают положение, в котором их центробежные силы инерции одновременно создают максимальные силовые факторы в отрицательном направлении, то имеет решение следующая система уравнений

$$\begin{cases} \cos n\delta = -1 \\ \cos(\delta + \gamma) = -1 \end{cases} \quad (12)$$

Решением первого уравнения системы являются следующие значения угла поворота быстро вращающихся дебалансов из начального положения

$$n\delta = 180^\circ + 360^\circ \cdot k, \quad (13)$$

где $k=0, 1, \dots, 5n-1$;

n - передаточное отношение передачи, синхронизирующей и согласовывающей по фазе вращения дебалансов.

При этом медленно вращающиеся дебалансы будут занимать положения, соответствующие следующим значениям угла δ их поворота из исходного начального положения, то есть положения, в котором их силы инерции создают максимальный силовой фактор положительного направления

$$\delta = \frac{180^\circ + 360^\circ \cdot k}{n} = \frac{180^\circ}{n}(1 + 2k). \quad (14)$$

Как отмечено выше, угол γ может принимать значения в пределах от 0° до 360° и медленно вращающиеся дебалансы в течение кинематического цикла механизма вибровозбудителя делают пять оборотов. Поэтому, второе уравнение системы (12)

имеет следующие корни:

$$\delta + \gamma = 180^{\circ}, \quad (15)$$

$$5 \quad \delta + \gamma = 540^{\circ}, \quad (16)$$

$$\delta + \gamma = 900^{\circ}, \quad (17)$$

$$\delta + \gamma = 1260^{\circ}, \quad (18)$$

$$10 \quad \delta + \gamma = 1620^{\circ} \quad (19)$$

и

$$\delta + \gamma = 1980^{\circ}. \quad (20)$$

Определим угол γ для случая, когда $\delta + \gamma = 180^{\circ}$. Из уравнения (15) следует, что

$$15 \quad \gamma = 180^{\circ} - \delta. \quad (21)$$

Подставим в уравнение (21) значение угла δ из уравнения (14) и после преобразований получим

$$20 \quad \gamma = \frac{180^{\circ}}{n}(n-1-2k). \quad (22)$$

Из уравнения (22) следует, что угол γ получен в результате умножения двух сомножителей. Первый сомножитель представляет собой частное от деления 180° на величину передаточного отношения n передачи, синхронизирующей и согласовывающей по фазе вращения дебалансов. Этот сомножитель является величиной постоянной, так как зависит только от величины передаточного отношения n передачи, используемой в вибровозбудителе для синхронизации и согласования по фазе вращения дебалансов. Второй сомножитель, выражение в круглых скобках правой части уравнения (22), является переменной величиной вследствие переменности коэффициента k . Коэффициент k входит в формулу (13) для определения углов поворота быстровращающихся дебалансов в положения, в которых их силы инерции создают максимальный по величине силовой фактор в отрицательном направлении. Как отмечено выше, коэффициент k может принимать значения в пределах от нуля до $5n-1$, так как число оборотов быстровращающихся дебалансов за кинематический цикл механизма вибровозбудителя равно пятикратному значению передаточного отношения n .

35 Определим максимальное и минимальное значения коэффициента k , имея ввиду, что значения угла γ отстройки медленновращающихся дебалансов от исходного начального положения находятся в интервале $0^{\circ} < \gamma < 360^{\circ}$ и, что максимальное значение коэффициента k равно $5n-1$.

40 Очевидно, что в соответствии с условиями задачи угол γ должен, во-первых, принимать положительные значения, во-вторых, должен быть меньше 360° . Следовательно, должно выполняться условие - выражение, стоящее в круглых скобках уравнения (22), должно быть больше нуля и меньше удвоенного значения передаточного отношения, то есть должно выполняться неравенство

$$45 \quad 2n > n-1-2k > 0. \quad (23)$$

Сначала рассмотрим выполнение условия

$$n-1-2k > 0. \quad (24)$$

Используя принятое обозначение передаточного отношения $n=i+0,4$ передачи, синхронизирующей и согласовывающей по фазе вращение дебалансов вибровозбудителя, после преобразований неравенство (24) перепишем в виде

$$i + 0,4 > 1 + 2k. \quad (25)$$

Правая часть последнего неравенства в общем случае представляет собой ряд нечетных чисел. Так как целая часть i дробного числа n является четным числом, то максимальное значение коэффициента k определяем из уравнения

$$i - 1 = 1 + 2k_{\max}. \quad (26)$$

Тогда

$$k_{\max} = \frac{i}{2} - 1. \quad (27)$$

Выразим максимальное значение коэффициента k через величину передаточного отношения n передачи, синхронизирующей и согласовывающей по фазе вращение дебалансов. Согласно принятому обозначению передаточного отношения целая часть i дробного числа n равна $i=n-0,4$. Подставим это значение i в формулу (27). После преобразований получим

$$k_{\max} = \frac{n}{2} - 1,2. \quad (28)$$

Заметим, что в рассматриваемом случае ($\delta+\gamma=180^\circ$) полученное таким образом максимальное значение коэффициента k не превышает его максимально допустимого значения, равного $5n-1$. То есть, в рассматриваемом случае, которое отвечает условию $\delta+\gamma=180^\circ$, коэффициент k может принимать значения меньше $5n-1$.

Второе условие неравенства (23)

$$2n > n - 1 - 2k \quad (29)$$

выполняется при любых значениях коэффициента k . Следовательно, минимальное значение коэффициента k равно нулю, то есть $k_{\min}=0$. Следует заметить, что в рассматриваемом случае минимальное значение коэффициента k не зависит от величины передаточного отношения n передачи, синхронизирующей и согласовывающей по фазе вращение дебалансов вибровозбудителя.

Для упрощения дальнейших рассуждений введем обозначение. Обозначим переменный множитель правой части уравнения (22)

$$c_1 = n - 1 - 2k. \quad (30)$$

Для определения минимального и максимального значений переменного множителя c_1 , подставим в уравнение (30) соответственно k_{\max} и k_{\min} . Получим

$$c_{1\min} = 1,4 \quad (31) \text{ и}$$

$$c_{1\max} = n - 1. \quad (32)$$

Как отмечено выше, коэффициент k представляет собой ряд натуральных чисел, включая ноль, а максимальное значение коэффициента k равно $5n-1$. Следовательно, определяя минимальное и максимальное значения коэффициента k для заданного значения передаточного отношения n , определяем сколько и какие значения имеет коэффициент k , а также сколько и какие значения имеет переменный множитель c_1

в рассматриваемом случае. Например, в данном случае, если передаточное отношение n передачи, синхронизирующей и согласовывающей по фазе вращения дебалансов равно $n=2,4$, то $k_{\max}=k_{\min}=0$ и $c_{1\max}=c_{1\min}=1,4$. Если передаточное отношение равно $n=4,4$, то $k_{\max}=1$. Следовательно, коэффициент k принимает следующие значения: 0 и 1.

Переменный множитель c_1 принимает следующие значения: 3,4 и 1,4.

Аналогично определяем значения угла γ отстройки медленновращающихся дебалансов от исходного начального положения для остальных значений корней второго уравнения системы уравнений (12).

Не будем останавливаться на подробном описании данного решения. Отметим лишь отдельные моменты необходимые для пояснений производимых действий при решении поставленной задачи.

Определим какие значения принимает угол γ при условии, что корень второго уравнения системы (12) представлен уравнением (16). Из уравнения (16) следует, что

$$\gamma = 540^\circ - \delta. \quad (33)$$

Подставим значение угла δ из уравнения (14) в уравнение (33) и после преобразований получаем

$$\gamma = \frac{180^\circ}{n}(3n - 1 - 2k). \quad (34)$$

Должны выполняться два условия представленные следующим неравенством

$$2n > 3n - 1 - 2k > 0. \quad (35)$$

Рассмотрим выполнение первого условия

$$3n - 1 - 2k > 0. \quad (36)$$

После соответствующей подстановки и преобразований, получаем

$$3i + 1,2 > 1 + 2k. \quad (37)$$

Максимальное значение коэффициента k определяем из условия

$$3i + 1 = 1 + 2k_{\max}. \quad (38)$$

Тогда

$$k_{\max} = \frac{3i}{2}. \quad (39)$$

Выразим максимальную величину коэффициента k через передаточное отношение n . Получаем

$$k_{\max} = \frac{3n}{2} - 0,6. \quad (40)$$

Рассмотрим выполнение второго условия неравенства (35), а именно условия

$$3n - 1 - 2k < 2n. \quad (41)$$

После подстановки $n=i+0,4$ и преобразований получим

$$i + 0,4 < 1 + 2k. \quad (42)$$

Правая часть неравенства (42) представляет собой ряд нечетных чисел. Целая часть i дробного числа n является четным числом. Следовательно, минимальное значение

коэффициента k определяем из условия

$$i + 1 = 1 + 2k_{\min}. \quad (43)$$

После преобразований получаем

$$k_{\min} = \frac{i}{2} = \frac{n}{2} - 0,2. \quad (44)$$

Обозначим переменный сомножитель уравнения (34)

$$c_2 = 3n - 1 - 2k. \quad (45)$$

Минимальное и максимальное значения переменного сомножителя соответственно равны

$$c_{2\min} = 0,2 \quad (46)$$

и

$$c_{2\max} = 2n - 0,6. \quad (47)$$

Заметим, что в рассмотренном случае, который отвечает условию $\delta + \gamma = 540^\circ$, при передаточном отношении n передачи, синхронизирующей и согласовывающей по фазе вращение дебалансов, равном $n=2,4$, максимальное и минимальное значения коэффициента k соответственно равны $k_{\max}=3$, $k_{\min}=1$, а максимальное и минимальное значения переменного сомножителя c_2 соответственно равны $c_{2\max}=4,2$, $c_{2\min}=0,2$.

Следовательно, в этом случае коэффициент k принимает следующие значения: 3; 2 и 1. При этом, переменный сомножитель c_2 принимает следующие значения: 0,2; 2,2 и 4,2.

Если передаточное отношение $n=4,4$, то минимальное и максимальное значения коэффициента k соответственно равны $k_{\min}=2$ и $k_{\max}=6$. Следовательно, в этом случае коэффициент k принимает следующие значения: 2; 3; 4; 5; и 6. При этом, переменный сомножитель c_2 принимает следующие значения: 0,2; 2,2; 4,2; 6,2; и 8,2.

Определим значения угла γ для случая, когда корень второго уравнения системы (12) представлен уравнением (17). Из уравнения (17) следует, что

$$\gamma = 900^\circ - \delta. \quad (48)$$

Подставим значение угла δ из уравнения (14) в уравнение (48) и после преобразований получаем

$$\gamma = \frac{180^\circ}{n}(5n - 1 - 2k). \quad (49)$$

Должны выполняться два условия представленные следующим неравенством

$$2n > 5n - 1 - 2k > 0. \quad (50)$$

Рассмотрим выполнение первого условия, а именно, условия

$$5n - 1 - 2k > 0. \quad (51)$$

После соответствующей подстановки и преобразований получаем

$$5i + 2 > 1 + 2k. \quad (52)$$

Максимальное значение коэффициента k определяем из условия

$$5i + 1 = 1 + 2k_{\max}. \quad (53)$$

Из уравнения (53) следует

$$k_{\max} = \frac{5i}{2} = \frac{5n}{2} - 1. \quad (54)$$

5 Определим при каких значениях коэффициента k выполняется второе условие неравенства (50), а именно, условие

$$2n > 5n - 1 - 2k. \quad (55)$$

После соответствующей подстановки и преобразований получаем

$$10 \quad 3i + 1,2 < 1 + 2k. \quad (56)$$

Правая часть последнего неравенства представляет собой нечетное число. Произведение $3i$ является четным числом, так как целая часть i дробного числа n является четным числом. Следовательно, минимальное значение коэффициента k , при котором выполняется неравенство (56) определяем из условия

$$15 \quad 3i + 3 = 1 + 2k_{\min}. \quad (57)$$

Из уравнения (57) получаем

$$20 \quad k_{\min} = \frac{3i + 2}{2} = \frac{3n}{2} + 0,4. \quad (58)$$

Переменный сомножитель уравнения (49) обозначим

$$c_3 = 5n - 1 - 2k. \quad (59)$$

В рассматриваемом случае минимальное и максимальное значения переменного сомножителя c_3 равны

$$25 \quad c_{3\min} = 1 \quad (60)$$

и

$$c_{3\max} = 2n - 1,8. \quad (61)$$

30 Определим, в качестве примера, сколько и какие значения принимают коэффициент k и переменный сомножитель c_3 в рассматриваемом случае при двух различных значениях передаточного отношения n передачи, синхронизирующей и согласовывающей по фазе вращение дебалансов. При $n=2,4$ минимальное и максимальное значения коэффициента k и переменного сомножителя c_3 соответственно равны: $k_{\min}=4$, $k_{\max}=5$ и $c_{3\min}=1$, $c_{3\max}=3$ Следовательно, в этом случае коэффициент k принимает следующие значения: 4 и 5, а переменный сомножитель c_3 - следующие значения 1 и 3. При $n=4,4$ минимальное и максимальное значения коэффициента k соответственно равны $k_{\min}=7$ и $k_{\max}=10$. Следовательно, в этом случае коэффициент k принимает следующие значения: 7; 8; 9 и 10. При этом, переменный сомножитель c_3 принимает следующие значения: 7; 5; 3 и 1.

В случае, когда корень второго уравнения системы уравнений (12) может быть определен из уравнения (18), угол γ определяем по формуле

$$45 \quad \gamma = \frac{180^0}{n}(7n - 1 - 2k). \quad (62)$$

Должны выполняться два условия, которые могут быть представлены следующим неравенством

$$2n > 7n - 1 - 2k > 0. \quad (63)$$

Определим при каких значениях коэффициента k выполняется условие

$$7n - 1 - 2k > 0. \quad (64)$$

После соответствующей подстановки и преобразований получаем

$$7i + 2,8 > 1 + 2k. \quad (65)$$

Следовательно, максимальное значение коэффициента k определяем из условия

$$7i + 1 = 1 + 2k_{\max}. \quad (66)$$

Из уравнения (66) имеем

$$k_{\max} = \frac{7i}{2} = \frac{7n}{2} - 1,4. \quad (67)$$

Определим при каких значениях коэффициента k выполняется условие

$$2n > 7n - 1 - 2k. \quad (68)$$

После преобразований и соответствующей подстановки имеем

$$5i + 2 < 1 + 2k. \quad (69)$$

Минимальное значение коэффициента k определяем из условия

$$5i + 3 = 1 + 2k_{\min}. \quad (70)$$

Из уравнения (70) имеем

$$k_{\min} \frac{5i + 2}{2} = \frac{5n}{2}. \quad (71)$$

Обозначим переменный сомножитель уравнения (62)

$$c_4 = 7n - 1 - 2k. \quad (72)$$

Для определения минимального и максимального значений переменного сомножителя c_4 подставим в уравнение (72) значения k_{\max} и k_{\min} соответственно из уравнений (67) и (71)

$$c_{4\min} = 1,8 \quad (73)$$

и

$$c_{4\max} = 2n - 1. \quad (74)$$

Определим значение угла γ для пятого значения корня второго уравнения системы уравнений (12). Из уравнения (19) следует, что

$$\gamma = 1620^\circ - \delta. \quad (75)$$

После подстановки уравнения (14) в уравнение (75) и преобразований получаем

$$\gamma = \frac{180^\circ}{n}(9n - 1 - 2k). \quad (76)$$

Так как $0^\circ < \gamma < 360^\circ$, то должно выполняться неравенство

$$2n > 9n - 1 - 2k > 0. \quad (77)$$

Определим какие значения может принимать коэффициент k при выполнении условия

$$9n - 1 - 2k > 0. \quad (78)$$

Запишем неравенство (78) в виде

$$5 \quad 9i + 3,6 > 1 + 2k. \quad (79)$$

Максимальное значение коэффициента k определяем из условия

$$9i + 3 = 1 + 2k_{\max}. \quad (80)$$

Тогда

$$10 \quad k_{\max} = \frac{9i + 2}{2} = \frac{9n}{2} - 0,8. \quad (81)$$

Определим какие значения может принимать коэффициент k при выполнении второго условия неравенства (77), а именно, условия

$$15 \quad 9n - 1 - 2k < 2n. \quad (82)$$

После преобразований получаем

$$7i + 2,8 < 1 + 2k. \quad (83)$$

Минимальное значение коэффициента k определяем из условия

$$20 \quad 7i + 3 = 1 + 2k_{\min}. \quad (84)$$

Тогда

$$25 \quad k_{\min} = \frac{7i + 2}{2} = \frac{7n}{2} - 0,4. \quad (85)$$

Обозначим переменный сомножитель уравнения (76)

$$c_5 = 9n - 1 - 2k. \quad (86)$$

Для определения минимального и максимального значений переменного сомножителя c_5 подставим в уравнение (86) значения k_{\max} и k_{\min} соответственно из уравнений (81) и (85)

$$c_{5\min} = 0,6. \quad (87)$$

и

$$35 \quad c_{5\max} = 2n - 0,2. \quad (88)$$

Определим значение угла γ для шестого значения корня второго уравнения системы уравнений (12). Из уравнения (20) следует, что

$$40 \quad \gamma = 1980^\circ - \delta. \quad (89)$$

После подстановки уравнения (14) в уравнение (89) и преобразований получаем

$$\gamma = \frac{180^\circ}{n}(11n - 1 - 2k). \quad (90)$$

Так как $0^\circ < \gamma < 360^\circ$, то должно выполняться неравенство

$$45 \quad 2n > 11n - 1 - 2k > 0. \quad (91)$$

Определим какие значения может принимать коэффициент k при выполнении условия

$$11n - 1 - 2k > 0. \quad (92)$$

Перепишем неравенство (92) в виде

$$11i + 4,4 > 1 + 2k. \quad (93)$$

Максимальное значение коэффициента k может быть определено из условия

$$11i + 3 = 1 + 2k_{\max}. \quad (94)$$

Тогда

$$k_{\max} = \frac{11i + 2}{2} = \frac{11n}{2} - 1,2. \quad (95)$$

Заметим, что максимальное значение коэффициента k рассчитываемое по формуле (95) превышает максимальное значение коэффициента, величина которого определена из условия продолжительности кинематического цикла механизма вибровозбудителя. Очевидно, что целесообразно принять максимальное значение коэффициента $k_{\max} = 5n - 1$, определенное из условия продолжительности кинематического цикла механизма вибровозбудителя. Использование максимального значения коэффициента k , определяемое по формуле (95) приводит к определению дублирующих друг друга значений угла γ . Это объясняется тем, что зависимость силового фактора, возбуждаемого вибровозбудителем, является периодической функцией с неограниченным количеством периодов.

Определим, какие значения может принимать коэффициент k при выполнении второго условия неравенства (91), а именно условия

$$2n > 11n - 1 - 2k. \quad (96)$$

Запишем неравенство (96) в виде

$$9i + 3,6 < 1 + 2k. \quad (97)$$

Минимальное значение коэффициента k определяем из условия

$$9i + 5 = 1 + 2k_{\min}. \quad (98)$$

Из уравнения (98) имеем

$$k_{\min} = \frac{9i + 4}{2} = \frac{9n}{2} + 0,2. \quad (99)$$

Обозначим переменный сомножитель уравнения (90)

$$c_6 = 11n - 1 - 2k. \quad (100)$$

Для определения минимального и максимального значений переменного сомножителя c_6 подставим в уравнение (100) значения $k_{\max} = 5n - 1$ и k_{\min} из уравнения (99)

$$c_{6\min} = n + 1 \quad (101)$$

и

$$c_{6\max} = 2n - 1,4. \quad (102)$$

Обобщая полученные результаты, рассматривая сколько и какие значения могут принимать коэффициент k и переменный сомножитель c в формулах для определения угла γ в каждом из рассмотренных случаев, можно сделать следующий вывод. Система уравнений (12) имеет решение в том случае, если угол γ определен, во-первых, как произведение двух сомножителей: первый сомножитель равен частному от деления

180° на величину передаточного отношения n передачи, синхронизирующей и согласовывающей по фазе вращение дебалансов; второй сомножитель последовательно принимает значения, равные числам из интервала значений от нуля целых две десятых до удвоенного значения передаточного отношения минус ноль целых две десятых с шагом равным ноль целых четыре десятых, во-вторых, при условии, что передаточное отношение n является дробным числом, целая часть которого является четным числом, а дробная часть равна ноль целых четыре десятых.

Представленные выводы соответствуют случаю, когда для получения силового фактора с наибольшим абсолютным значением, направленным против направления силового фактора, создаваемого быстровращающимися дебалансами, изменяют начальное положение медленновращающихся дебалансов путем их поворота на угол γ в направлении их вращения.

Аналогичные выводы получены для случая, когда меняют начальное положение медленновращающихся дебалансов путем их поворота в направлении, противоположном направлению вращения дебалансов, то есть при повороте медленновращающихся дебалансов на угол $-\gamma$.

В этом случае зависимость силового фактора в безразмерном выражении имеет вид

$$f(\delta) = \cos n\delta + a \cos(\delta - \gamma). \quad (103)$$

При таком изменении начального положения медленновращающихся дебалансов вибровозбудитель создает силовой фактор с наибольшим абсолютным значением, направленный против направления максимального силового фактора, создаваемого быстровращающимися дебалансами, при условии, что имеет решение система уравнений

$$\begin{cases} \cos n\delta = -1 \\ \cos(\delta - \gamma) = -1 \end{cases} \quad (104)$$

Не будем подробно останавливаться на решении системы уравнений (104), ее решение аналогично подробно рассмотренному выше решению системы уравнений (12). Отметим некоторые общие и отличительные особенности в определении положительных и отрицательных значений угла γ .

Заметим, что первое уравнение системы уравнений (104) совпадает с первым уравнением системы (12). Следовательно, корни первого уравнения системы (104) могут быть определены по формуле (14). Второе уравнение системы (104) имеет следующие корни:

$$\delta - \gamma = 180^\circ, \quad (105)$$

$$\delta - \gamma = 540^\circ, \quad (106)$$

$$\delta - \gamma = 900^\circ, \quad (107)$$

$$\delta - \gamma = 1260^\circ, \quad (108)$$

$$\delta - \gamma = 1620^\circ \quad (109)$$

и

$$\delta - \gamma = 1980^\circ. \quad (110)$$

Особенность определения отрицательных значений угла γ рассмотрим на примере первого корня второго уравнения системы уравнений (104).

Из уравнения (105) следует, что

$$-\gamma = 180^{\circ} - \delta. \quad (111)$$

После подстановки в последнее уравнение выражения угла δ из уравнения (14) и преобразований получаем

$$\gamma = -\frac{180^{\circ}}{n}(n-1-2k). \quad (112)$$

Уравнение (112) для определения отрицательных значений угла γ отличается от уравнения (22) для определения положительных значений угла γ только знаком. Знак минус в уравнении (112) может быть отнесен либо к постоянному множителю $\frac{180^{\circ}}{n}$, либо к переменному множителю $c_1=n-1-2k$. Очевидно, что аналогичные формулы могут быть получены при определении отрицательных значений угла γ для пяти других корней второго уравнения системы (104). Для определенности дальнейших рассуждений будем считать, что в уравнениях для определения отрицательных значений угла γ знак минус относится к переменному множителю.

Отметим некоторые общие и отличительные особенности в определении положительных и отрицательных значений угла γ . В обоих случаях углы γ равны произведению двух множителей. Первый множитель в том и другом случае имеет одинаковое значение, равное частному от деления 180° на величину передаточного отношения n передачи, синхронизирующей и согласовывающей по фазе вращение дебалансов. Отличие в определении положительных и отрицательных значений угла γ заключается в следующем. В первом случае, при $\gamma > 0^{\circ}$, второй множитель последовательно принимает значения, равные числам из интервала значений от ноль целых двух десятых до удвоенного значения передаточного отношения n минус ноль целых две десятых, с шагом равным ноль целых четыре десятых. Во втором случае, при $\gamma < 0^{\circ}$, второй множитель последовательно принимает отрицательные значения, равные по абсолютной величине числам из интервала значений от ноль целых двух десятых до удвоенного значения величины передаточного отношения n минус ноль целых две десятых, с шагом равным ноль целых четыре десятых. То есть отличие заключается только в знаке второго множителя в формуле для определения значений угла γ . Количество положительных значений угла γ равно количеству отрицательных значений угла и равно пятикратному значению передаточного отношения n передачи, синхронизирующей и согласовывающей по фазе вращение дебалансов. При этом каждому положительному значению угла γ соответствует отрицательное значение угла отвечающее условию: сумма абсолютных значений этих углов равна 360° . Докажем это положение.

Формулу для определения положительных значений угла γ представим в виде

$$\gamma_+ = \frac{180^{\circ}}{n} \cdot c_+, \quad (113)$$

где $c_+=0,2; 0,6; \dots; 2n-0,2$ - множитель, который последовательно принимает значения, равные числам из ряда чисел от ноль целых две десятых до удвоенного значения передаточного отношения n минус ноль целых две десятых, с шагом равным ноль целых четыре десятых.

Тогда формула для определения отрицательных значений угла γ может быть представлена в виде

$$\gamma_- = \frac{180^0}{n} \cdot c_-, \quad (114)$$

где $c_- = -0,2; -0,6; -(2n-0,2)$ - сомножитель, который последовательно принимает значения, равные отрицательным величинам чисел из ряда значений от ноль целых две десятых до удвоенного значения передаточного отношения n минус ноль целых две десятых, с шагом равным ноль целых четыре десятых.

Положительные значения угла γ представим в виде числового ряда, в котором члены ряда расположены в порядке возрастания их величин, а отрицательные значения угла γ представим в виде числового ряда, в котором члены ряда расположены в порядке убывания их абсолютных значений. Следует заметить, что при определении численных значений членов первого числового ряда, начиная с первого члена ряда, минимального по величине, и заканчивая последним, максимальным по величине, сомножитель c_+ последовательно принимает значения, равные числам от $0,2$ до $2n-0,2$. При этом каждое последующее значение сомножителя c_+ отличается от предыдущего на ноль целых четыре десятых. При определении численных значений членов второго числового ряда, начиная с первого, максимального по абсолютной величине, члена ряда, и заканчивая последним, минимальным по абсолютной величине, сомножитель c_- последовательно принимает значения, по абсолютной величине равные числам от $2n-0,2$ до $0,2$. При этом каждое последующее значение сомножителя c_- отличается от предыдущего на ноль целых четыре десятых. Отсюда можно сделать вывод: сомножители c_+ и c_- для одноименных членов первого и второго числовых рядов связаны между собой зависимостью

$$|c_{j-}| = 2n - c_{j+}. \quad (115)$$

Значение некоторого произвольного члена первого числового ряда определяем по формуле

$$\gamma_{j+} = \frac{180^0}{n} \cdot c_{j+}. \quad (116)$$

Тогда абсолютное значение соответствующего ему члена второго числового ряда должно быть определено по формуле

$$|\gamma_{j-}| = \frac{180^0}{n} \cdot |c_{j-}| = \frac{180^0}{n} (2n - c_{j+}). \quad (117)$$

Как видно из уравнений (116) и (117) сумма их правых частей равна 360^0 , то есть $\gamma_{j+} + |\gamma_{j-}| = 360^0$, что и требовалось доказать.

Заметим, что с помощью известных формул легко можно доказать следующее условие.

Косинус суммы двух углов равен косинусу разности двух углов, если первое слагаемое в сумме углов равно уменьшаемому в разности углов, а второе слагаемое в сумме углов и вычитаемое в разности углов являются значениями углов, дополняющих друг друга до 360^0 , то есть

$$\cos(\delta + \gamma) = \cos(\delta - \gamma_1), \quad (86)$$

если $\gamma_1 = 360^0 - \gamma$ или, что тоже самое, если $\gamma = 360^0 - \gamma_1$.

Таким образом, для подтверждения предложенной методики определения значений угла γ достаточно исследовать зависимости силового фактора либо при положительных значениях угла γ , либо при отрицательных.

Для подтверждения результатов теоретического определения значений угла γ были исследованы зависимости $f(\delta)=\cos n\delta+\cos(\delta+\gamma)$ и $f(\delta)=\cos n\delta+\cos(\delta-\gamma)$ силовых факторов при значениях передаточного отношения n передачи, синхронизирующей и согласовывающей по фазе вращение дебалансов, равных 2,4; 4,4; 6,4 и 8,4. При исследовании зависимостей при выбранном значении передаточного отношения n рассчитывали значения угла γ . Для рассчитанных значений угла γ строили графики зависимостей силовых факторов и исследовали эти зависимости на экстремумы.

На рисунках (фиг. 9), (фиг. 10), (фиг. 11), (фиг. 12), (фиг. 13), (фиг. 14) и (фиг. 15) в качестве примера показаны зависимости силового фактора для случая: передаточное отношение передачи, синхронизирующей и согласовывающей по фазе вращение дебалансов, равно $n=2,4$; отношение максимальных силовых факторов, создаваемых силами инерции медленно и быстро вращающихся дебалансов, равно единице, то есть для случая, когда коэффициент $a=1$. На рисунке (фиг. 9) зависимость соответствует начальному положению дебалансов, в котором силы инерции медленно и быстро вращающихся дебалансов создают максимальные силовые факторы в положительном направлении. Следует отметить, что такое начальное положение дебалансов показано на рисунках (фиг. 6) и (фиг. 7) в вибровозбудителях: для возбуждения колебаний силы (фиг. 6); для возбуждения колебаний момента (фиг. 7). Как видно из рисунка (фиг. 9) максимальное положительное значение силового фактора больше максимального по абсолютной величине силового фактора в отрицательном направлении. В рассматриваемом случае $2,0 > |-1,97|$. На рисунках (фиг. 10), (фиг. 11), (фиг. 12), (фиг. 13), (фиг. 14) и (фиг. 15) представлены зависимости силовых факторов для начальных положений медленно вращающихся дебалансов при положительных значениях угла γ , определенных по предложенной выше методике. В рассматриваемом случае ($n=2,4$) угол γ принимает следующие значения: 15° ; 45° ; 75° ; 105° ; 135° ; 165° ; 195° ; 225° ; 255° ; 285° ; 315° и 345° . Следует заметить, что такое начальное положение дебалансов представлено на рисунке (фиг. 8) для некоторого произвольного положительного значения угла γ . Как видно из рисунков (фиг. 10), (фиг. 11), (фиг. 12), (фиг. 13), (фиг. 14), (фиг. 15), (фиг. 16), (фиг. 17), (фиг. 18), (фиг. 19), (фиг. 20) и (фиг. 21) зависимости имеют одинаковое направление максимального по абсолютной величине силового фактора. При этом максимальное положительное значение силового фактора меньше максимального по абсолютной величине силового фактора в отрицательном направлении ($|-2,0| > |1,966|$). Следует заметить, что при начальных положениях медленно вращающихся дебалансов, отвечающих следующим значениям угла γ : $\gamma=15^\circ$; 45° ; 75° ; 105° ; 135° ; 165° ; 195° ; 225° ; 255° ; 285° ; 315° и 345° , направление максимального по абсолютной величине силового фактора, возбуждаемого вибровозбудителем, противоположно направлению максимального силового фактора, создаваемого силами инерции быстро вращающихся дебалансов в начальном положении.

Результаты определения экстремумов зависимостей силового фактора при отрицательных значениях угла γ подтвердили полученный ранее вывод. При передаточном отношении, равном $n=2,4$, угол γ имеет следующие отрицательные значения: -15° ; -45° ; -75° ; -105° ; -135° ; -165° ; -195° ; -225° ; -255° ; -285° ; -315° и -345° . При исследовании этих зависимостей установлено, что зависимость $f(\delta)=\cos 2,4\delta+\cos(\delta+15^\circ)$ совпадает с зависимостью $f(\delta)=\cos 2,4\delta+\cos(\delta-345^\circ)$, так как $\cos(\delta+15^\circ)=\cos(\delta-345^\circ)$. Зависимость $f(\delta)=\cos 2,4\delta+\cos(\delta+45^\circ)$ совпадает с зависимостью $f(\delta)=\cos 2,4\delta+\cos(\delta-$

315°), так как $\cos(\delta+45^\circ)=\cos(\delta-315^\circ)$. По той же причине совпадают зависимости:

$f(\delta) = \cos 2,4\delta + \cos(\delta + 75^\circ)$	и	
$f(\delta) = \cos 2,4\delta + \cos(\delta - 285^\circ);$		$f(\delta) = \cos 2,4\delta + \cos(\delta + 105^\circ)$
$f(\delta) = \cos 2,4\delta + \cos(\delta - 255^\circ);$		$f(\delta) = \cos 2,4\delta + \cos(\delta + 135^\circ)$
$f(\delta) = \cos 2,4\delta + \cos(\delta - 225^\circ);$		$f(\delta) = \cos 2,4\delta + \cos(\delta + 165^\circ)$
$f(\delta) = \cos 2,4\delta + \cos(\delta - 195^\circ);$		$f(\delta) = \cos 2,4\delta + \cos(\delta + 195^\circ)$
$f(\delta) = \cos 2,4\delta + \cos(\delta - 165^\circ);$		$f(\delta) = \cos 2,4\delta + \cos(\delta + 225^\circ)$
$f(\delta) = \cos 2,4\delta + \cos(\delta - 135^\circ);$		$f(\delta) = \cos 2,4\delta + \cos(\delta + 255^\circ)$
$f(\delta) = \cos 2,4\delta + \cos(\delta - 105^\circ);$		$f(\delta) = \cos 2,4\delta + \cos(\delta + 285^\circ)$
$f(\delta) = \cos 2,4\delta + \cos(\delta - 75^\circ);$		$f(\delta) = \cos 2,4\delta + \cos(\delta + 315^\circ)$
$f(\delta) = \cos 2,4\delta + \cos(\delta - 45^\circ);$		$f(\delta) = \cos 2,4\delta + \cos(\delta + 345^\circ)$
$f(\delta) = \cos 2,4\delta + \cos(\delta - 15^\circ).$		

Таким образом, представленные выше рассуждения позволяют сделать следующий вывод.

В центробежном вибровозбудителе, содержащем четыре дебаланса, вращающихся вокруг параллельных осей, расположенных на общем основании и имеющих попарно одинаковые по величине угловые скорости и дисбалансы, занимающих начальное положение, в котором их центробежные силы инерции создают максимальные по величине силовые факторы, что обеспечивается передачей, синхронизирующей и согласовывающей по фазе вращение дебалансов с передаточным отношением, равным отношению угловой скорости быстровращающихся дебалансов к угловой скорости медленно вращающихся, для получения силового фактора с наибольшим абсолютным значением, направленным против направления силового фактора, создаваемого быстровращающимися дебалансами, изменяют начальное положение медленно вращающихся дебалансов путем их поворота в любом направлении на угол, равный произведению частного от деления 180° на величину передаточного отношения передачи, синхронизирующей и согласовывающей по фазе вращение дебалансов, на число из интервала значений от нуля целых две десятых до удвоенного значения передаточного отношения минус нуля целых две десятых с шагом равным нуля целых четыре десятых при условии, что передаточное отношение является дробным числом, целая часть которого является четным числом, а дробная часть равна нуля целых четыре десятых.

Предлагаемый способ возбуждения механических колебаний силовых факторов с регулируемым направлением максимального по абсолютной величине силового фактора, возбуждаемого вибровозбудителем, может быть использован с целью совершенствования транспортного и технологического оборудования зерноперерабатывающих предприятий.

В случае использования предлагаемого способа в транспортном оборудовании устройство работает следующим образом.

Оси вращения дебалансов располагают на общем основании (фиг. 16), жестко связанном с рабочей поверхностью транспортирующего устройства. Оси вращения

одноименных дебалансов, то есть дебалансов, имеющих одинаковые дисбалансы и вращающихся с одинаковыми по величине угловыми скоростями, расположены симметрично относительно перпендикуляра к прямой, соединяющей оси вращения этих дебалансов. При этом оси вращения первой пары дебалансов и оси вращения второй пары дебалансов расположены симметрично относительно одной прямой. Отметим, что при таком расположении осей вращения дебалансов прямые, соединяющие оси вращения одноименных дебалансов, должны быть параллельны друг другу. На основании (фиг. 16) знаком «+» отмечено начальное положение дебалансов, при котором силы инерции быстро и медленно вращающихся дебалансов создают максимальные силовые факторы (силы) одного (положительного) направления. При этом, направление максимального силового фактора, возбуждаемого вибровозбудителем, совпадает с направлением максимального силового фактора, создаваемого быстро вращающимися дебалансами в начальном положении. На рисунке (фиг. 22) для случая, когда передаточное отношение n передачи, синхронизирующей и согласовывающей по фазе вращения дебалансов, равно $n=2,4$ знаками 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11 и 12 показаны двенадцать различных начальных положений медленно вращающихся дебалансов, при которых максимальный силовой фактор (сила), возбуждаемый вибровозбудителем, имеет направление, противоположное направлению силового фактора, создаваемого силами инерции быстро вращающихся дебалансов в начальном положении. На рисунке (фиг. 22) медленно вращающиеся дебалансы показаны в одном из двенадцати возможных начальных положений, в которых направление максимального по абсолютной величине силового фактора, возбуждаемого вибровозбудителем, противоположно направлению максимального силового фактора, создаваемого силами инерции быстро вращающихся дебалансов в начальном положении. Пунктиром показано начальное положение медленно вращающихся дебалансов, когда их силы инерции создают максимальный силовой фактор, а максимальный силовой фактор, возбуждаемый вибровозбудителем, по направлению совпадает с направлением максимального силового фактора, создаваемого силами инерции быстро вращающихся дебалансов в начальном положении.

Следует отметить, что при конструктивном исполнении привода с использованием предлагаемого способа регулирования параметров колебаний силовых факторов достаточно использовать одно из возможных начальных положений медленно вращающихся дебалансов, позволяющих менять на противоположное направление максимального силового фактора, возбуждаемого вибровозбудителем. Таким положением должно быть выбрано положение, которое наиболее просто в конструктивном исполнении в данном конкретном оборудовании.

При вращении дебалансов их центробежные силы инерции создают прямолинейно колеблющуюся по несимметричному закону результирующую силу. Под действием такой результирующей силы рабочая поверхность совершает прямолинейные колебания по несимметричному закону, то есть наибольшее положительное значение ускорения поверхности не равно модулю наибольшего отрицательного значения ускорения.

Зерновая смесь поступает на рабочую поверхность и под действием колебаний транспортируется вдоль нее. Скорость транспортирования определяет производительность транспортного оборудования. Направление наибольшего по абсолютной величине ускорения рабочей поверхности в сочетании с ее наклоном к горизонтали и сообщением поверхности наклонных колебаний открывает широкие возможности варьирования скорости транспортирования.

В случае применения предлагаемого способа регулирования направления

несимметрии прямолинейных колебаний силы в технологическом оборудовании для осуществления процессов сепарирования устройство работает следующим образом.

Рассмотрим работу устройства на примере очистки зерновой смеси от крупных примесей.

5 Исходная зерновая смесь непрерывным потоком поступает на ситовую поверхность, совершающую прямолинейные колебания. Колебания поверхности обеспечивают транспортирование зерновой смеси и ее самосортирование. В процессе самосортирования крупные примеси всплывают в верхний слой зернового потока. При движении частицы зерновой смеси проходят над отверстиями ситовой поверхности и при наступлении
10 благоприятных условий просеиваются. Так как при очистке зерна от крупных примесей исходная зерновая смесь состоит в основном из проходных (зерно) частиц, то самосортирование не оказывает большого влияния на результаты процесса в целом и решающее значение имеет просеивание. Предлагаемый способ изменения на
15 противоположное направления максимальной по абсолютной величине силы совместно с использованием наклона рабочей поверхности к горизонтали и наклона направления колебаний создают условия для сообщения зерновой смеси скорости относительно рабочей поверхности, обеспечивающей наиболее эффективное протекание процесса просеивания, то есть позволяет сообщить рабочему органу колебания с параметрами, соответствующими наиболее эффективному протеканию процесса просеивания.

20 Аналогичным образом могут быть созданы условия для наиболее эффективного осуществления процесса сепарирования, в котором определяющее значение имеет процесс самосортирования. Таким образом, использование предлагаемого способа регулирования направления несимметрии закона колебаний позволяет повысить эффективность ситового сепарирования.

25 Кроме того, реализация предлагаемого способа возбуждения механических колебаний силовых факторов с регулируемыми параметрами открывает перспективу создания унифицированного привода транспортного и технологического оборудования зерноперерабатывающих предприятий.

Список литературы

- 30 1. Patentschrift №955 756 (DFR), K1. 81 e, Gr. 53, Intenat. K1. В 65 g, 10.01.1957.
2. RU 2528271 C2 30.10.2012.
3. RU 2528550 C2 21.12.2012.

(57) Формула изобретения

35 Способ возбуждения механических колебаний силовых факторов с регулируемыми параметрами центробежным вибровозбудителем, возбуждающим колебания по несимметричному закону, состоящим из четырех дебалансов, оси вращения которых расположены на общем основании, попарно имеющих одинаковые дисбалансы, и имеют начальное положение, в котором их центробежные силы инерции создают максимальные
40 по величине силовые факторы, и вращающихся с одинаковыми по величине угловыми скоростями, что обеспечивается передачей, синхронизирующей и согласовывающей по фазе вращение дебалансов с передаточным отношением n , равным отношению угловой скорости быстровращающихся дебалансов к угловой скорости
45 медленно вращающихся, отличающийся тем, что для получения силового фактора с наибольшим абсолютным значением, направленным против направления силового фактора, создаваемого быстровращающимися дебалансами, изменяют начальное положение медленно вращающихся дебалансов путем их поворота в любом направлении на угол, равный произведению частного от деления 180° на величину передаточного

отношения n передачи, синхронизирующей и согласовывающей по фазе вращение дебалансов, на число из интервала значений от $0,2$ до $2n-0,2$ с шагом, равным $0,4$, при условии, что передаточное отношение n является дробным числом, целая часть которого является четным числом, а дробная часть равна ноль целых четыре десятых.

5

10

15

20

25

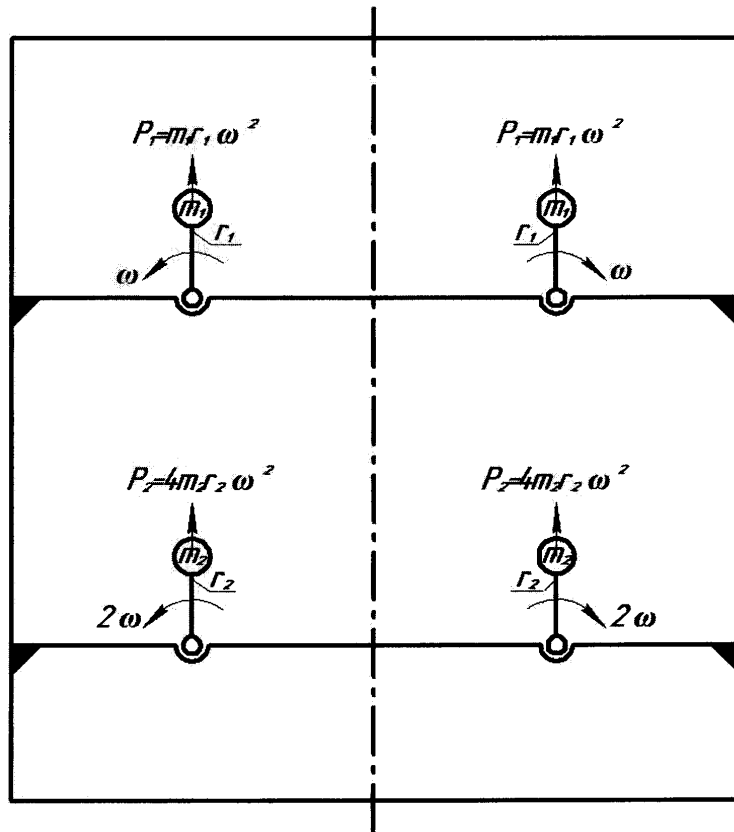
30

35

40

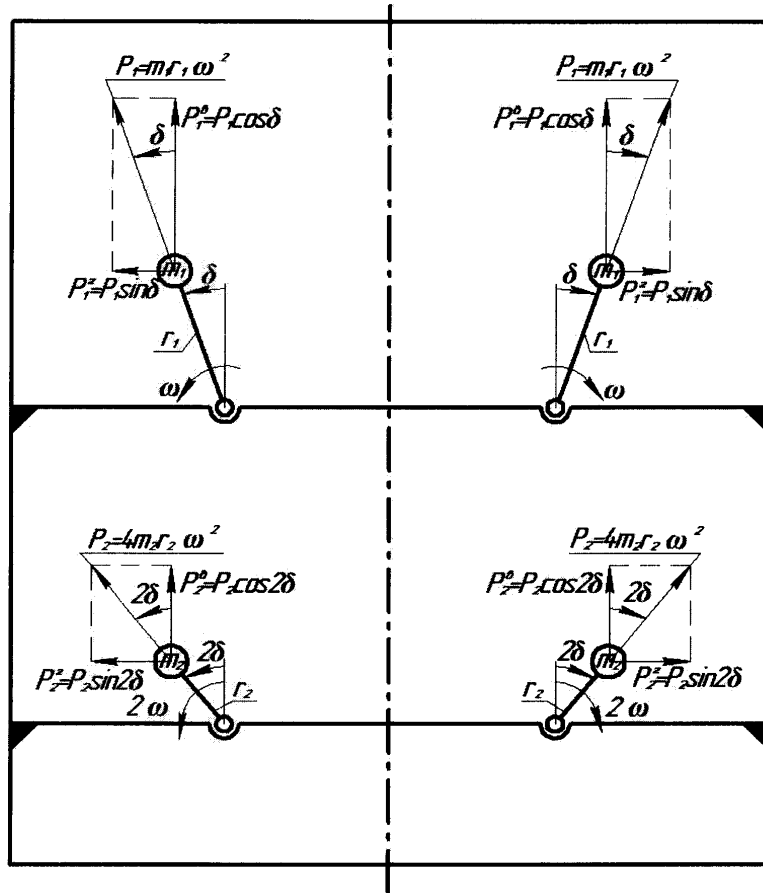
45

1

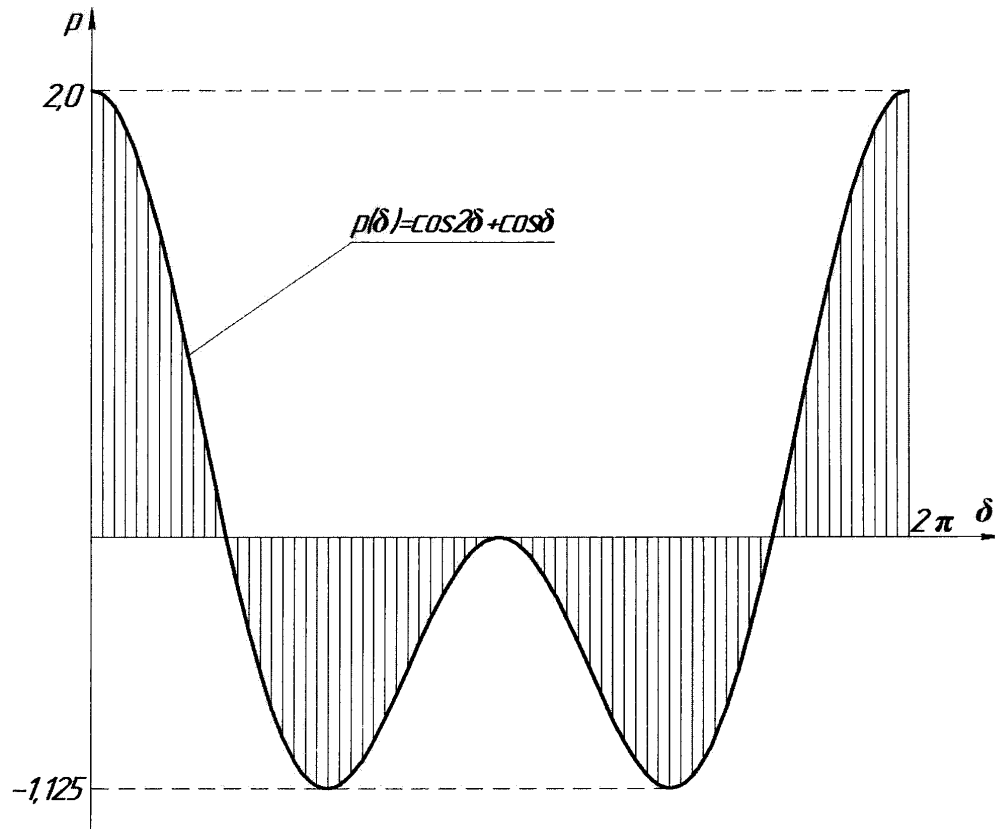


Фиг. 1

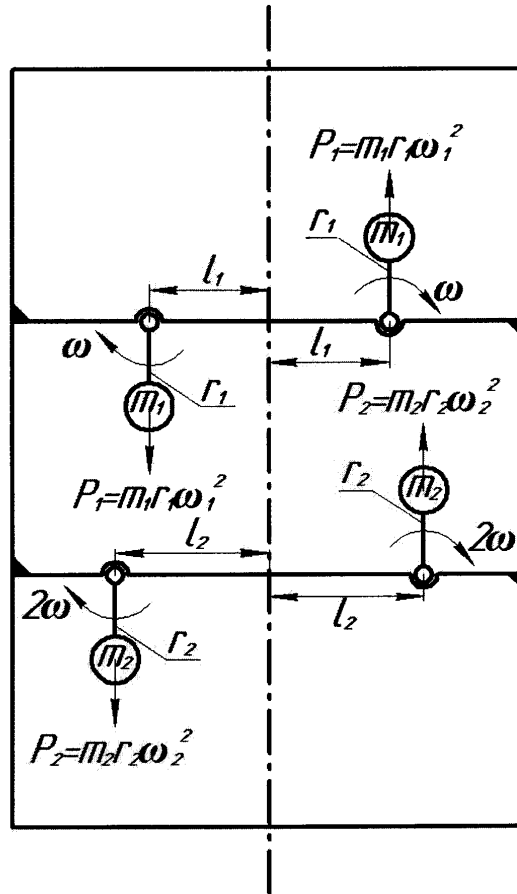
2



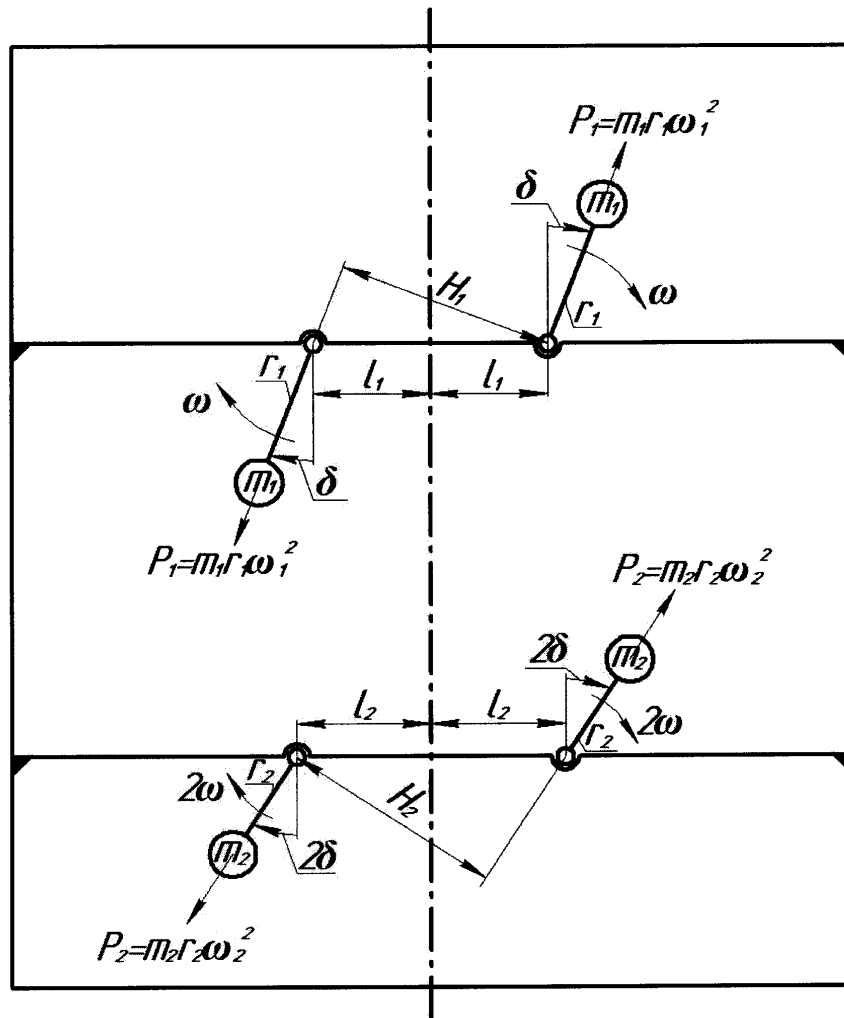
Фиг. 2



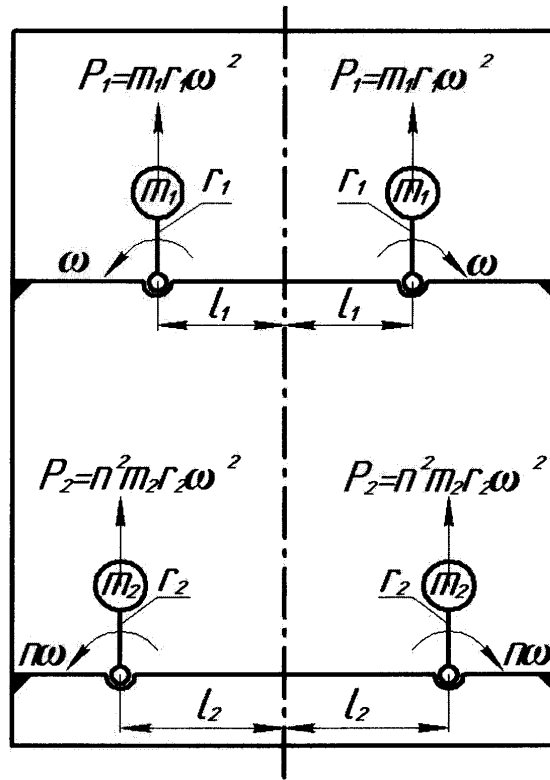
Фиг. 3



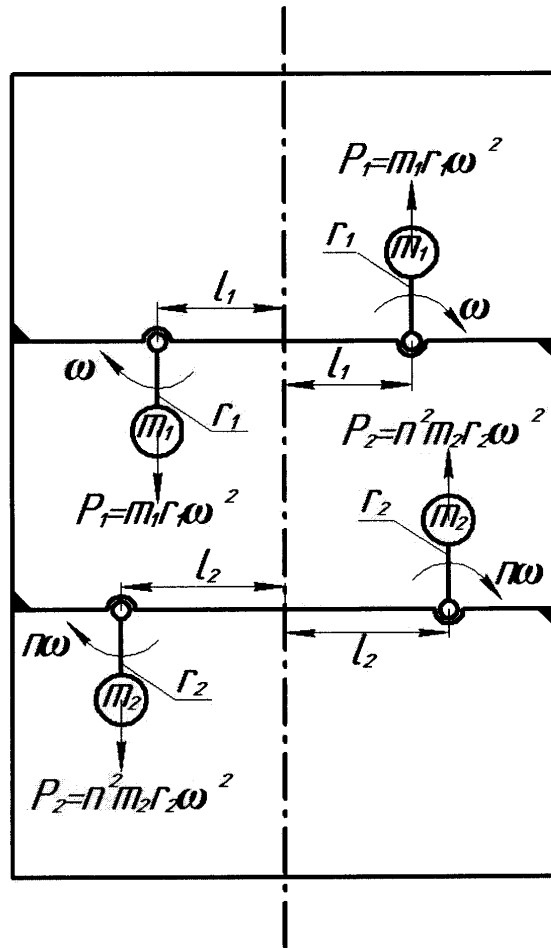
Фиг. 4



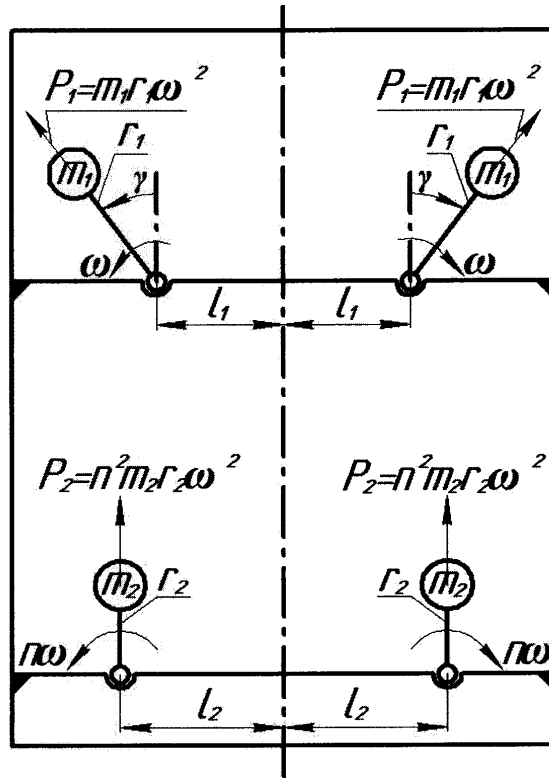
Фиг. 5



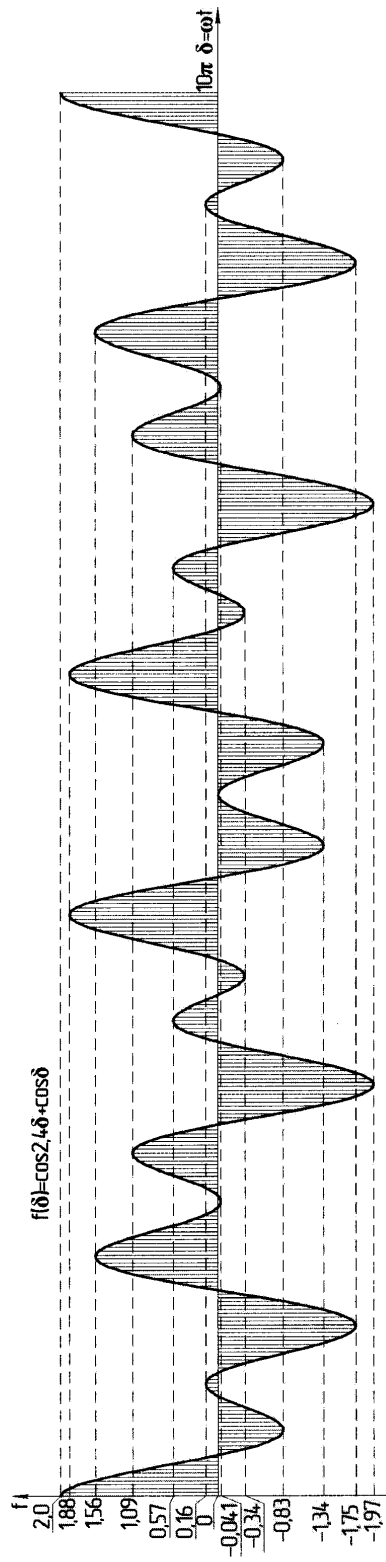
Фиг. 6



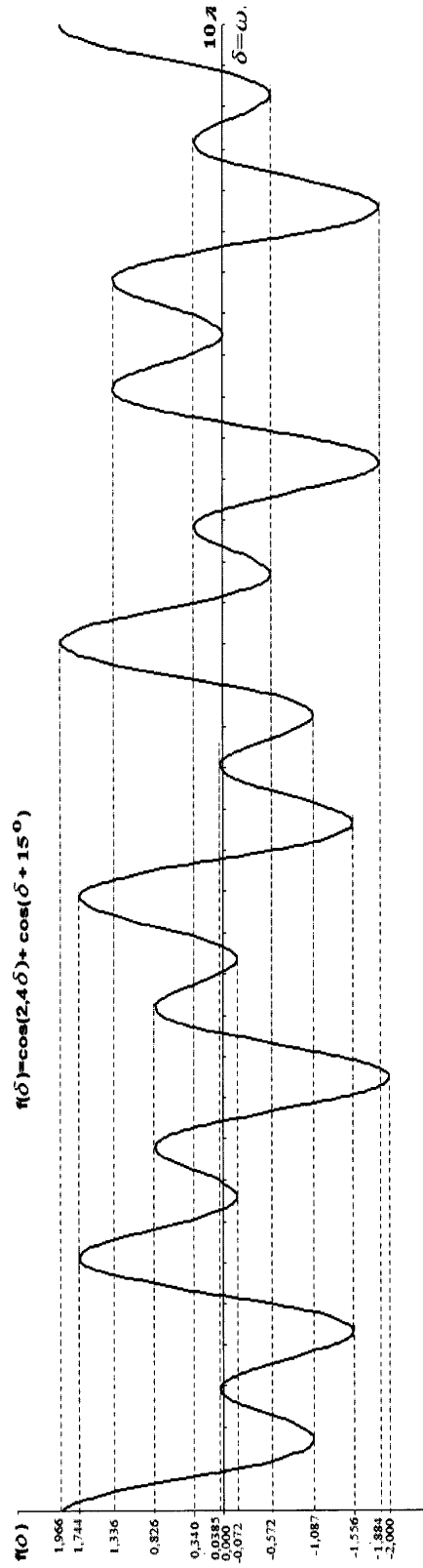
Фиг. 7



Фиг. 8

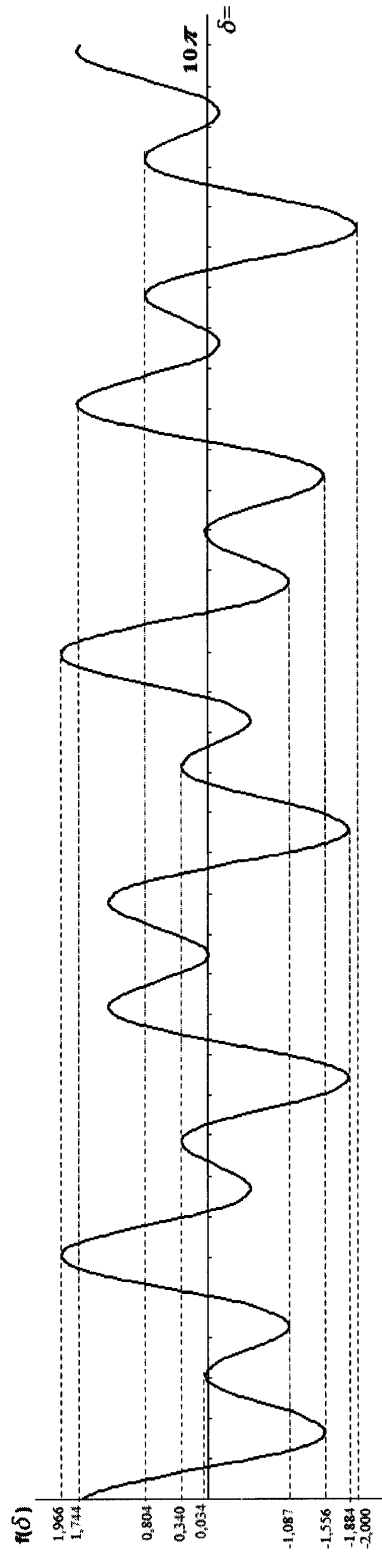


Фиг. 9

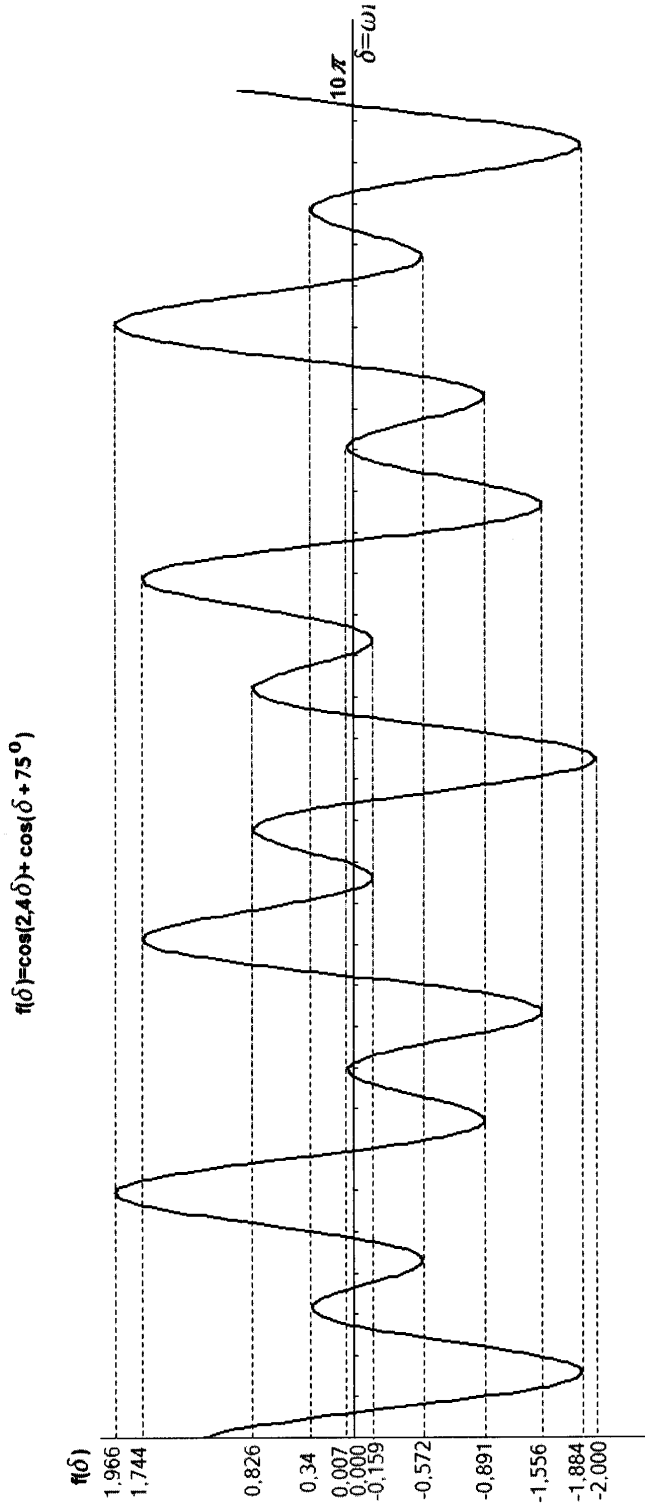


Фиг. 10

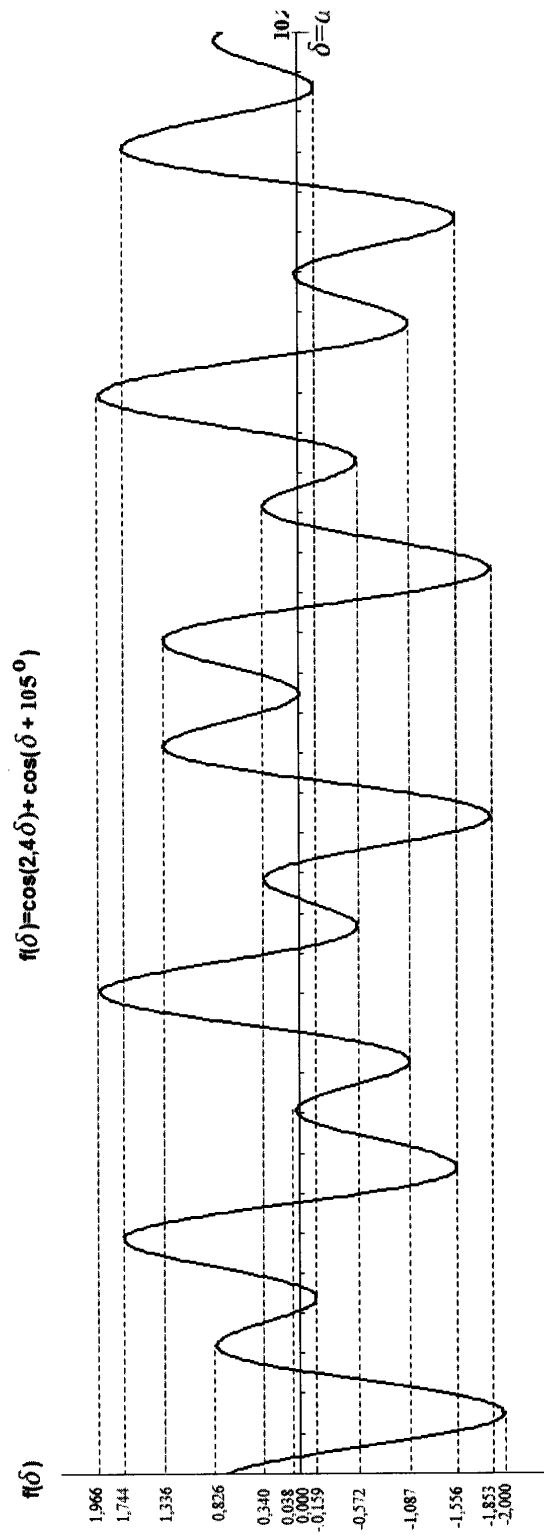
$$f(\delta) = \cos(2,4\delta) + \cos(\delta + 45^\circ)$$



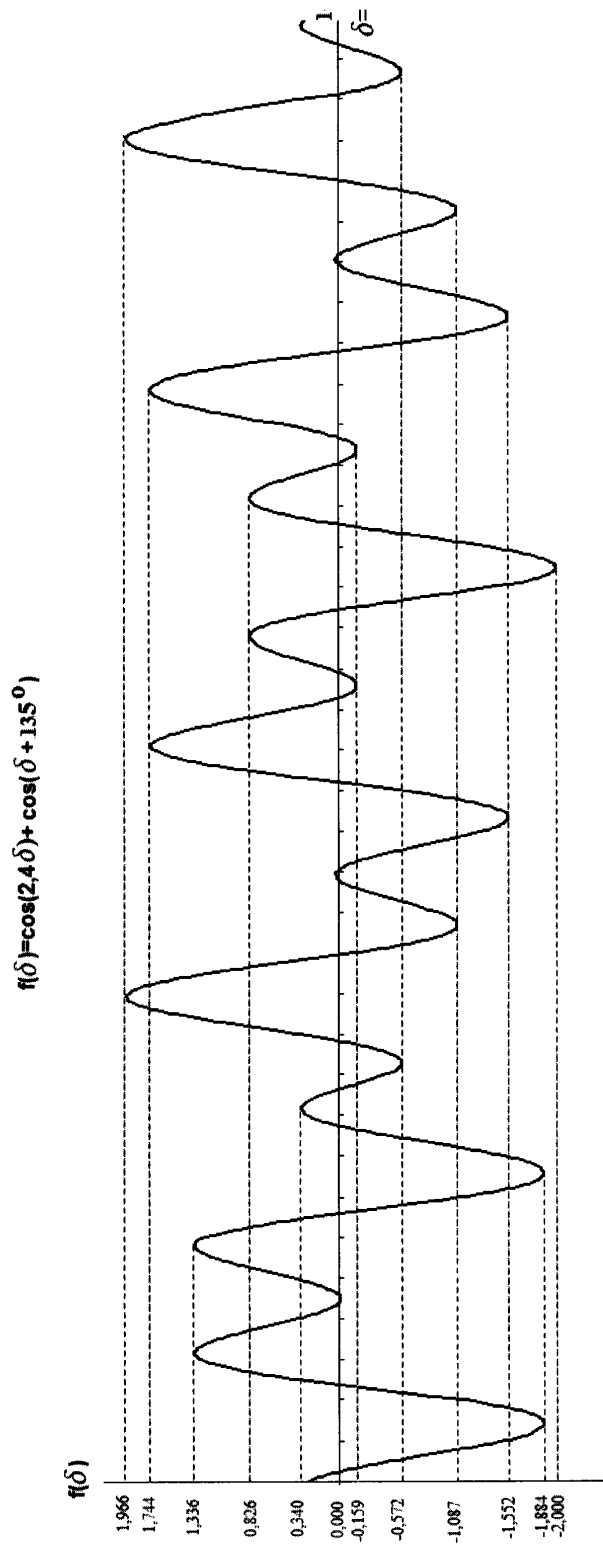
Фиг. 11



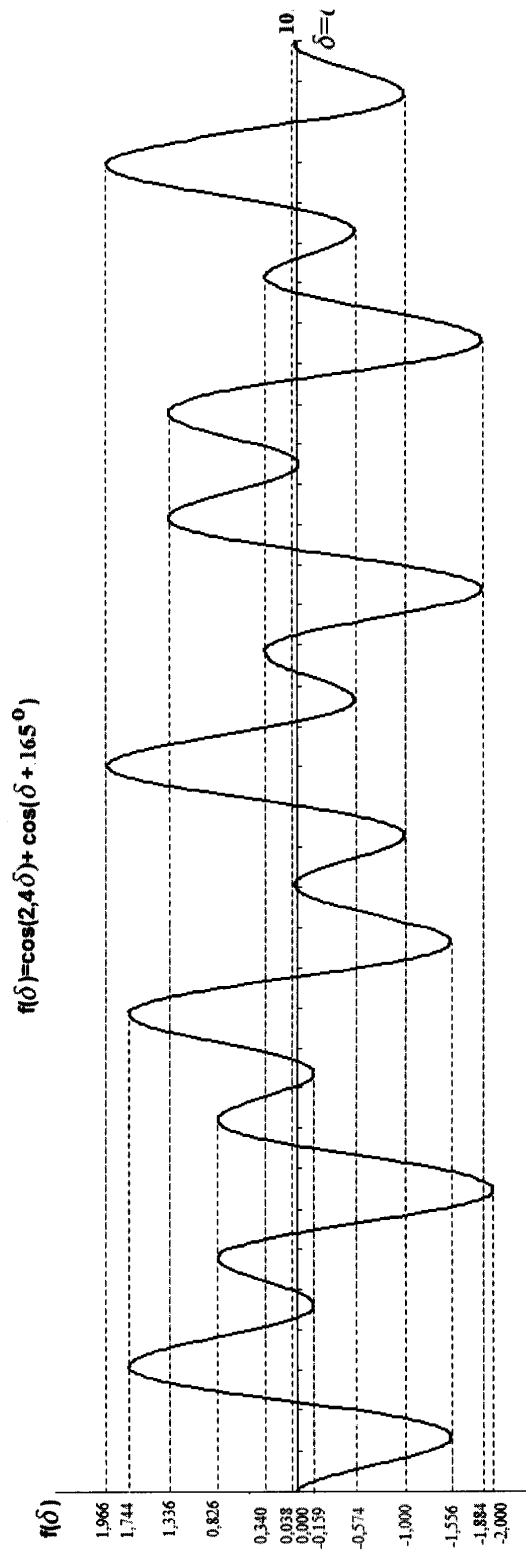
Фиг. 12



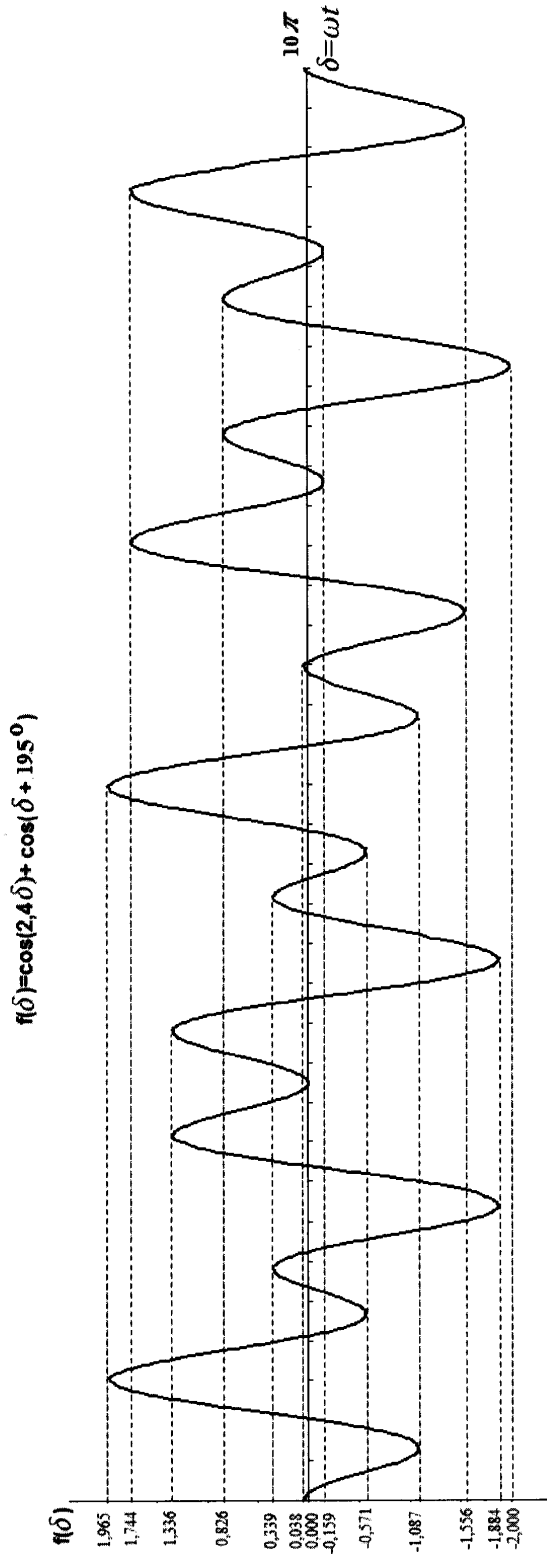
Фиг. 13



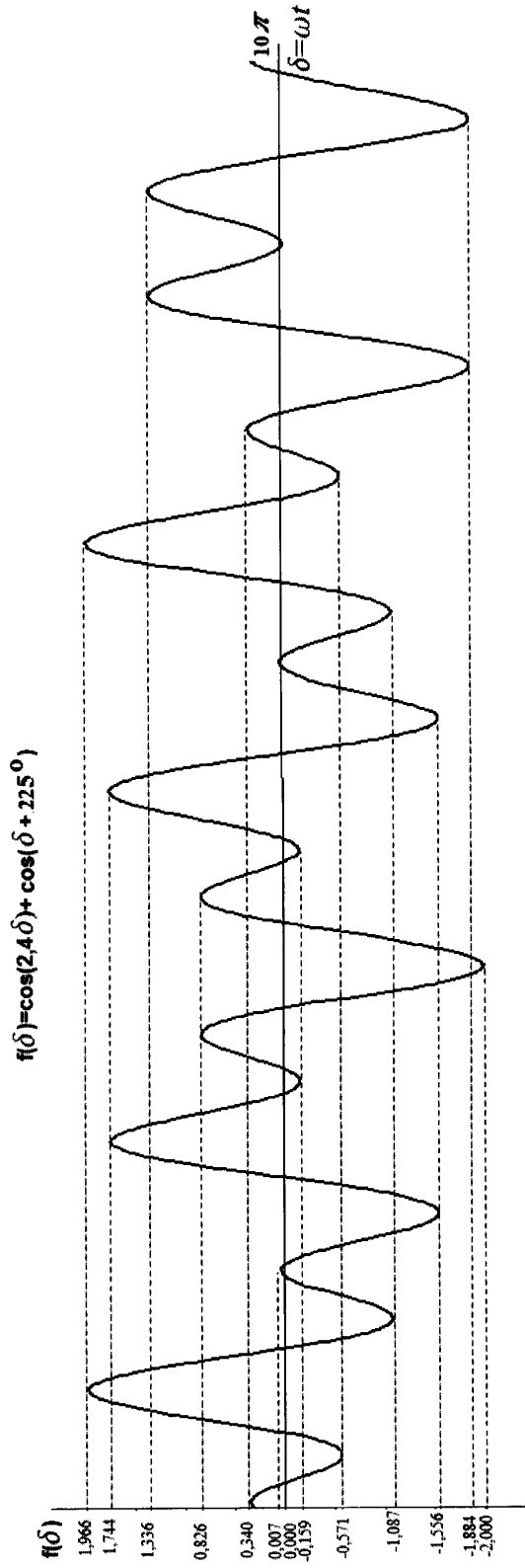
Фиг. 14



Фиг. 15

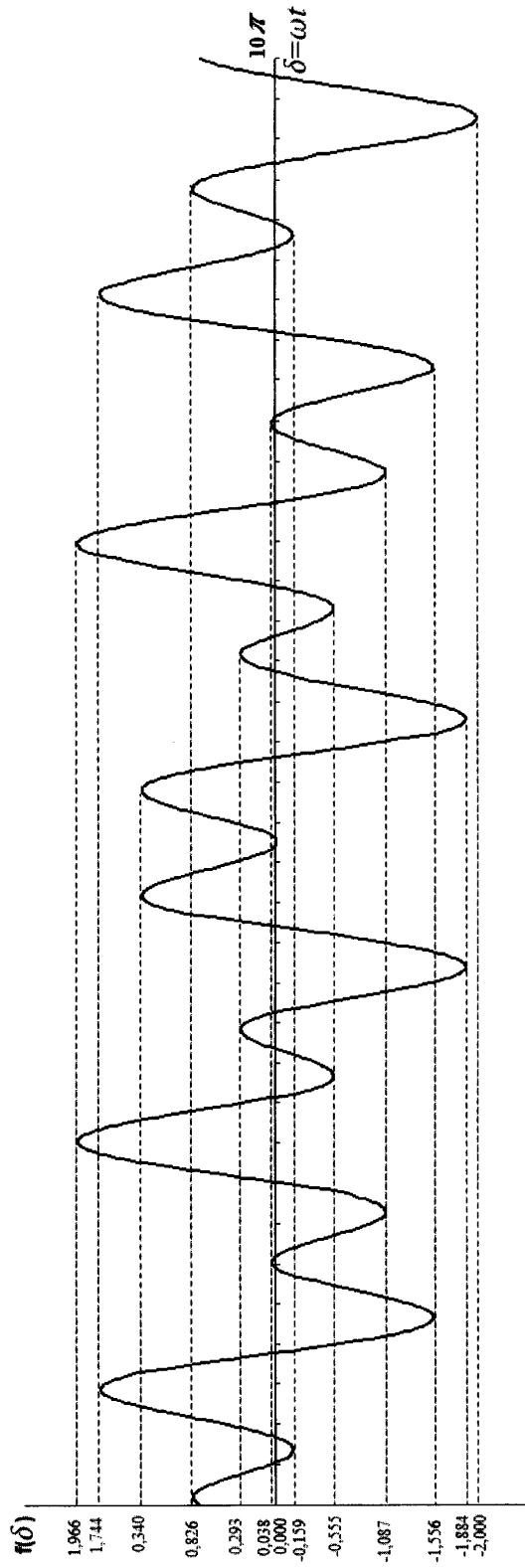


Фиг. 16

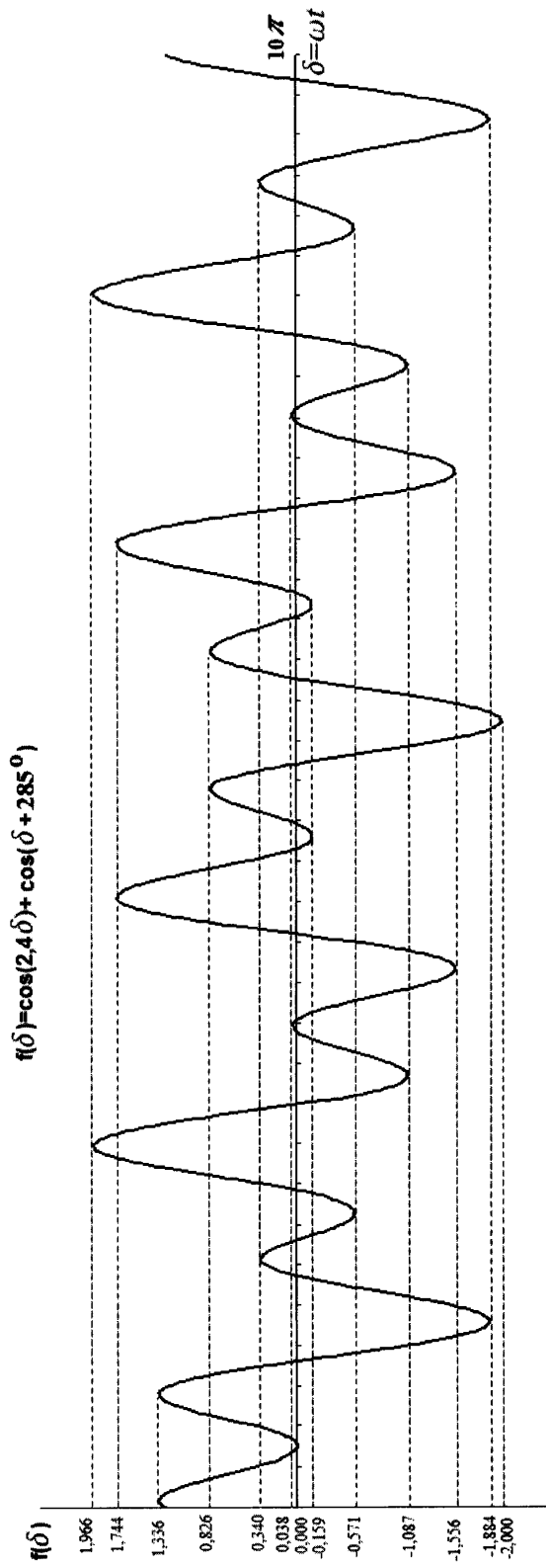


Фиг. 17

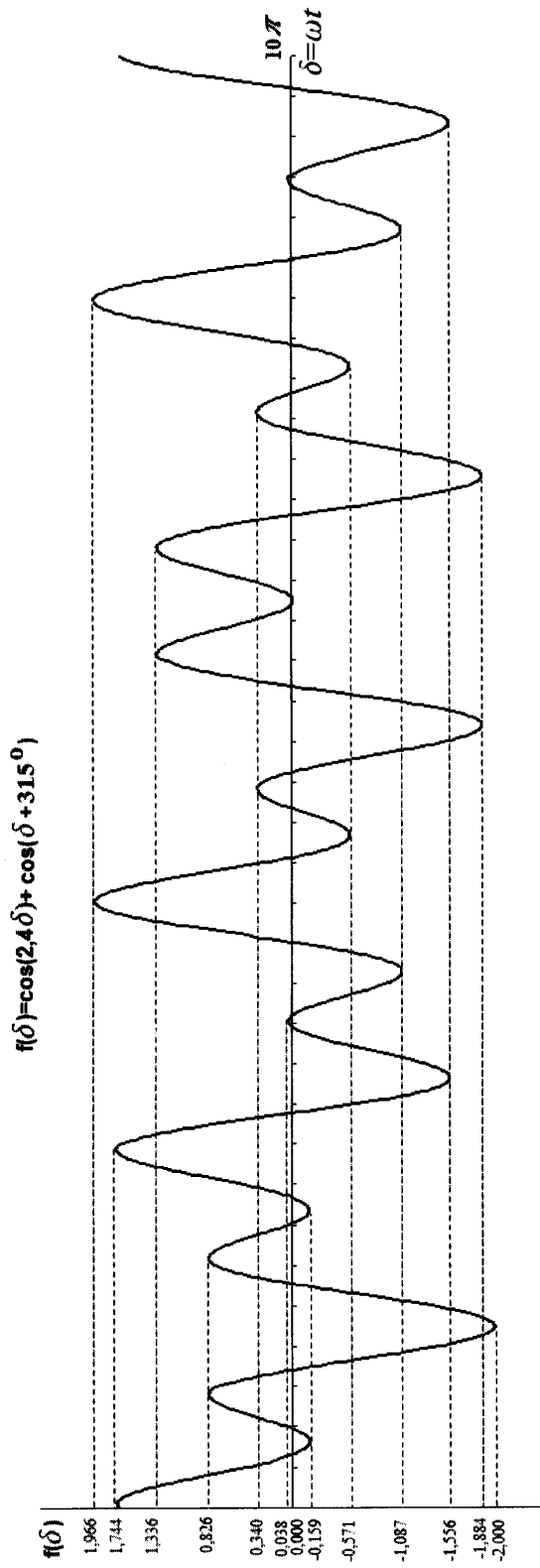
$$f(\delta) = \cos 2,4\delta + \cos(\delta + 255^\circ)$$



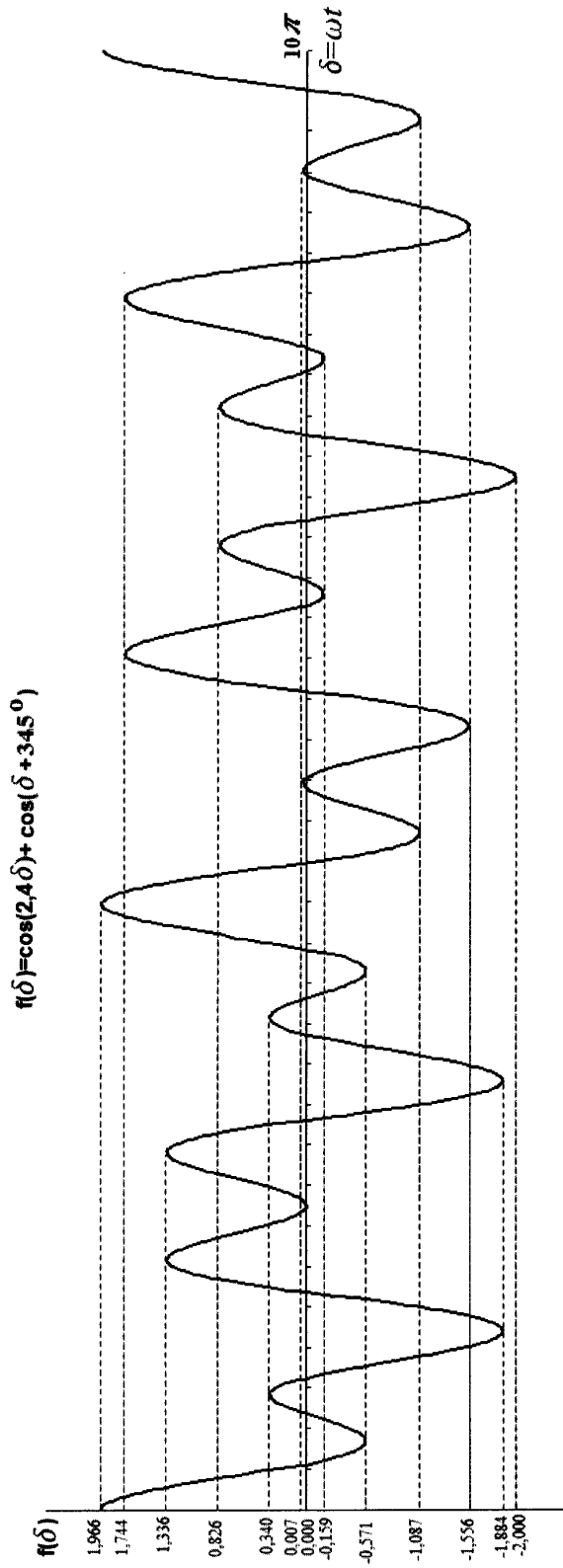
Фиг. 18



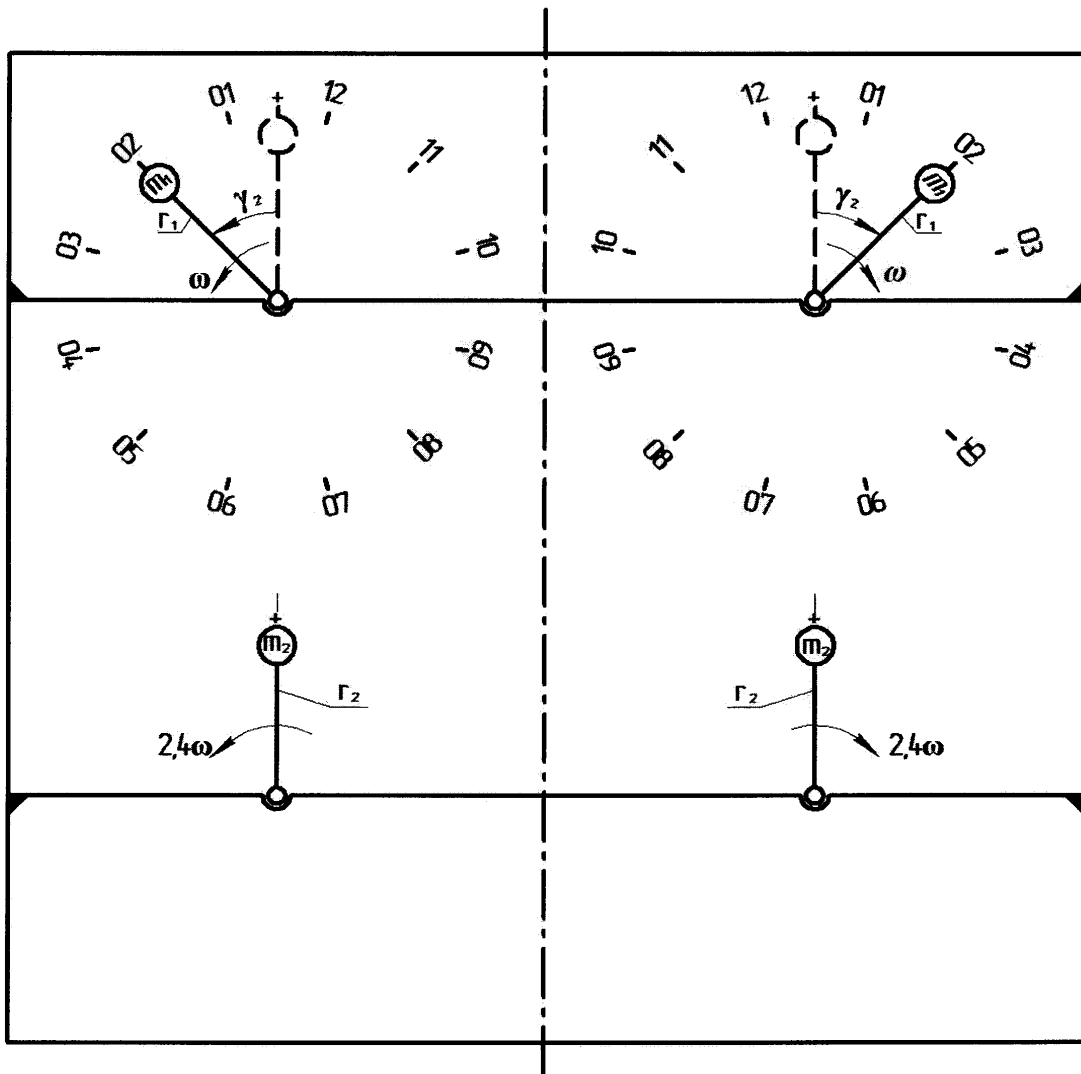
Фиг. 19



Фиг.20



Фиг.21



Фиг. 22