

Е.С. ТЕМИРБЕКОВ, М.В. ДУДКИН, Б.О. БОСТАНОВ

АСИММЕТРИЧНЫЙ ПЛАНЕТАРНЫЙ ВИБРОВОЗБУДИТЕЛЬ ВИБРАЦИОННЫХ КАТКОВ. КИНЕМАТИКА

Использование вибровозбудителей планетарного типа в дорожном строительстве является одним из эффективных методов повышения производительности уплотняющих машин. Вместе с тем, планетарные вибровозбудители еще не нашли широкого применения. Причин подобного положения несколько, и одна из них заключается в несовершенстве существующих методов расчета параметров планетарных вибростроительных машин.

Уточнения и дополнения, которые необходимо внести в методы расчета, можно установить только на основе комплексного исследования эффективности планетарных вибровозбудителей с уплотняемым дорожно-строительным материалом.

В работах [1-6] проведены исследования кинематики и динамики асимметричного планетарного вибровозбудителя. Однако при этом не были учтены некоторые кинематические параметры, а также требуют уточнения примененные аксиоматика и методы.

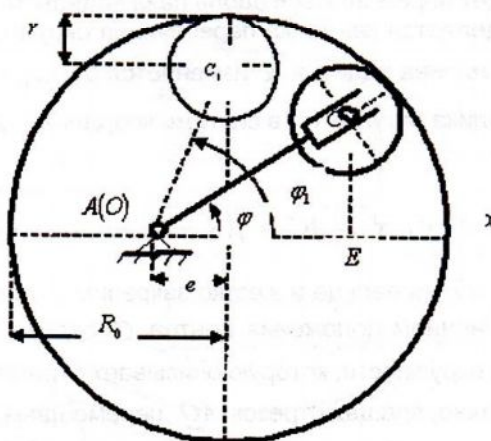


Рис.1. В неподвижной системе координат Oxy

Рассмотрим асимметричный планетарный вибровозбудитель с поводковым водилом (рис.1).

Неподвижный валец имеет форму окружности радиуса R_0 . По валцу катится ролик бегунка с радиусом r , который приводится в движение с помощью водила AC . Водила вращается вращается вокруг оси, проходящей через точку A с постоянной угловой скоростью ω . Угол поворота водила $\varphi = \omega t$. Точка A отстоит от центра окружности на расстоянии e . Определим положение точки C в неподвижной системе координат Oxy

$$x = OE = AE - AO = AC \cos \varphi - e = R \cos \varphi - e$$

$$y = CE = AC \sin \varphi = R \sin \varphi$$

Расстояние $AC = R$ переменная величина.

С учетом того, что центр ролика бегунка все время должен двигаться по окружности радиуса $(R_0 - r)$, получим формулы для определения его координат:

$$\begin{cases} x = R \cos \varphi - e \\ y = R \sin \varphi \end{cases}$$

$$R = e \cos \varphi + \sqrt{(R_0 - r)^2 - e^2 \sin^2 \varphi} \quad (1)$$

Для наглядного представления относительного движения центра C ролика бегунка воспользуемся методом, применяемым в теоретической механике: чтобы определить

относительное движение необходимо мысленно останавливать переносное движение. Следуя этому способу поступим таким образом (рис. 2.):

а) останавливаем вращение водила и расположим его горизонтально;

б) вдоль водила направим ось Ax_1 относительной (вращающейся) системы координат Ax_1y_1 ($Ay_1 = 0$);

в) будем поворачивать валец вокруг точки A с постоянной угловой скоростью ω (это соответствует вращению водила).

Тогда точка C будет перемещаться вдоль паза водила за счет эксцентритета e и ее положение определяется как точка пересечения окружностей разного радиуса $R = AC$ с осью x_1 . Величина радиуса R изменяется от $(R_0 - r - e)$ до $(R_0 - r + e)$. Координаты центра ролика бегунка C в системе координат Ax_1y_1 ($Ay_1 = 0$) определяются выражениями:

$$x_{10} = AC_0 = R_0 - r + e, \quad x_{11} = AC_1 = \sqrt{(R_0 - r)^2 + e^2}, \quad \dots, \quad x_{13} = AC_3 = R_0 - r - e$$

Выделим отрезок AO на валце и жестко закрепим с ним. Тогда при вращений водила наряду с изменением положения центра C ролика бегунка изменяется и положение точки O на окружности, которую описывает отрезок AO равный эксцентритету e . Следовательно, вращая отрезок AO перемещаем точку C вдоль неподвижной направляющей Ax_1 . Соединяя соответствующие положения точек O и C отрезками получим

$$OC_0 = O_1C_1 = O_2C_2 = \dots = O_3C_3 = R_0 - r = const.$$

Таким образом, за счет эксцентричности расположения оси вращения водила относительно центра вальца происходит относительное движение центра ролика, имеющее прямолинейный колебательный характер, которое можно интерпретировать как движение ползуна C кривошипно-шатунного механизма, с кривошипом длиной e и шатуном длиной $(R_0 - r)$. Тогда движение ползуна C описывается уравнением

$$x_1 = e \cos \varphi + \sqrt{(R_0 - r)^2 - e^2 \sin^2 \varphi} \quad \text{в точности совпадающее с уравнением (1).}$$

Переменную величину R , определяющую положение центра C , можно рассмотреть как полярный радиус R точки C , конец которого описывает окружность радиуса $(R_0 - r)$. Полярный угол определяется: $\varphi = \varphi_0 + 2k\pi$.

Диаграмма изменения R, R', R'' представлена на рис.3.

а) Определим скорость точки C из уравнения движения:

$$v_x = \frac{dx}{dt} = \omega \frac{dx}{d\varphi} = \omega x'_\varphi; \quad v_y = \frac{dy}{dt} = \omega \frac{dy}{d\varphi} = \omega y'_\varphi; \quad v = \omega v_\varphi = \omega \sqrt{(x'_\varphi)^2 + (y'_\varphi)^2};$$

Аналоги проекции скорости

$$x'_\varphi = R'_\varphi \cos \varphi - R \sin \varphi = -R \sin \varphi \left(1 + \frac{e}{R - e \cos \varphi} \right), \quad y'_\varphi = R \cos \varphi \left(1 - \frac{e \operatorname{tg} \varphi}{R - e \cos \varphi} \right);$$

$$v_\varphi = \sqrt{R'^2 + R^2}, \text{ где } R \text{ и } R' \text{ определяются по (2).}$$

б) С другой стороны, разложим абсолютное движение точки C на два составляющих движения: на переносное движение вместе с полярным радиусом R и на относительное движение вдоль этого полярного радиуса. Абсолютная скорость точки

$$C: \bar{v}^a = \bar{v}^r + \bar{v}^e, \text{ где относительная скорость точки } C \quad v^r = \frac{dR}{dt} = \omega R', \text{ переносная}$$

скорость $v^e = \omega R$. Вектор \bar{v}^r направлен в отрицательную сторону R к центру A , $\bar{v}^r \perp \bar{v}^e$. Здесь $v^r = -R'$ является аналогом радиальной, а $v^e = R$ - аналогом переносной скоростей. Тогда аналог абсолютной скорости точки C

$$v_\varphi = \sqrt{R'^2 + R^2}, \text{ где } R \text{ и } R' \text{ определяются по (2).}$$

Формулы определения скорости точки C в обоих случаях совпадают.

Диаграмма изменения линейных скоростей центра ролика бегунка представлена на рис.4.

Если рассмотреть плоское движение ролика бегунка, то аналоги угловых скоростей и ускорений ролика имеют вид

$$\omega_{1\varphi} = \frac{v_\varphi}{r} = \frac{\sqrt{R'^2 + R^2}}{r}, \quad \varepsilon_{1\varphi} = \frac{R'(R'' + R)}{r \sqrt{R'^2 + R^2}}.$$

а) Ускорения центра C ролика бегунка при координатном способе определения имеют вид:

$$x''_\varphi = R''_\varphi \cos \varphi - 2R'_\varphi \sin \varphi - R \cos \varphi, \quad y''_\varphi = R''_\varphi \sin \varphi + 2R'_\varphi \cos \varphi - R \sin \varphi,$$

$$w = \sqrt{x''_\varphi^2 + y''_\varphi^2} = \sqrt{(R''_\varphi - R)^2 + 4R'^2};$$

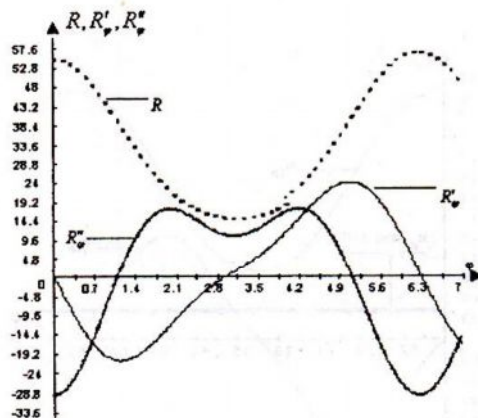


Рис.3 Диаграмма R, R', R''

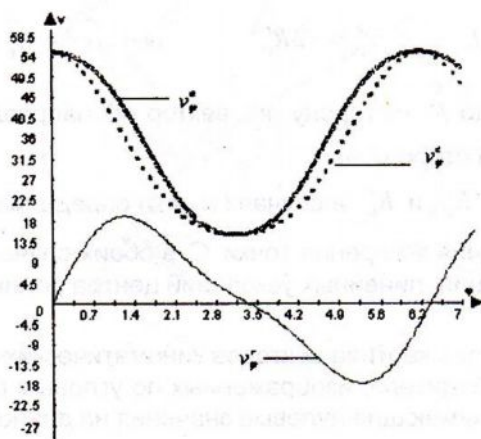


Рис.4. Диаграмма аналогов скоростей центра ролика бегунка

Диаграмма изменения угловых кинематических параметров представлена на рис.5.

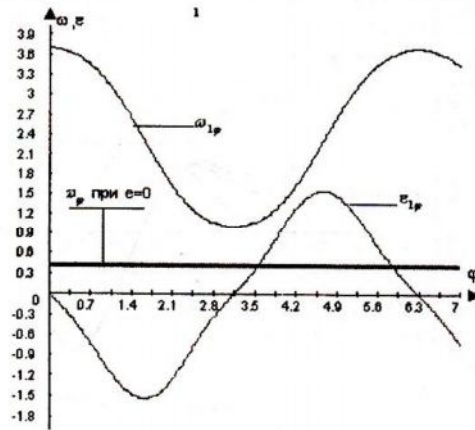


Рис.5. Диаграмма угловых скоростей и ускорений

б) Найдем ускорение точки C , совершающую сложное движение, по теореме Кориолиса: $\bar{w} = \bar{w}^r + \bar{w}^e + \bar{w}^k$.

Аналоги относительного, переносного и Кориолисового и полного ускорения точки C :

$$w_\varphi^r = -R_\varphi'', \quad w_\varphi^e = R, \quad w_\varphi^k = -2R_\varphi', \quad w = \sqrt{w_n^2 + w_\tau^2} = \sqrt{(R_\varphi'' - R)^2 + 4R_\varphi'^2}.$$

Вектор \bar{w}^r направлен по R в сторону \bar{v}^r , вектор \bar{w}^e направлен к центру A и вектор $\bar{w}^k \perp \bar{v}^r$ и направлен в сторону ω .

Выражения для R , R_φ' и R_φ'' в случаях а) и б) определяются по (2).

Формулы определения ускорения точки C в обоих случаях совпадают.

Диаграмма изменения линейных ускорений центра ролика бегунка представлена на рис.6.

На рис.7 представлена картина векторов кинематических величин центра C ролика бегунка вибровозбудителя, изображенных по угловым секторам и на границах секторов. Вектора, принимающие нулевые значения на данном секторе не показаны. Сектора разделены:

-сектор I: $0 \leq \varphi \leq \varphi_1$, $\varphi_1 = \arccos \frac{e}{\sqrt{(R_0 - r)^2 + e^2}}$, при $\varphi = \varphi_1$ $R_\varphi'' = 0$;

-сектор II: $\varphi_1 \leq \varphi \leq \pi$;

-сектор III: $\pi \leq \varphi \leq \frac{3\pi}{2} + \varphi_1$;

-сектор IV: $\frac{3\pi}{2} + \varphi_1 \leq \varphi \leq 2\pi$;

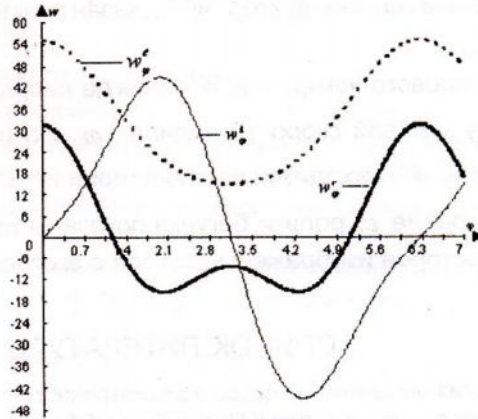


Рис.6. Диаграмма аналогов ускорений центра ролика бегунка

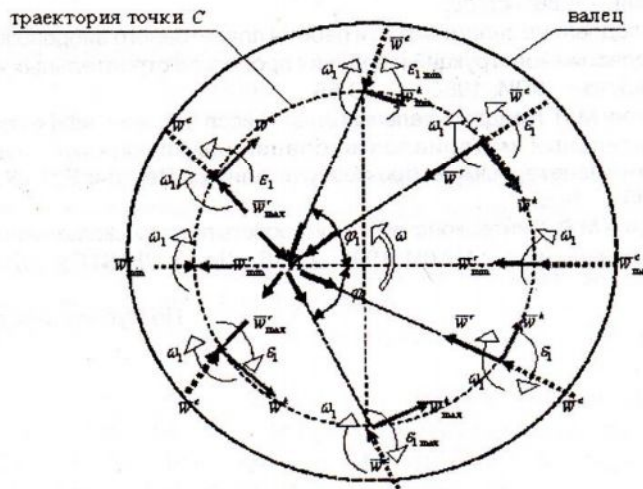


Рис.7. Картина кинематических величин центра С ролика бегунка

Вокруг точки A - центра вращения водила - в круговую расположен вектор относительной скорости центра C ролика бегунка \vec{v}^r , который направлен вдоль оси водила. Направление вектора \vec{v}^r указывает движение точки C к центру или от центра в данном секторе.

Вектора ускорений расположены в круговую на траекторий точки C .

Вектор относительного ускорения точки C \vec{w}^r также направлен вдоль водила AC . Вектор \vec{w}^r показан направленным к центру или от центра зависимости от принимаемых значений на данном секторе и расположен ниже траектории.

Вектор переносного ускорения \bar{w}^e (центростремительное) всегда направлен от точки C к точке A . На картине вектор \bar{w}^e показан пунктирной стрелкой и расположен выше траектории.

Вектор Кориолисового ускорения \bar{w}^k всегда направлен перпендикулярно к вектору \bar{v}^r в сторону угловой скорости водила ω . На изображающей картине точка приложения вектора \bar{w}^k находится на траектории и $\bar{w}^k \perp \bar{w}^r, \bar{w}^e$. Угловая скорость ω_1 и угловое ускорение ε_1 ролика бегунка показаны дуговыми стрелками.

На границах секторов изображены вектора с экстремумами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермилов А.Б. Анализ рабочего процесса асимметричного планетарного вибровозбудителя, оборудованного поводковы водилом // Повышение эффективности рабочих органов и агрегатов дорожно строительных машин: Сб. науч. тр. –М.: МАДИ, 1984. –С. 76-85.
2. Ермилов А.Б. Условия движения инерционного бегунка асимметричного планетарного вибровозбудителя // Моделирования и интенсификация рабочих процессов дорожных машин. Сб. науч. тр. –М.: МАДИ., 1985. –С. 95-109.
3. Ермилов А.Б., Дудкин М.В. Определение граничных условий проскальзывания инерционного бегунка асимметричного планетарного вибровозбудителя. –М.: МАДИ, 1988, –С. 9. –Деп. в ЦНИИТЭстоймаш, –№ 86. –сд 88.
4. Ермилов А.Б. Исследование энергоемкости работы планетарного вибровозбудителя дорожных машин // Исследование конструкций и рабочих процессов строительных и дорожных машин. Сб. науч. тр. –Фрунзе: ФПИ, 1986. –С. 60-66.
5. Нураков С.Н., Дудкин М.В. Предварительный анализ исследований эффективности уплотнения дорожно-строительных материалов вибрационными катками с дебалансовыми и асимметричными планетарными вибро-возбудителями // Вестник ВКГТУ № 4/ ВКГТУ, –Усть-Каменогорск, 2001. –18 с.
6. Ермилов А.Б., Дудкин М.В. Синтез конструкций устройств противоскольжения вибровозбудителя для уплотняющих машин. –М.: МАДИ, 1991. –С. 16. –Деп. в ЦНИИТЭстоймаш, –№ 26. –сд 91.

Поступила в редакцию 06.04.2005.