

## Почвообрабатывающие орудия с источником направленных колебаний

*М.М. Константинов, д.т.н., профессор, С.Н. Дроздов, к.т.н., А.У. Туманов, аспирант, Х.С. Кукаев, аспирант, И.Д. Найманов, аспирант, ФГБОУ ВПО Оренбургский ГАУ*

Интенсификация производственных процессов в земледелии, которая началась в 60-е гг. прошлого века, привела к уплотнению почвы машинно-тракторными агрегатами (МТА). В результате снизилось плодородие почв и проявилась неэффективность существующих способов возделывания сельскохозяйственных культур. Следствием применения энергонасыщенных тракторов и других мобильных машин стало уплотнение почвы на глубину до 1 м. Нарушились водно-воздушный и питательный режимы в корнеобитаемом слое, возросла эрозия почвы. Поэтому основная задача на сегодня – уменьшить уплотнение почвенного слоя.

Наметилось три основных способа снижения уплотнения почвы [1]:

- 1 – снижение степени уплотнения;
- 2 – разуплотнение;
- 3 – предотвращение уплотнения.

На современном этапе развития науки и техники уплотнение почвы полностью устранить нельзя. Наиболее распространённый из предложенных способов – разуплотнение за счёт глубокого механического рыхления [1].

Мировые производители почвообрабатывающей техники предлагают различные рыхлители для основной обработки почвы. Основной их недостаток – большое тяговое сопротивление, а соответственно эксплуатация таких орудий возможна только с энергонасыщенными тракторами.

Поэтому первостепенной задачей совершенствования почвообрабатывающих орудий для основной обработки почвы является снижение энергоёмкости рыхлителей за счёт использования вибрации в конструкции рыхлителя путём применения источника вынужденных колебаний.

**Материалы и методы исследования.** Идея использовать вибрацию на почвообрабатывающих орудиях не нова. Ещё в 1920-е гг. В.П. Горячкин предложил теорию разрушения материалов за счёт колебаний. Позднее эта идея была реализована в трудах И.М. Бурмина, А.А. Дубровского, И.И. Быховского, М.М. Крылова, В.И. Цветникова [2–5]. Однако предлагаемые конструкции воздействия вынужденных колебаний основаны либо на колебаниях рабочих органов, либо имели ненаправленные (хаотичные, круговые) колебания. В настоящее время попытки использовать вибрацию на почвообрабатывающих орудиях выполнены в Оренбургском ГАУ [6, 7].

Предлагаемый нами способ снижения тягового сопротивления рыхлителей для обработки почвы основан на использовании вибратора в виде трёх

дебалансов, установленных на раме рыхлителя. Вибровозбудитель будет создавать вынужденные направленные колебания только в горизонтальном направлении (рис. 1).

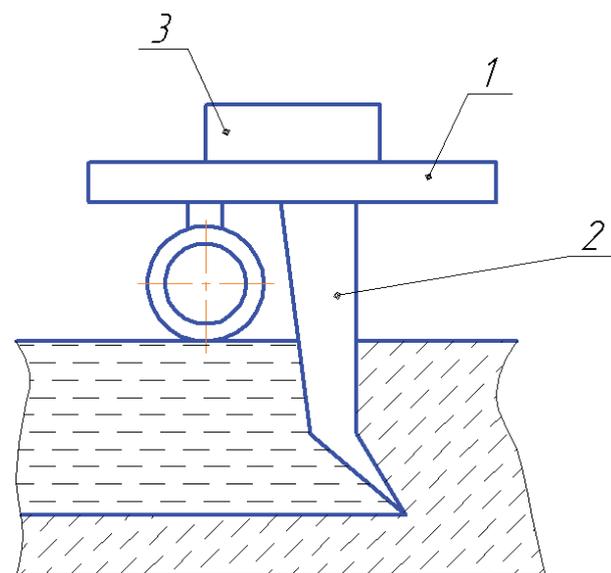


Рис. 1 – Рыхлитель с вибровозбудителем:  
1 – рама рыхлителя; 2 – рабочий орган; 3 – вибровозбудитель

**Результаты исследования.** При работе сельскохозяйственного трактора с рыхлителем возникает тяговое сопротивление за счёт воздействия слоя почвы на рабочий орган 2. При этом тракторист включает в работу дебалансный вибровозбудитель 3, установленный на раме рыхлителя 1 и имеющий привод от электродвигателя, гидромолоты или вала отбора мощности. Дебалансный вибровозбудитель 3 имеет три дебаланса 4 и 5 (рис. 2), которые выполнены в виде зубчатых колёс и входят в зацепление друг с другом. Это позволяет получить жёсткие выходные параметры, т.е. вращение с равными угловыми скоростями.

Рыхлитель с вибровозбудителем работает следующим образом (рис. 2). Центральный дебаланс 5 имеет удвоенную массу эксцентрика по сравнению с дебалансами 4, что позволяет при определённых положениях дебалансов (рис. 2а, в) компенсировать вертикальную составляющую возмущающих сил. При положениях дебалансов, представленных на рисунке 2б, г, центробежные силы от каждого дебаланса действуют только в горизонтальной плоскости, увеличивая действие суммарной возмущающей силы  $F + 2F + F$  в несколько раз, периодически меняя своё направление.

Рассмотрим вынужденные колебания, в которых рабочий орган 2 с рамой 1 приводится в колебательное движение центробежным вибровозбудителем 3,

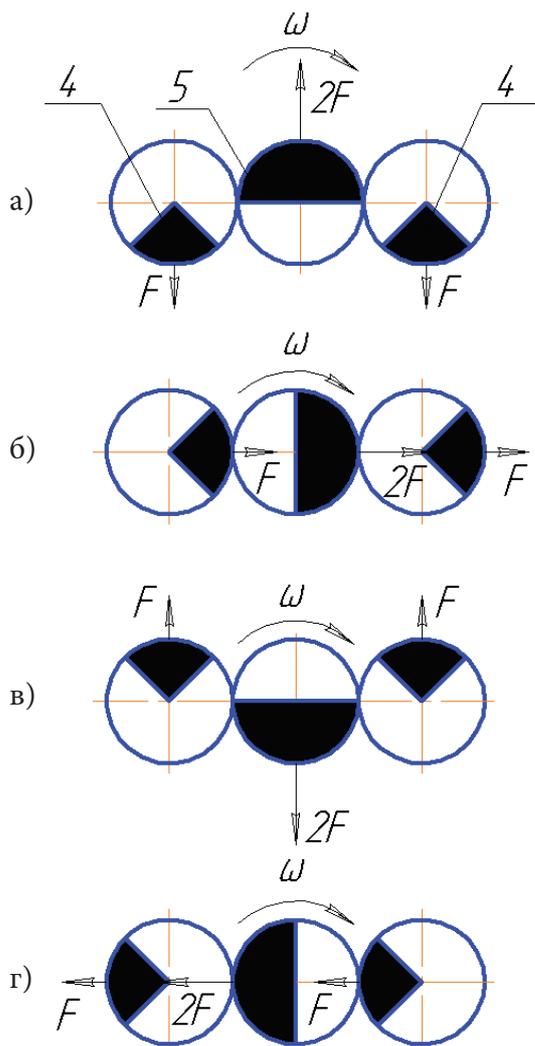


Рис. 2 – Действие возмущающих сил в дебалансном вибровозбудителе при этапном повороте дебалансов на 90°

генерирующим направленную вынужденную силу  $F + 2F + F$  (рис. 3). Динамическое управление траекторией вибрации можно рассмотреть в виде центрированной системы, если предположить, что центробежная сила дебаланса, равнодействующих упругих и диссипативных сил всё время проходит через центр тяжести рабочего органа, точку  $O$ . Вынуждающая сила совпадает с осью  $Ox$ , осями жёсткости и сопротивления.

Запишем дифференциальное уравнение движения рабочего органа под действием вынужденных колебаний в горизонтальной плоскости:

$$(m_1 + m_0)\ddot{x} + b_x\dot{x} + \tilde{n}_0\tilde{d} = F_x \sin \omega t, \quad (1)$$

где  $m_1$  – масса почвообрабатывающего орудия, кг;  
 $m_0$  – общая масса дебалансов, кг;  
 $x$  – соответственные перемещения относительно оси  $X$ , м;  
 $c_x$  – жёсткость почвы в горизонтальной плоскости, Н/м;  
 $b_x$  – коэффициент сопротивления от почвы, Н·с/м;

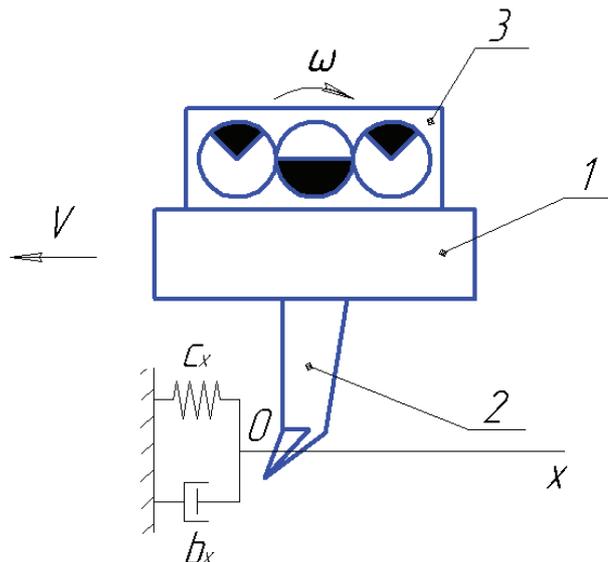


Рис. 3 – Модель взаимодействия почвы с рабочим органом при центробежном возбуждении колебаний

$F_x$  – амплитудное значение возмущающей силы относительно оси  $X$ , Н;  
 $\omega$  – угловая скорость вращения дебаланса, рад/с;  
 $t$  – время, с.  
 При этом

$$F_x = F + 2F + F, \quad (2)$$

$$F = m_0 \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega t. \quad (3)$$

где  $r$  – расстояние центра масс дебаланса от точки вращения, м.

Решение уравнения 1, описывающее установившиеся колебания, имеет вид:

$$x = x_a \cos(\omega_x t - \varphi_x), \quad (4)$$

где  $x_a$  – амплитуда вынужденных колебаний по направлению оси  $X$ , м;

$\varphi_x$  – фазовый угол начального положения дебалансов, рад.

Разделим левую и правую части уравнения 1 на  $m$  и заменим:  $2n = \frac{b}{m}$ ,  $m = m_1 + m_0$ , а  $\Omega^2 = \frac{c}{m}$ .

Тогда

$$x_a = \frac{F_x}{m \cdot \sqrt{(\Omega_x^2 - \omega^2)^2 + 4n_x^2 \omega^2}}, \quad (5)$$

$$\varphi_x = \arctg \frac{2n_x \omega}{\Omega_x^2 - \omega^2}. \quad (6)$$

В результате рыхлитель вместе с рабочими органами будет совершать только направленные вынужденные колебания в горизонтальной плоскости относительно точки  $O$  с амплитудой виброперемещения  $x_a$  (рис. 4), что будет влиять на разрушение структуры почвенного слоя по всей глубине обработки.

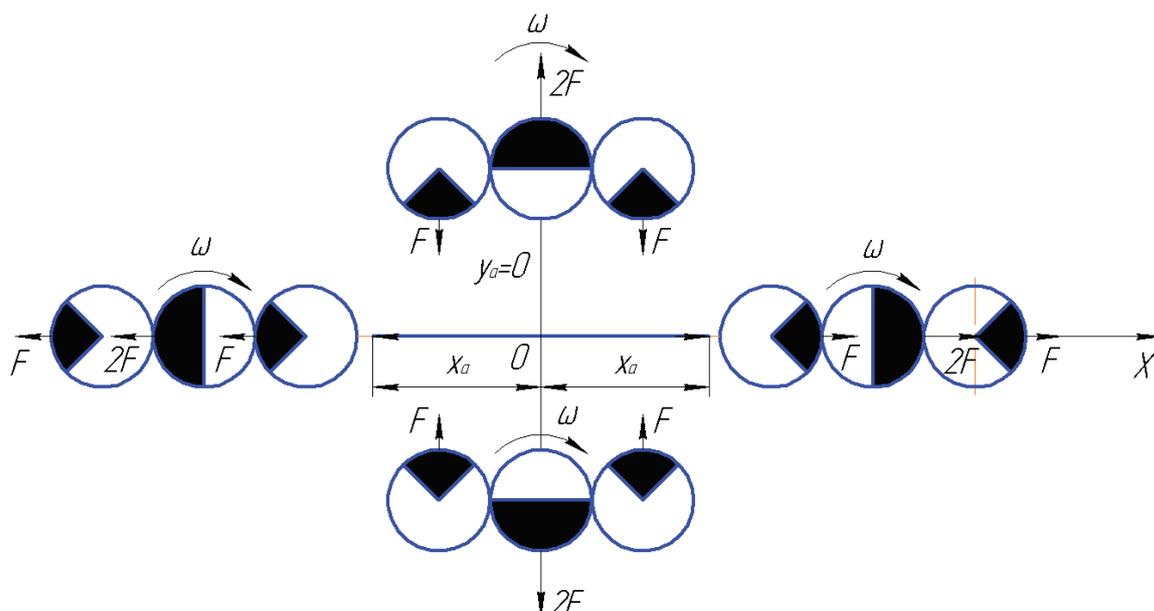


Рис. 4 – Амплитуда виброперемещения почвообрабатывающего орудия при различных положениях дебалансов

**Выводы.** На основании теоретических исследований установили, что механические инерционные возбудители имеют возможность создать направленные колебания, которые в достаточной степени регулируемы и практически независимы от условий внешней среды [4, 8].

Однозначно говорить о преимуществах и недостатках предлагаемого устройства нельзя. Исходя из нашего опыта работы с аналогичными орудиями, можно предположить снижение тягового сопротивления на 20–40% [4]. Кроме установки вибровозбудителя на раме рыхлителя, необходимо обеспечить устойчивую работу почвообрабатывающего агрегата.

В настоящее время накоплен большой опыт по снижению тягового сопротивления почвообрабатывающих орудий. Проведение экспериментальных исследований позволяет объективно судить о перспективах использования глубокорыхлителей с предлагаемым вибровозбудителем.

Исследования по использованию вынужденных колебаний в теории глубокорыхлителей является

достаточно актуальным, а внедрение машин для обработки почвы с вибровозбудителем и обоснование их оптимальных параметров имеет важное народнохозяйственное значение.

#### Литература

1. Токушев Ж.Е. Теоретические основы расчёта орудий для глубокого рыхления плотных почв // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2003. № 10. С. 27–29.
2. Бурмин И.М. Исследование оптимальных режимов вибрации почвоуглубителей // Состояние и перспективы развития почвообрабатывающих машин, фрез и культиваторов. Материалы НТС ВИСХОМ. Вып. 25. М., 1968.
3. Горячкин В.П. Собрание сочинений. Т. 2. М.: Колос, 1968. 480 с.
4. Дубровский А.А. Вибрационная техника в сельском хозяйстве. М.: Машиностроение, 1968.
5. Цветников В.И. Исследование влияния вынужденной вибрации плуга на расход мощности при вспашке: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Л., 1953.
6. Константинов М.М., Дроздов С.Н. Снижение тягового сопротивления комбинированных широкозахватных машин // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 6. С. 34–36.
7. Пат. №2415526 Российская Федерация, А01В35/32, А01В39/28. Почвообрабатывающий агрегат / Константинов М.М., Юхин Д.П., Дроздов С.Н.; заявл. 09.10.2009; опубл. 10.04.2011, Бюл. № 10.
8. Коган А.Б., Швейкин А.П. Исследование плуга с вибрирующими долотами // Состояние и перспективы развития почвообрабатывающих машин, фрез и культиваторов. Материалы НТС ВИСХОМ. Вып. 25. М., 1968. С. 157–161.