УДК 631.31

Анализ работы вибрационного культиватора*Иванов А.С., Трофимов С.Ю.**Государственный аграрный университет Северного Зауралья***Аннотация**

Вибрация может значительно снижать тяговое усилие машин. Измельчение почвы повышается с частотой колебания органа. Было установлено, что размер кусков почвы зависит от соотношения скорости агрегата и частоты вибрации органа. Кроме того, сила тяги и расход топлива снижаются по сравнению с машинами без вибрационных рабочих органов. Снижение тягового усилия – наиболее важный показатель эффективности применения вибрационных рабочих органов. Цель исследования - изучение влияния применения вибраций на разных частотах к культиватору на его рабочие характеристики, а также колебательного движения на двух частотах и с постоянными амплитудами на силу тяги рабочего органа и свойства грунта. Влияние частоты вибрации на тяговое усилие имеет большее значение, чем глубина обработки почвы. Эти два фактора являются основными и наиболее значимыми в отношении тягового усилия. Глубина обработки также значительно влияет на силу тяги. Она возрастает до 54% при увеличении глубины обработки со 100 до 200 мм. Аналогичен результат и с глубиной от 300 до 400 мм. Увеличение тягового усилия происходит из-за более высокого дополнительного давления почвы и возрастания сил трения в системе «почва-металлическая поверхность рабочего органа».

Ключевые слова: ОБРАБОТКА ПОЧВЫ; КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ; РЫХЛЕНИЕ ПОЧВЫ; ВИБРАЦИЯ

Введение

Обработка почвы машинами с применением вибрации – это процесс, при котором почвообрабатывающий орган может колебаться в определенном заданном режиме. Колебательные рабочие органы имеют ряд преимуществ по сравнению с пассивными почвообрабатывающими орудиями. Вибрация может значительно снижать тяговое усилие машин. Во многих научных работах отмечается, что колебательные рабочие органы

требуют на 50-60% меньше тягового усилия по сравнению с неподвижными [1]. Тем не менее, существуют противоречивые результаты относительно общей потребляемой мощности вибрационных почвообрабатывающих машин. Измельчение почвы повышается с частотой колебания органа, и было установлено, что размер кусков почвы зависит от соотношения скорости агрегата и частоты вибрации органа. Кроме того, сила тяги и расход топлива снижаются по сравнению с машинами без вибрационных рабочих органов [2].

Разрушение почвы культиваторной лапой происходит из-за растяжения, которое требует гораздо меньших затрат энергии, чем при сжатии, что характерно для обычных почвообрабатывающих орудий, в которых разрушение почвы происходит при сдвиге. Более того, у почвы низкая прочность на растяжение. Увеличение площади поперечного сечения нарушенной почвы приводит к уменьшению удельной тяги, тем самым повышая эффективность обработки почвы машиной [3].

Снижение тягового усилия – наиболее важный показатель эффективности применения вибрационных рабочих органов [4]. Однако рама трактора может испытывать сильные вибрации из-за колебательных движений органа при резании почвы. Отношение скорости вибрации рабочего органа к скорости движения агрегата является важным критерием эффективности работы вибрационного рабочего органа при разрушении почвы:

$$\lambda = \frac{\alpha \omega \cos \beta}{V} \quad (1)$$

где λ – коэффициент, учитывающий влияние скоростей; V – скорость движения трактора (м/с); α – амплитуда колебаний режущей кромки рабочего органа, м, ω – угловая скорость рабочего органа (рад/с); β – угол наклона рабочего органа, °.

Если коэффициент, учитывающий влияние скоростей λ будет меньше единицы, то сила тяги не будет снижаться. Другими словами, уменьшение тягового усилия может быть достигнуто с помощью вибрационного механизма, когда максимальная скорость вибрации значительно больше, чем скорость движения трактора [5]. Таким образом, наконечник режущей кромки органа перемещается назад относительно почвы во время каждого вибрационного цикла. Следовательно, с увеличением отношения скоростей среднее тяговое усилие уменьшается. По сравнению с режимом без вибрации, тяговое усилие вибрирующего культиватора значительно уменьшается, но общая потребляемая мощность увеличивается. Однако имеются данные, что почвообрабатывающая машина при частоте вибрации 3,3 Гц требует наименьшего энергопотребления, которое может достигать 26%.

Предыдущие исследования показали, что вибрационная обработка почвы может увеличить крошение почвы, уменьшить тяговое усилие рабочего органа и насыпную плотность почвы. Таким образом, существует значительный потенциал использования почвообрабатывающих орудий с применением вибрации.

Цель исследования - изучение влияния применения вибраций на разных частотах к культиватору на его рабочие характеристики, а также колебательного движения на двух частотах и с постоянными амплитудами на силу тяги рабочего органа и свойства грунта.

Материалы и методы

Передний угол культиваторной лапы 15° (угол передней кромки), угол изгиба 10° (угол задней кромки), общей длиной 350 мм (перпендикулярно направлению движения) и ширина лапы 110 мм (рис. 1). Следовательно, угол колебания в уравнении (1) в этом культиваторе будет минимальным из-за положения стойки относительно точки поворота. Хвостовик и лапа органа изготовлены из стального листа толщиной 10 мм. Кривошипный следящий механизм необходим для обеспечения заданных колебаний органа. Ползун с эксцентриковым штифтом на диске предназначен для преобразования вращательного движения в возвратно-поступательное (рис. 2). Эксцентриситет пальца от центра диска 25 мм, это означает, что область боковой амплитуды 50 мм. Согласно рис. 1, плоскости разрушения почвы у вибрационного культиватора образуются от внешней режущей кромки органа.

Рис. 1. Диапазон перекрытия при обработке почвы рабочими органами

Таким образом, возвратно-поступательное движение рабочего органа будет перпендикулярно движению трактора, поэтому для монтажа рабочих органов использовались два подшипника скольжения на верхнем шарнире (рис. 2). Другая ось шарнира с двумя подшипниками скольжения использовалась для предотвращения вращения рабочих органов вокруг верхней штанги шарнира. Кроме того, чтобы избежать вибрации выходного вала коробки передач, был использован сдвоенный подшипник во втулке. Диаметр верхнего и нижнего валов равен 30 и 20 мм, исходя из напряжения изгиба ($10,11 \text{ кг} \cdot \text{мм}^{-2}$) и напряжения скручивания ($5,60 \text{ кг} \cdot \text{мм}^{-2}$).

Рис. 2. Вибрационный культиватор

На поле были пожнивные остатки стерни ячменя с предыдущего сезона. Поле было разделено на равные части, каждая из которых была разделена на участки шириной 3 000 мм и длиной 50 000 мм. Средняя скорость движения трактора составила 8 км/ч.

Полевые характеристики культиватора с двумя гнутыми лонжеронами оценивались в режимах отсутствия вибрации и вибрации с двумя частотами колебаний 0,88 и 2 Гц, при работе на двух глубинах 100 и 200 мм и влажности почвы 0,7 и 0,9 предела пластичности. Предел пластичности почвы – это содержание влаги, которое может быть выражено в

процентах от веса высушенной в печи почвы на границе между пластичным и полутвердым состояниями консистенции. Следовательно, согласно уравнению 1 отношение линейной скорости вибрирующего органа к скорости движения трактора (отношение скоростей) было больше единицы для двух частот вибрации.

Результаты исследования

Состав почвы - суглинок, содержащий 38% глины, 20,2% песка и 41,8% ила. В ходе исследований было установлено значительное влияние частоты вибрации на тяговое усилие вибрационного культиватора с двумя лапами. При уменьшении частоты вибрации с 2 до 0,88 Гц сила тяги увеличивалась до 40 % (табл. 1).

Значения коэффициента буксования колес трактора при отсутствии вибрации и вибрации с частотой 2 Гц составили 15 и 10% соответственно. Влияние вибрации эквивалентно действию дополнительной силы, приложенной к рабочему органу, которая влияет на силу тяги и силы трения между рабочим органом и почвой. В аналогичных исследованиях снижение частоты вибрации (от 0,93 до 0,63 Гц) привело к увеличению тяги, использование более высокой частоты вызывает большее разрыхление почвы [2]. Оптимальная частота составляет около 3,3 Гц (передаточное число 1,5), поэтому требуется меньше мощность двигателя трактора, а значит возможно применение тракторов меньшего класса тяги, необходимых для агрегатирования культиватора.

Таблица 1. Влияние частоты вибрации, влажности почвы и глубины обработки на тяговое усилие вибрационного культиватора.

Тяговое усилие (кН)	
Частота (Гц)	
0.0	6.38
0.88	5.37
2	2.22
Пластичность почвы	
0.7	3.59
0.9	4.00
Глубина обработки (мм)	
100	2.99
200	4.61

Когда содержание влаги в почве возрастает, то и значительно увеличивается требуемая сила тяги, на 11% (табл. 2). Вибрирующий рабочий орган разрушает сухой слой почвы и тем самым снижает тяговое усилие, поскольку повышаются пиковые напряжения деформации почвы вследствие вибрации и увеличивается кинетическая энергия частиц почвы. Глубина обработки также значительно влияет на силу тяги. Она возрастает до 54% при увеличении глубины обработки со 100 до 200 мм. Аналогичен результат и с глубиной от 300 до 400 мм.

Таблица 2. Коэффициент детерминации и F-значение площади поперечного сечения почвы вибрационного культиватора с двумя лонжеронами

	Глубина обработки	Влажность почвы	Частота вибрации
F-значение	38430	10,6	273,3
R ² (%)	98,9	0,02	0,7

Примечания: R – коэффициент детерминации

Увеличение тягового усилия происходит из-за более высокого дополнительного давления почвы и возрастания сил трения в системе «почва-металлическая поверхность рабочего органа». Можно отметить, что влияние частоты вибрации на тяговое усилие имеет большее значение, чем глубина обработки почвы. Эти два фактора являются основными и наиболее значимыми в отношении тягового усилия (рис. 3).

Рис. 3. Соотношение частоты вибрации и глубины обработки с силой тяги вибрационного культиватора

Обработка результатов исследования показала, что влияние частоты вибрации и глубины обработки на площадь поперечного сечения разрабатываемого слоя почвы было весьма значительным. Площадь увеличивалась с возрастанием частоты вибрации и глубины обработки на 6 и 112% соответственно. Судя по коэффициенту детерминации, глубина обработки оказалась более весомым фактором, чем влажность почвы и частота колебаний на данной площади поперечного сечения (табл. 2).

Дисперсионный анализ показал, что влажность почвы не оказала значительного влияния. При увеличении глубины обработки со 100 до 200 мм было выявлено, что прирост площади разрабатываемого слоя почвы был выше.

Выводы

Результаты исследования показали, что создание вибрации с частотой 2 Гц на культиваторе с двумя рыхлительными лапами значительно снижает удельную силу тяги почвообрабатывающего агрегата. Снижение удельной нагрузки произошло за счет уменьшения тягового усилия в 1,9 раза и увеличения площади разрабатываемого слоя почвы на 13%. Меньший размер комков при разрыхлении почвы вибрационным культиватором объясняется более эффективной передачей энергии между рабочим органом и частицами почвы.

Список использованных источников

1. Авторское свидетельство SU 165937 A1, 26.10.1964. Культиватор-плоскорез с вибрационными рабочими органами / П.М. Гильштейн, Ю.Н. Писарев По заявке № 830645/30-15 от 11.04.1963.
2. Устинов Н.Н., Мартыненко А.С., Маратканов А.А. Результаты определения крошения почвы при работе вибрационного культиватора // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. - 2021. - № 5 (91). - С. 85-88.
3. Студеникин А.В., Мяло В.В. Методика испытаний вибрационного культиватора // В сборнике: Роль научно-исследовательской работы обучающихся в развитии АПК. Сборник материалов Международной научно-практической конференции обучающихся, посвященной 90-летию со дня рождения Е.П. Огрызкова. - 2019. - С. 311-315.
4. Зеликов В.А. Обоснование параметров вибрационного механизма рабочих органов лесных дисковых культиваторов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. - 2011. - № 194. - С. 83-87.
5. Посметьев В.И., Свиридов Л.Т., Зеликов В.А., Лиференко А.В. Исследование

динамического и вибрационного заглубления дисковой батареи культиватора КЛБ-1,7 // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. - 2009. - № 4. - С. 112-115.

Цитирование:

Иванов А.С., Трофимов С.Ю. Анализ работы вибрационного культиватора [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. – №6. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/7/st_004.pdf. DOI: <https://doi.org/10.51419/20217004>.