

Обоснование рациональной длины прицепной снцы широкозахватного культиватора

Substantiation of rational length of hitch frame for a wide-cut cultivator

А. Ю. НЕСМИЯН, канд. техн. наук

Азово-Черноморский инженерный институт
Донского государственного аграрного
университета, Зерноград, Россия,
nesmiyan.andrei@yandex.ru

A. Yu. NESMIYAN, PhD in Engineering

Azov-Black Sea Engineering Institute
of Don State Agrarian University,
Zernograd, Russia,
nesmiyan.andrei@yandex.ru

Поверхностная обработка почвы, в том числе культивация, — важная составляющая технологий возделывания сельскохозяйственных культур. Теория культиваторов хорошо проработана, но при этом выбор параметров их прицепного устройства сводится к рекомендации соотношения рабочей ширины культиватора и его кинематической длины, примерно равного 1,3—1,5. Это обусловлено необходимостью стабилизации перемещений культиватора относительно направления движения агрегата при наименьшей материалоемкости. Однако теоретическое исследование позволило обосновать предположение, что приведенная рекомендация справедлива только для модульных культиваторов. Для широкозахватных орудий данное соотношение должно смещаться в большую сторону. Экспериментальное исследование показало, что уменьшение длины прицепной снцы широкозахватного культиватора на 1,4 м (соотношение рабочей ширины и кинематической длины примерно равно 1,9) позволяет не только снизить массу орудия, но и увеличить коэффициент использования эксплуатационного времени почвообрабатывающего агрегата на 4 % по сравнению с орудием, длина прицепной снцы которого соответствовала устоявшимся рекомендациям. Оба сравниваемых культиватора обеспечили стопроцентное уничтожение сорной растительности, следовательно, изменение параметров орудия не привело к повышению вероятности его угловых смещений в горизонтальной плоскости и нарушению необходимой степени перекрытия смежных проходов культиваторных лап. Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что уменьшение кинематической длины сельскохозяйственных машин и орудий приводит к повышению эффективности их эксплуатации. Из этого следует косвенный вывод о перспективности разработки и внедрения в производство компактных в продольном направлении широкозахватных машин и орудий.

Ключевые слова: культиватор; прицепное устройство; рабочая ширина; кинематическая длина; отношение; теоретические исследования; экспериментальные исследования; эффективность поверхностной обработки почвы.

Surface tillage, including cultivation, is an important component of crop growing technologies. The theory of cultivators is thoroughly studied, but at the same time the choice of hitch frame parameters is reduced to the recommendation of the ratio of working width of cultivator and its kinematic length, approximately equal to 1.3—1.5. This is due to the necessity of stabilizing the movement of cultivator relatively to the direction of tractor motion with the minimal materials consumption. However, theoretical research allowed to substantiate the assumption, that the mentioned recommendation is valid only for modular cultivators. This ratio should be increased for the wide-cut implements. Experimental research has shown that reduction of length of hitch frame of a wide-cut cultivator by 1.4 m (the ratio of working width and kinematic length equal approximately to 1.9) allows to reduce the weight of implement. Moreover, it allows to increase the utilization coefficient of operating time of soil cultivating unit by 4 %, as compared with an implement having the length of hitch frame which meets well-established guidelines. Both compared cultivators ensure hundred-per-cent eradication of weeds. Thus, the change of implement parameters does not lead to the increase of probability of its angular displacement in horizontal plane, and to violation of the required degree of overlap of adjacent passes of the tines. The findings suggest that the decrease of kinematic length of agricultural machines and implements leads to the increase of their operation efficiency. An indirect conclusion of that is an assumption about the prospects of development and introduction of wide-cut machines and implements that are compact in the longitudinal direction.

Keywords: cultivator; hitch frame; working width; kinematic length; ratio; theoretical research; experimental research; efficiency of surface tillage.

Введение

Поверхностная обработка почвы — важная составляющая технологий возделывания с.-х. культур, которая оказывает существенное влияние на засоренность, плотность, водо- и воздухопроницаемость почв. На современном рынке с.-х. техники представлен широкий ассортимент орудий для поверхностной обработки почвы, которые существенно различаются по конструкционным и параметрическим характеристикам, определяемым назначением орудия (дискование, культивация по стерне, культивация зяби и т.д.) и предполагаемыми условиями его эксплуатации. От конструкции того или иного узла во многом зависит эффективность выполнения технологического процесса и надежность орудия, причем особое значение имеют типы используемых рабочих органов [1].

Для каждого типа рабочих органов характерны свои функциональные достоинства и недостатки. Так, напри-

мер, орудия с дисковыми рабочими органами позволяют производить рыхление почвы на больших скоростях с интенсивным крошением, перемешиванием почвы, измельчением растительных остатков. Применение дисковых орудий позволяет проводить заделку в почву удобрений, а также семян сорняков с целью провокации их прорастания [2]. Тем не менее анализ показателей работы позволил установить, что дисковые орудия имеют ряд существенных недостатков в сравнении с культиваторами.

Культиваторы нашли широчайшее применение в сельском хозяйстве и производятся на таких предприятиях сельхозмашиностроения, как ОАО "Грязинский культиваторный завод", ООО НПХ "Реста", ЗАО "Ярославское РТП", ЗАО "Апшеронский завод "Лессельмаш", ЗАО "РТП Зерноградское", ООО "Буинский машиностроительный завод", ПАО "Червона Зирка" (Украина), Maschio Gaspardo (Италия), Gardena, Köckerling (Герма-

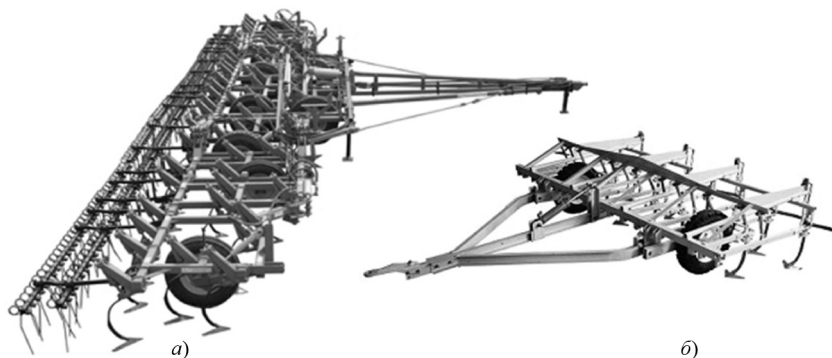


Рис. 1. Паровые культиваторы:

a — широкозахватный культиватор КШУ-18 (ОАО "Грязинский культиваторный завод"); *б* — модульный культиватор КПС-4 (ОАО "Точмаш", г. Донецк)

ния), Kverneland (Норвегия), Grégoire-Besson (Швеция), Hatzembichler (Австрия), Wil-Rich (США), Great Plains (США) и др. [1].

В отличие от дисковых лаповые рабочие органы культиваторов позволяют формировать ровное семенное ложе при предпосевной обработке почвы. Это способствует более равномерной заделке семян и получению более ровных по времени всходов. Рыхление почвы лаповыми рабочими органами происходит без интенсивного выноса нижних влажных слоев на поверхность. Их использование не приводит к образованию микронаклепа или переуплотнению нижнего слоя почвы, как при применении дисковых рабочих органов. Культиваторы более производительны и менее энергоемки, чем дисковые орудия [2].

Современные тракторные культиваторы классифицируют по различным признакам: назначению, ширине захвата (рис. 1) и способу агрегатирования, глубине обработки почвы, отдельным конструкционным особенностям и т.д. Теория культиваторов имеет глубокое обоснование. В то же время выбор параметров прицепного устройства обоснован довольно слабо и сводится, как правило, к рекомендации соотношения рабочей ширины B_p культиватора и его кинематической длины $l_{кин}$. Рациональным считается соотношение $B_p/l_{кин} = 1,3...1,5$ [3], обусловленное необходимостью стабилизации перемещений культиватора относительно направления движения агрегата. Однако данная рекомендация была выдвинута на основании исследований рабочего процесса культиваторов с шириной захвата 3,6—6 м и может оказаться нерациональной применительно к конструкции широкозахватных орудий.

Цель исследования

Цель исследования заключается в обосновании рациональной длины прицепной сниги широкозахватного культиватора.

Материалы и методы

Вследствие неравномерного заглубления рабочих органов, гетерогенности плотности почвы и других причин суммарное сопротивление P_1 и P_2 на рабочих органах с левой и правой сторон культиватора (рис. 2) может варьироваться в широких пределах.

В случае неодинаковости сил P_1 и P_2 возникает крутящий момент M , который способствует угловым перемещениям культиватора в горизонтальной плоскости относительно точки O :

$$M = \Delta P r,$$

где ΔP — разность суммарных сил P_1 и P_2 сопротивления почвы с левой и правой сторон культиватора, Н; r — расстояние от продольной оси культиватора до точки приложения разности сил ΔP , м (при упрощенных расчетах $r \approx 0,25 B_p$).

В то же время возникает момент сил сопротивления M_c повороту культиватора со стороны почвы, который возвращает орудие в исходное положение или

изначально не дает ему отклониться. В упрощенной форме его значение:

$$M_c = T_{иср} n_{ро} l_{кин},$$

где $T_{иср}$ — усредненная сила сопротивления почвы при повороте культиватора, действующая на i -й рабочий орган, Н; $n_{ро}$ — количество рабочих органов культиватора, шт.

Рекомендованное соотношение параметров $B_p/l_{кин} = 1,3...1,5$ обеспечивает соблюдение условия

$$M_c \geq M,$$

что способствует стабилизации хода орудия. Уменьшение кинематической длины $l_{кин}$ приведет к росту вероятности отклонения оси культиватора от направления движения трактора [3], ее увеличение будет способствовать неоправданному увеличению металлоемкости орудия и его габаритов, снижению маневренности и т.д.

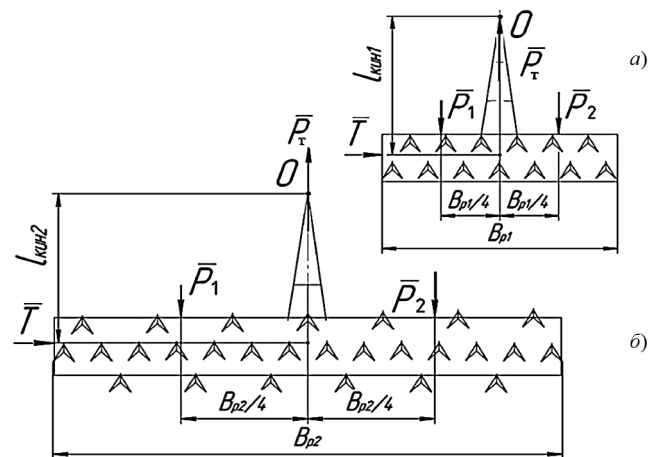


Рис. 2. Схемы действия сил в горизонтальной плоскости:

a — для модульного культиватора; *б* — для широкозахватного культиватора; P_1 , P_2 — суммарное сопротивление на рабочих органах с левой и правой сторон культиватора; T — равнодействующая сил сопротивления повороту культиватора со стороны почвы; $l_{кин1}$, $l_{кин2}$ — кинематическая длина модульного и широкозахватного культиваторов; B_{p1} , B_{p2} — рабочая ширина модульного и широкозахватного культиваторов; O — точка соединения культиватора с трактором

При увеличении рабочей ширины культиватора в k раз (см. рис. 2, б) плечо действия сил P_1 и P_2 также возрастет в k раз. Увеличение ширины захвата орудия будет способствовать выравниванию колебаний нагрузки с обеих сторон от его продольной оси. Соответственно, условий для увеличения разности сил ΔP не создается:

$$M_2 = kM_1.$$

В то же время увеличение ширины захвата культиватора приведет к кратному увеличению количества его рабочих органов. Тогда момент сил сопротивления повороту составит:

$$M_{c2} = T_{icp} n_{po2} l_{кин2} = k T_{icp} n_{po1} l_{кин2}.$$

При условии $l_{кин2} = l_{кин1}$ соотношение моментов рассматриваемых сил для широкозахватного и модульного культиваторов:

$$\frac{M_{c2}}{M_2} = \frac{M_{c1}}{M_1}.$$

Таким образом, проведенный анализ позволяет заключить, что при постоянной кинематической длине культиватора $l_{кин}$ увеличение его рабочей ширины B_p не приводит к нарушению равновесного состояния орудия. С увеличением ширины захвата культиватора соотношение его параметров $B_p/l_{кин}$ может смещаться в большую сторону от изначально рекомендованных значений $B_p/l_{кин} = 1,3...1,5$ [3] без риска возрастания вероятности угловых отклонений от направления движения агрегата. Кроме того, увеличение ширины захвата культиватора приведет к увеличению его массы (инерционности), что также способствует стабилизации хода. В связи с этим в работе предложено при проектировании параметров широкозахватных культиваторов исходить из условия

$$1,5 l_{кин} < B_p,$$

что может быть достигнуто путем относительного уменьшения длины $L_{п}$ прицепной сниги орудия.

Экспериментальное исследование влияния кинематической длины культиватора на устойчивость его хода проводилось на примере культиваторов КППУ-8 в рамках испытаний на Северо-Кавказской МИС (Ростовская обл., г. Зерноград).

Культиватор КППУ-8 для сплошной обработки почвы [4] спроектирован в Институте агроинженерных проблем АЧГАА (сегодня — Центр инжиниринга и трансфера Азово-Черноморского инженерного института Донского ГАУ) и серийно выпускается ЗАО "РТП Зерноградское". На начальном этапе он производился с прицепной сницей длиной около 4 м (рис. 3, а), благодаря чему обеспечивалось отношение ширины захвата орудия к его кинематической длине около 1,44, что соответствует рекомендованным в рамках сложившейся теории значениям $B_p/l_{кин} = 1,3...1,5$. В 2011 г. было проведено обоснование параметров укороченной прицепной сниги культиватора КППУ-8, и разработана конструкторская документация на нее. С этого же года начато производство культиватора КППУ-8 с укороченной прицепной сницей (рис. 3, б), обеспечивающей соотношение $B_p/l_{кин} \approx 1,9$.

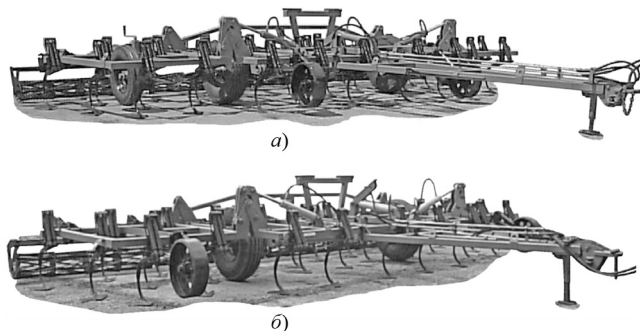


Рис. 3. Культиваторы КППУ-8 для сплошной обработки почвы 2009 г. выпуска (а) и 2011 г. выпуска (б)

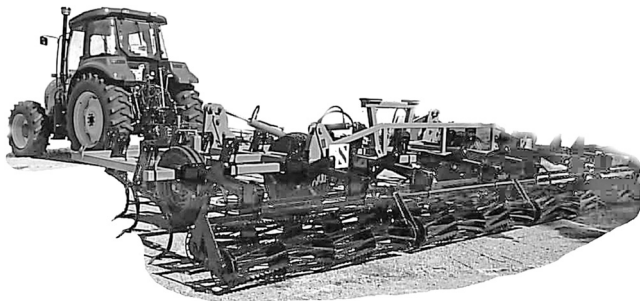


Рис. 4. Культиватор КППУ-8 в агрегате с трактором ЛТЗ-130 в рабочем положении (2009 г.)

В 2009 г. испытания проходил культиватор КППУ-8 с длинной прицепной сницей (рис. 4) [5], а в 2011 г. — усовершенствованный культиватор с короткой сницей [6]. Это позволило сравнить показатели работы культиваторов с различной длиной прицепных сниц. Длина прицепной сниги усовершенствованного культиватора оказалась на 1,42 м меньше, чем в изначальном варианте. Благодаря этому общая длина орудия уменьшилась на 18 %, кинематическая — на 24 %. Масса культиватора уменьшилась примерно на 25 кг.

Результаты и их обсуждение

Эксплуатационно-технологическая оценка культиваторов КППУ-8 проводилась методом контрольных опытов на культивации (зяби) пара на глубину 10—12 см и предпосевной культивации полупара (пара) на глубину 6—8 см. В таблице представлены агротехнические показатели работы исследуемых культиваторов [5, 6].

Из данных таблицы следует, что глубина обработки на всех фонах соответствовала установочной. Получена хорошая устойчивость глубины хода рабочих органов ($\pm 1,01...1,44$ см), косвенно подтверждающая, что кинематическая длина орудия в обоих случаях соответствовала рельефу обрабатываемых полей. Качество крошения не всегда укладывалось в допустимые нормы (не менее 80 %), что может быть объяснено состоянием комков, полученных при предыдущей обработке. После прохода агрегата показатель гребнистости поверхности поля (1,2—3,8 см) находился в пределах агротребований (не более 4 см). Забивания и залипания рабочих органов не наблюдалось [5, 6].

Агротехнические показатели работы культиваторов КППУ-8 при лабораторно-полевых испытаниях

Показатель	Культивация пара (зяби) на глубину 10—12 см		Предпосевная культивация пара (полупара) на глубину 6—8 см	
	2009	2011	2009	2011
Год	2009	2011	2009	2011
Средняя глубина обработки, см	10,8	10,4	7,4	6,8
Стандартное отклонение глубины обработки, см	±1,44	±1,41	±1,09	±1,01
Крошение почвы, % (фракции до 25 мм)	79	82,7	93,9	75,3
Гребнистость поверхности поля, см	3,8	2,9	1,2	2,2
Подрезание сорных растений, %	100	100	100	100

Особо следует подчеркнуть, что и орудие с типичной длинной прицепной сницей в 2009 г., и орудие с укороченной сницей в 2011 г. обеспечили полное подрезание сорняков на всех фонах. Это говорит о том, что предложенное изменение конструкции орудия не привело к его повышенным угловым смещениям в горизонтальной плоскости и нарушению необходимой степени перекрытия смежных проходов культиваторных лап.

При определении показателей работы паровых прицепных универсальных культиваторов КППУ-8 установлено, что коэффициент использования эксплуатационного времени культиватора с укороченной на 1,4 м прицепной сницей в среднем на 4 % выше по сравнению с культиватором с рекомендованной длиной прицепной сницы. Баланс времени работы агрегатов за нормативную продолжительность смены позволил заключить, что повышение коэффициента использования эксплуатационного времени связано именно со снижением затрат времени на повороты и холостые переезды. У усовершенствованного культиватора эти затраты в среднем в 1,34 раза ниже, чем у культиватора с классической длинной прицепной сницы.

Выводы

Уменьшение длины прицепной сницы широкозахватного культиватора на 1,4 м (уменьшение кинематической длины культиватора на 24 %) позволило снизить массу орудия на 25 кг. При этом коэффициент использования эксплуатационного времени культиватора с укороченной сницей был в среднем на 4 % выше, чем у орудия с длинной сницей. Оба сравниваемых орудия обеспечили стопроцентное уничтожение сорной растительности. Это позволяет заключить, что изменение параметров прицепной сницы не привело к повышению вероятности угловых смещений культиватора в горизон-

тальной плоскости и нарушению необходимой степени перекрытия смежных проходов культиваторных лап.

Полученные данные позволяют сделать общий вывод, что обоснованное уменьшение кинематической длины с.-х. машин и орудий приводит к повышению эффективности их эксплуатации. Из этого следует косвенный вывод о перспективности дальнейшей разработки и внедрения в производство компактных в продольном направлении облегченных широкозахватных машин и орудий.

Литература и источники

1. Несмиян А. Ю., Должиков В. В. Обзор культиваторов для сплошной обработки почвы и тенденции их производства // Тракторы и сельхозмашины. 2013, № 4. С. 6—9.
2. Несмиян А. Ю., Кобец М. Г., Должиков В. В. и др. Сравнительные характеристики орудий для поверхностной обработки почвы // Тракторы и сельхозмашины. 2014, № 3. С. 23—25.
3. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин. В 2 т. / Под ред. А. В. Красниченко. Т. 2. М.: Машгиз, 1961. 862 с.
4. Хижняк В. И., Несмиян А. Ю. Современный культиватор для сплошной обработки почвы // Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК: Сб. науч. статей Ставропольского ГАУ. Ставрополь: Агрус, 2011. С. 216—220.
5. Протокол № 11-18-09 (4020652) приемочных испытаний культиватора парового прицепного универсального для предпосевной обработки почвы КППУ-8 от 27 октября 2009 г. Зерноград: Северо-Кавказская МИС, 2009. 57 с.
6. Протокол № 11-24-11 (5020462) периодических испытаний культиватора парового прицепного универсального КППУ-8 от 10 ноября 2011 г. Зерноград: Северо-Кавказская МИС, 2011. 32 с.

References

1. Nesmiyan A. Yu., Dolzhikov V. V. Review of cultivators for continuous tillage and trends of their production. *Traktory i sel'khoz-mashiny*, 2013, no. 4, pp. 6—9 (in Russ.).
2. Nesmiyan A. Yu., Kobets M. G., Dolzhikov V. V., Gladkiy S. A. Comparative parameters of tools for surface tillage. *Traktory i sel'khoz-mashiny*, 2014, no. 3, pp. 23—25 (in Russ.).
3. *Spravochnik konstruktora sel'skokhozyaystvennykh mashin* [Handbook for design engineer of agricultural machines]. Under the editorship of A. V. Krasnichenko. Vol. 2. Moscow, Mashgiz Publ., 1961, 862 p.
4. Khizhnyak V. I., Nesmiyan A. Yu. Modern cultivator for continuous tillage. *Aktual'nye problemy nauchno-tekhnicheskogo progressa v APK: Sb. nauch. statey Stavropol'skogo GAU* [Current issues of scientific and technical progress in agroindustrial complex. Proc. of Stavropol State Agrarian University]. Stavropol, Agrus Publ., 2011, pp. 216—220 (in Russ.).
5. *Protokol no. 11-18-09 (4020652) priemochnykh ispytaniy kul'tivatora parovogo pritsepnogo universal'nogo dlya predposevnoy obrabotki pochvy KPPU-8 ot 27 oktyabrya 2009 g.* [Record no. 11-18-09 (4020652) of acceptance tests of the KPPU-8 general trailed universal cultivator for preplant tillage. October 27, 2009]. Zernograd, North Caucasus Machine-Testing Station, 2009, 57 p.
6. *Protokol no. 11-24-11 (5020462) periodicheskikh ispytaniy kul'tivatora parovogo pritsepnogo universal'nogo KPPU-8 ot 10 noyabrya 2011 g.* [Record no. 11-24-11 (5020462) of periodic testing of the KPPU-8 general trailed universal cultivator. November 10, 2011]. Zernograd, North Caucasus Machine-Testing Station, 2011, 32 p.