УДК 631.31

Согласование тяговых возможностей трактора и рабочего сопротивления почвообрабатывающих машин

В.И. Мельник, С.А. Чигрина

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко (г. Харьков, Украина), victor_melnik@ukr.net

Тяговое сопротивление рабочих органов почвообрабатывающих машин не является постоянным и носит случайный характер. Оно зависит от множества факторов, основные из которых – структурный состав почвы, ее влажность, засорённость, агрофон поля, его рельеф и др..

Из методики определения производительности агрегата следует, что последняя пропорциональна произведению ширины захвата агрегата на рабочую скорость, а само произведение – тяговой мощности, которую развивает трактор. Поскольку функциональная зависимость между тяговым усилием трактора и его рабочей скоростью имеет экстремум, то, следовательно, можно утверждать, что максимальной производительности отвечает только такой агрегат, который обеспечивает загрузку трактора на уровне максимума тяговой мощности. Достигнуть такого условия можно, если применить предлагаемый плоскорежущий почвообрабатывающий агрегат у которого имеется техническая возможность плавного регулирования ширины захвата. Такое регулирование осуществляется за счет изменения степени перекрытия между проходами соседних рабочих органов. Чтобы установить зависимости между степенью перекрытия и тяговым сопротивлением рабочих органов разработали специальное исследовательское почвообрабатывающее орудие. В его конструкцию заложена техническая возможность измерения тягового сопротивления рабочих органов. Для этого задействована пара тензометрических звеньев.

В процессе полевых исследований установлена пропорциональная зависимость между общей шириной захвата плоскорежущего почвообрабатывающего орудия и его тяговым сопротивлением. Подтверждена возможность согласования тяги трактора и рабочего сопротивления почвообрабатывающего орудия путем изменения степени перекрытия рабочих органов, располагающихся на боковых секциях плоскорежущего почвообрабатывающего орудия. Предлагаемый вариант агрегатирования плоскорежущего почвообрабатывающего орудия с трактором обеспечивает достижение максимума производительности агрегата с учетом специфики условий, которые в реальности имеются на конкретном поле.

Ключевые слова: *машинно-тракторный агрегат, почвообрабатывающее орудие, тяговое усилие, тяговая мощность, обработка почвы, сопротивление рабочих органов.*

Общеизвестно, что величина сопротивления рабочих органов сельскохозяйственных почвообрабатывающих орудий зависит от множества факторов, основные из которых – структурный состав почвы, ее влажность, засорённость, агрофон поля, его рельеф и др. Понятно, что все перечисленные факторы являются переменными и по отношению к позиции на конкретном поле, и по отношению ко времени.

При выполнении технологической операции для преодоления сопротивления рабочих органов сельхозмашин трактор должен развивать необходимую тяговую мощность. Поскольку действие перечисленных факторов на рабочие органы имеет стохастическую природу, то итоговое воздействие сельхозорудия на трактор во время выполнения технологического процесса, также имеет случайный характер. Это, соответственно, требует определенного запаса тяговой мощности.

Известная процедура комплектования агрегата, ориентирована на максимум производительности и предполагает, следующие шаги [1]:

а) выбор передачи трансмиссии. Тут критериев два: во-первых, скорость движения должна укладываться в агротехнически допустимый диапазон скоростей и, во-вторых, выбранная передача должна быть максимально близкой к пику тяговой мощности трактора;

б) расчет ширины захвата агрегата и количества машин в нем;

в) корректировка режима роботы агрегата (при необходимости в сторону недогрузки).

Соответственно приведенному алгоритму ожидаемая часовая производительность $W_ч$ (га/ч) агрегата составит [2]:

$$W_ч = 0{,}1 B_p v_p \tau_{см} \quad (1)$$

где B_p – рабочая ширина захвата агрегата (м); v_p – рабочая скорость (км/ч); $\tau_{см}$ – коэффициент использования времени смены; $0{,}1$ – коэффициент, выполняющий согласование единиц измерения входящих в выражение величин.

Рабочее сопротивление сельхозмашины $R_м$ пропорционально ширине захвата B_p и, следова-

тельно, мощность $N_м$, необходимая для приведения сельхозмашины в движение, пропорциональна произведению B_p на v_p:

$$N_м \propto B_p v_p. \quad (2)$$

Необходимая мощность $N_м$ обеспечивается трактором, а, значит, должна быть равной тяговой мощности N_m трактора.

Зависимость (рис. 1) тягового усилия P_m и тяговой мощности N_m от величины рабочей скорости v_p, независимо от агрофона и типа движителя (тракторы Т-150 и Т-70С – гусеничные, а МТЗ-80 – колесный), имеет нелинейный характер и, к тому же, N_m имеет ярко выраженный максимум. Объясняется это тем, что повышение скорости движения трактора сопровождается нелинейно прогрессирующим сопротивлением собственному движению, а снижение скорости – увеличением тягового усилия и, пропорционально, буксования.

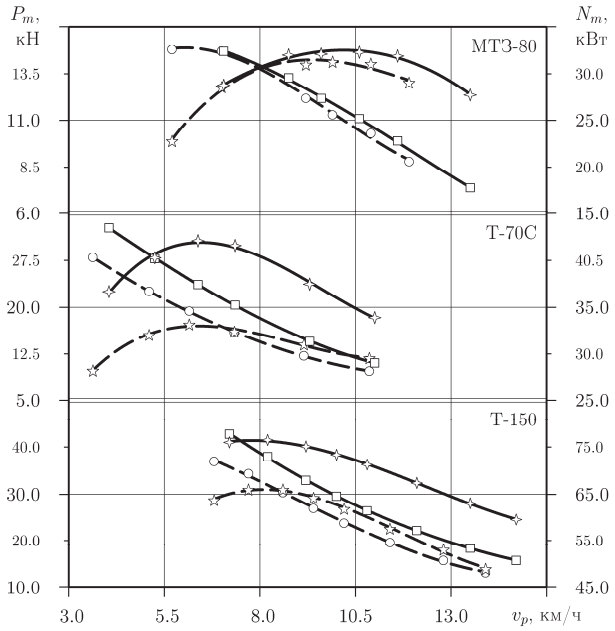


Рис. 1. Зависимость тягового усилия P_m (○, □) и тяговой мощности N_m (☆, ✧) тракторов Т-150, Т-70С и МТЗ-80 от скорости v_p при движении по полю, подготовленному под посев (▬ ▬), и по стерне (▬▬). Аппроксимированные справочные [1] данные.

Вероятность того, что применяя описанную выше процедуру удастся попасть на пик тяговой мощности трактора $N_m = N_{m.\max}$ и соответственно на максимум производительности $W_ч = W_{ч.\max}$ крайне низкая.

Автоматическая трансмиссия трактора также не решает проблему. Она позволяет загрузить двигатель трактора до нормативной величины, но с точки зрения производительности агрегата или расхода топлива этот режим со значительной долей вероятности не является оптимальным.

Проблему усугубляют еще два обстоятельства: во-первых, максимум производительности $W_ч = W_{ч.\max}$ не совпадает с минимумом расхода топлива и, во-вторых, рельеф поля не является плоским и горизонтальным, а значит, в общем случае, оптимальные режимы роботы агрегата на прямом и обратном пути также не совпадают.

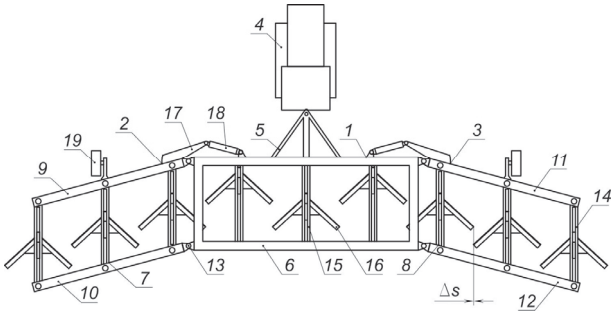
Подводя итог, обратившись к рис. 1, можно сказать, что максимум производительности агрегата соответствует только одной точке на кривой $N_m = N_m(v_p)$, а, значит, для достижения желанного максимума мало иметь автоматическую трансмиссию трактора, необходимо обеспечить техническую возможность плавного регулирования рабочего сопротивления сельхозмашины $R_м$, что, вероятнее всего, проще осуществить путем плавного регулирования ее рабочей ширины захвата B_p.

Целью настоящего исследования является согласование тягового усилия трактора P_m и рабочего сопротивления $R_м$ сельскохозяйственного орудия для сплошной обработки почвы путем придания технической возможности бесступенчатого плавного регулирования его ширины захвата B_p в полевых условиях (возможно даже в процессе рабочего хода) в зависимости от наклона поля, состояния почвы и технических возможностей трактора.

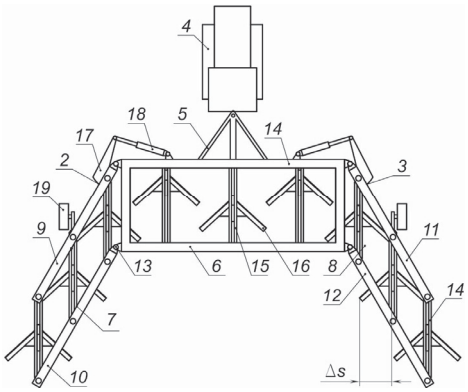
Для достижения поставленной цели разработана трансформирующаяся конструкция прицепного сельскохозяйственного орудия для сплошной плоскорезной обработки почвы (рис. 2) [3].

Такое орудие состоит из центральной 1, правой 2 и левой 3 секций. С трактором 4 сельхозорудие агрегатируется посредством сцепного устройства 5. Рама 6 центральной секции является жесткой. Рамы 7 и 8 левой и правой секций представляют собой силовой параллелограммный механизм, который состоит из поворотных брусьев: левого переднего 9 и заднего 10, правого переднего 11 и заднего 12. С внутренней стороны поворотные брусья 9-12 с помощью вертикальных шарниров 13 присоединены к жесткой раме 6. Между собой поворотные брусья 9-12 попарно соединены посредством шарнирных продольных балок 14. Аналогичные продольные балки 15 есть и в конструкции рамы 6, только соединены они жестко. Все продольные балки 14 и 15 являются элементами жесткости конструкций рам 6, 7 и 8, а также используются для крепления плоскорежущих рабочих органов 16.

© В.И. Мельник, С.А. Чигрина, 2016
© V.I. Melnyk, S.A. Chygryna, 2016



А



Б

Рис. 2. Машинно-тракторный агрегат для сплошной обработки почвы: 1, 2 и 3 – центральная, левая и правая секции; 4 – трактор; 5 – сцепное устройство; 6, 7 и 8 – рамы центральной, левой и правой секций; 9 - 12 – правые передний и задний, а также левые передний и задний поворотные брусья; 13 – вертикальный шарнир; 14 и 15 – шарнирная и жесткая продольная балка; 16 – плоскорежущий рабочий орган; 17 – поворотный рычаг; 18 – гидроцилиндр; 19 – опорное колесо

Узлы складывания параллелограммных механизмов рам 7 и 8 выполнены в виде поворотных рычагов 17 и гидроцилиндров 18. Рычаги 17 жестко закреплены на передних брусьях 9 и 11 и через посредство гидроцилиндров 18 присоединены к центральной жесткой раме 6.

Параллелограммный механизм обеспечивает неизменную ориентацию рабочих органов боковых секций при любой установленной ширине захвата орудия.

Для удержания рабочих органов орудия на заданной глубине используются опорные колеса 19. При уменьшенной ширине захвата орудия (по отношению к максимальной, когда гидроцилиндры 18 находятся в задвинутом состоянии), рабочие органы его боковых секций располагаются с частичным перекрытием по ширине захвата. При этом перекрывающиеся части каждого заднего рабочего органа двигаются в кинематической тени переднего.

За счет этого их тяговое сопротивление уменьшается, а вместе с ним и тяговое сопротивление орудия в целом. Обычно операция по регулированию ширины захвата агрегата выполняется либо в ходе первого прохода агрегата, когда оптимизируется режим его работы, либо каждый раз на краю поля. В последнем есть резон, когда поле имеет наклон.

Предложенное техническое решение можно реализовать в известных конструкциях сельскохозяйственных орудий для сплошной обработки почвы, что даст возможность выполнять регулировку ширины захвата агрегата, тем самым и его тягового сопротивления.

Таким образом, это позволяет согласовать тяговое сопротивление сельскохозяйственного орудия с тяговыми возможностями трактора в соответствии с конкретными условиями работы, включая рельеф поля.

Для выявления характера изменения тягового сопротивления рабочих органов при регулировании ширины захвата сельскохозяйственного агрегата нами было изготовлено исследовательское плоскорежущее орудие на базе узлов и деталей культиватора КПШ-5 (КПШ-9).

Исследовательское орудие (рис. 3) состоит из двух рам – верхней 1 и подвесной 2. Верхняя рама 1 снаряжена сцепным устройством 3 для агрегатирования с трактором. К подвесной раме 2 крепятся рабочие органы 4 – это три плоскорежущие лапы, с шириной захвата один метр. Подвесная рама 2 присоединена к верхней раме 1 с помощью четырех планок-подвесок 5 с возможностью плоскопараллельного перемещения в продольно-вертикальной плоскости. Между рамами 1 и 2 установлены тензометрические звенья 6. Они используются для измерения сил сопротивления, которые испытывают рабочие органы 4 в процессе движения в почве. Кроме того, они фиксируют положение подвесной рамы относительно верхней.

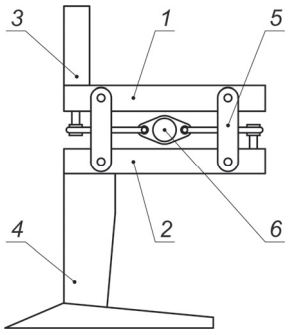


Рис. 3 Схема размещения тензометрических элементов на исследовательском орудии: 1 и 2 – верхняя и подвесная рамы; 3 – сцепное устройство; 4 – плоскорежущие рабочие органы; 5 – планки-подвески; 6 – тензометрическое звено

На рис. 4 показан исследовательский агрегат на базе трактора ХТЗ-200 в процессе проведения испытаний.

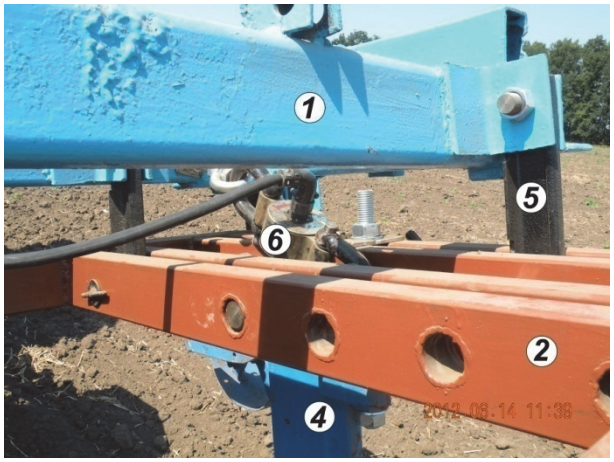


Рис. 4. Исследовательский агрегат на базе трактора ХТЗ-200: 1 и 2 – верхняя и подвесная рамы; 3 – сцепное устройство; 4 – плоскорежущие рабочие органы; 5 – планки-подвески; 6 – тензометрическое звено

Следующая схема (рис. 5) поясняет, каким образом изменяли ширину захвата исследовательского орудия: 1 – режущая кромка рабочего органа; 2 – стойка (поперечное сечение) рабочего органа; 3 – подвесная рама. Конструкцией исследовательского орудия предусматривалась возможность перестановки рабочих органов по направлению ширины захвата с шагом 5 см. При этом средний рабочий орган располагался либо сзади, либо спереди по отношению к соседним (крайним) рабочим органам.

Для измерений использовали разработанную Антощенковым Р.В. мобильную измерительную систему. Её компонентами являются: компьютер, модуль GPS, блок питания, CAN-шина и два тензозвена.

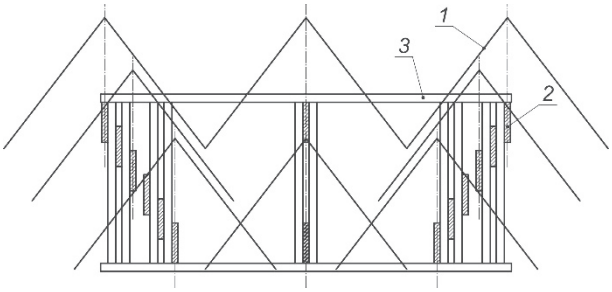


Рис. 5 Схема переустановки рабочих органов исследовательского орудия с целью изменения ширины захвата: 1 и 2 – режущая кромка и стойка рабочего органа; 3 – подвесная рама

Характеристика участка, на котором проводились полевые испытания исследовательского орудия:

- тип почвы – темно-серые оподзоленные почвы несмытые среднесуглинистые на лёссовых породах узких эрозионно-опасных водораздельных плато и пологих склонов;
- рельеф – ровный;
- микрорельеф – ровный;
- структура почвы – мелкокомковатая;
- влажность почвы (%) по слоям (см): 18,27% в слое 0 – 5 см; 17,53% в слое 5 – 10 см; 22,70% в слое 10 – 15 см;
- твердость почвы (МПа) по слоям (см): 1,27 МПа в слое 0 – 5см; 1,53 МПа в слое 5 – 10см; 1,70 МПа в слое 10 – 15см;
- предшествующая обработка – сплошная культивация на глубину 8 – 10 см культиватором КПС-4ПН.

Выводы.

1. В процессе исследований установлена пропорциональная зависимость между общей шириной захвата плоскорежущего почвообрабатывающего орудия и его тяговым сопротивлением.

2. Подтверждена возможность согласования тяги трактора и рабочего сопротивления почвообрабатывающего орудия путем изменения степени перекрытия рабочих органов, располагающихся на боковых секциях плоскорежущего почвообрабатывающего орудия.

3. Предлагаемый вариант агрегатирования плоскорежущего почвообрабатывающего орудия с трактором обеспечивает достижение максимума производительности агрегата с учетом специфики условий, которые в реальности имеются на конкретном поле.

Литература

1. Мельник, В.И. Оптимальное комплектование агрегатов [Текст] / В.И. Мельник, А.Г. Чигрин, П.А. Миронов, А.И. Аникеев // Техника в сельском хозяйстве. – 2006. – № 6. – С. 26 - 31.

© В.И. Мельник, С.А. Чигрина, 2016
© V.I. Melnyk, S.A. Chygryna, 2016

2. Мельник, В.І. Размер поля как фактор снижения потребности в моторном топливе [Текст] / В.І. Мельник, С.А. Чигрина // Праці. Таврійський державний агротехнологічний університет. – Вип. 8, Т. 6. – Мелітополь: ТДАТУ, 2008. – С. 163 -172.

3. Сільськогосподарське знаряддя для суцільного обробітку ґрунту [Текст]: пат. UA 51754 МПК A01B 19/00 / Мельник В.І., Чигрина С.А.; заявники і власники Мельник В.І., Чигрина С.А. – № u 2010 02329; заявл. 01.03.2010; опубл. 26.07.2010, Бюл. №14. – 4с.

Анотація

Узгодження тягових можливостей трактора і робочого опору ґрунтообробних машин

В.І. Мельник, С.А. Чигрина

Тяговий опір робочих органів ґрунтообробних машин не є постійним, а має випадковий характер. Він залежить від безлічі факторів, основні з яких – структурний склад ґрунту, його вологість, засміченість поля, його агрофон, та рельєф тощо.

Загальновідомо, що продуктивність пропорційна добутку ширини захвату агрегату на робочу швидкість, а сам добуток – тяговій потужності, що розвиває трактор. Оскільки функціональна залежність між тяговим зусиллям трактора і його робочою швидкістю має екстремум, то можна стверджувати, що максимальній продуктивності відповідає тільки такий агрегат, який забезпечує завантаження трактора на рівні максимуму тягової потужності. Досягти такої умови можна, якщо застосувати запропонований плоскорізальний ґрунтообробний агрегат у якого є технічна можливість плавного регулювання ширини захвату. Таке регулювання здійснюється за рахунок зміни ступеня перекриття між проходами сусідніх робочих органів. Щоб встановити залежності між ступенем перекриття і тяговим опором робочих органів розробили спеціальне дослідницьке ґрунтообробне знаряддя. В його конструкцію закладена технічна можливість вимірювання тягового опору робочих органів. Для цього задіяна пара тензометричних ланок.

В процесі польових досліджень встановлено пропорційна залежність між загальною шириною захвату плоскорізального ґрунтообробного знаряддя і його тяговим опором. Підтверджено можливість узгодження тяги трактора і робочого опору ґрунтообробного знаряддя шляхом зміни ступеня перекриття робочих органів, розташованих на бокових секціях ґрунтообробного знаряддя. Запропонований варіант агрегатування плоскорізального ґрунтообробного знаряддя з трактором забезпечує досягнення максимуму продуктивності агрегату з урахуванням специфіки умов, які є в реальності на конкретному полі.

Ключові слова*: машинно-тракторний агрегат, ґрунтообробне знаряддя, тягове зусилля, тягова потужність, обробіток ґрунту, опір робочих органів.*

Abstract

Matching tractor traction capabilities and working resistance tillers

V.I. Melnik, S.A. Chygryna

Traction resistance of working bodies of tillage machines isn't constant and has casual character. It depends on a set of factors, basic of which – structural composition of the soil, its humidity, a contamination, soil fertility fields, his relief and other.

Follows from a determination technique of the productivity unit that the last is proportional to the work of the unit capture width on working speed, and the work – to the traction power which is developed by the tractor. As functional dependence between traction effort of the tractor and its working speed has an extremum, therefore, it is possible to claim that the maximum productivity is answered by only such unit which provides loading of the tractor at the level of a traction power maximum. It is possible to reach such condition if to use the offered soil-cultivating flat unit which has a technical capability of smooth regulation of width capture. Such regulation is carried out due to change of extent of overlapping between passes of the next working bodies.

To establish dependences between extent of overlapping and traction resistance working bodies have been developed the special research soil-cultivating tool. In his design technical capability of resistance measurement traction of working bodies is put. Couple of tensometric links are for this purpose involved.

In the course of the field researches proportional dependence between the general width of capture of the soil-cultivating flat tool and its traction resistance has been established. The possibility of coordination draft of the tractor and working resistance of the soil-cultivating tool by change of overlapping extent of the working bodies which have been located on side sections of the soil-cultivating flat tool has been confirmed. The offered option of an aggregation of the soil-cultivating flat tool with the tractor provides achievement of a maximum productivity of the unit taking into account specifics of conditions which in reality are available on the concrete field.

Keywords: *tractor units, tillage equipment, traction, traction cardinality-ness, conservation tillage, the resistance of working bodies.*

Представлено від редакції: М.А. Подригало / Presented on editorial: M.A. Podrygalo
Рецензент: В.Ф. Пащенко / Reviewer: V.F. Pashhenko
Подано до редакції / Received: 16.09.2015

© В.И. Мельник, С.А. Чигрина, 2016
© V.I. Melnyk, S.A. Chygryna, 2016