

Обоснование эффективности гладкой вспашки поворотным плугом

Б.Н. Нуралин, д.т.н., профессор, **М. Галиев**, докторант PhD, Западно-Казахстанский АТУ; **М.М. Константинов**, д.т.н., профессор, **И.В. Трофимов**, к.т.н., **В.А. Прошин**, магистрант, ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ; **А.М. Калимуллин**, к.т.н., ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ

Основным звеном в развитии сельского хозяйства является отрасль растениеводства, эффективность которого зависит от повышения культуры земледелия, увеличения урожайности и снижения производственных затрат. Многочисленные исследования и производственный опыт показывают, что урожайность некоторых зерновых культур на 25–30% зависит от качества подготовки почвы. Значительная роль в решении этого вопроса принадлежит основной обработке почвы с целью насытить почву кислородом; улучшить структуру земли (приобретает рассыпчатую консистенцию, выравнивается); перемешать компоненты, из которых состоит почва; уничтожить семена и корни сорняков; разрыхлить землю, сделать её более тёмной, чтобы лучше прогревалась.

В структуре энергозатрат на возделывание зерновых культур подготовка почвы является самой энергоёмкой операцией сельскохозяйственного производства, её доля составляет от 30 до 40% всех затрат.

Цель – в условиях энергетического кризиса, охватившего всё мировое земледелие, найти пути существенного снижения ресурсозатрат технологий обработки почвы.

Для оценки эффективности системы механизированного возделывания сельскохозяйственной культуры введён коэффициент эффективности технологии:

$$K_{эф} = 1 - \sum_{i=1}^n \frac{(B_i + T_i + A_i) \cdot z + Z_i \cdot \kappa}{\Delta \cdot \left[y - \sum_{i=1}^n \mu_i \cdot \left(\frac{S_i}{0,1 \cdot B_i \cdot v_i \cdot \tau_i \cdot n_i} - d_{нор.i} \right) \right]} \cdot \chi \quad (1)$$

где B_i – балансовая стоимость агрегата, руб.;

z – количество агрегатов, шт.;

T_i – расход топливо-смазочных материалов, руб.;

A_i – амортизационные отчисления на ремонт и техническое обслуживание агрегата, руб.;

Z_i – заработная плата механизаторов при выполнении i -ой операции, руб.;

κ – число механизаторов, чел.;

χ – реализационная цена продукции, руб/ц.;

Δ – размеры площади под возделываемую культуру, га;

$y_{фак}$ – фактическая урожайность, ц/га;

S_i – объём работы при выполнении технологической операции, га;

$0,1 \cdot B_i \cdot V_i \cdot \tau_i$ – дневная производительность агрегата, га (B_i – ширина захвата, м; V_i – рабочая скорость, м/с;

τ_i – коэффициент использования времени смены);

n_i – количество агрегатов, шт.

Из выражения видно, что к числу важнейших показателей эффективности использования машин относится их производительность.

Материал и методы исследования. Проблема повышения производительности плугов может решаться несколькими путями: применением энергонасыщенных сельскохозяйственных тракторов; повышением рабочих скоростей; увеличением ширины захвата орудия; внедрением энергосберегающих технологий, включающих минимализацию обработки почвы и совмещение нескольких операций; совершенствованием конструкции орудий и их рабочих органов; выбором оптимальной схемы движения агрегата в загоне.

Каждый из вышеназванных путей повышения производительности почвообрабатывающих машин имеет как положительные, так и отрицательные стороны.

Скорость является одним из факторов, позволяющим повышать производительность агрегата. Это приносит следующие выгоды: экономию металла, сокращение машинно-тракторного парка, снижение расходов на приобретение техники и техническое обслуживание, увеличение годовой нагрузки на отдельные машины и полное использование мощности тракторов, уменьшение потребности в рабочей силе. Однако повышение скорости сопровождается ухудшением качества выполненных работ и условий работы тракториста, понижением надёжности и износостойкости деталей машин.

Работа на повышенных скоростях не всегда приводит к увеличению производительности агрегата и снижению затрат. С увеличением скорости плуга повышается по параболе тяговое сопротивление агрегата, его энергетический баланс, а оптимальная рабочая скорость $V_{онм}$ отстаёт от скорости, соответствующей максимальному тяговому КПД [1] (рис. 1).

Это отставание будет тем больше, чем выше энергонасыщенность трактора и прирост тягового сопротивления на каждый км/ч повышения скорости. Повышение производительности агрегатов за счёт увеличения рабочих скоростей при неизменных рабочих органах ведёт к необходимости уменьшения ширины захвата, или работе на пониженных передачах и повышенном буксовании движителей, ухудшению топливной экономичности агрегата. Следовательно, нужны новые скоростные рабочие органы, но их создание сдерживается несовершенством методов проектирования рабочих поверхностей плужных корпусов.

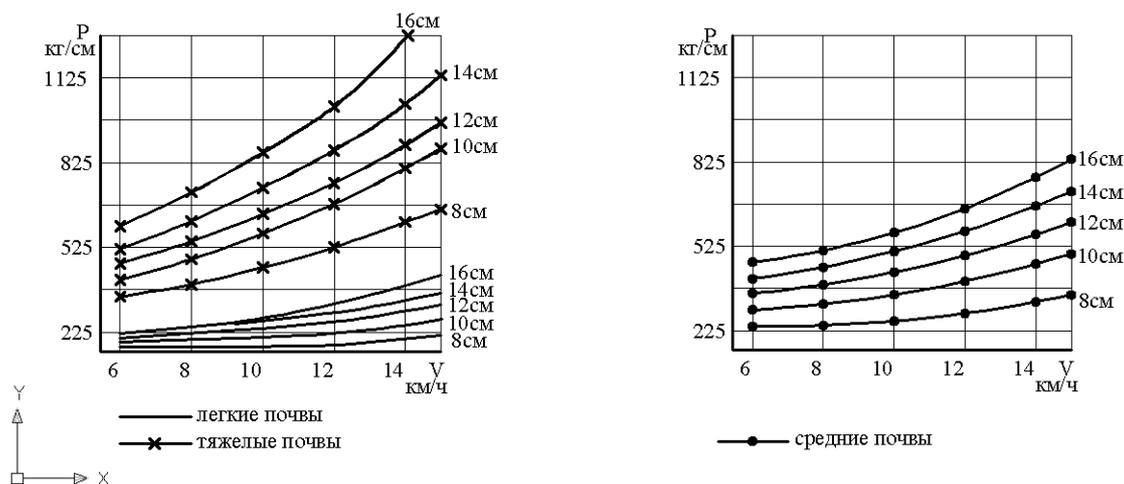


Рис. 1 – Зависимость тягового сопротивления культиваторов-плоскорезов от скорости движения

Технологический «потолок» скорости определяется агротехническими требованиями на равномерность глубины обработки, выравненность поверхности поля, сохранение стерни, подрезание сорняков и распыление почвы. Необходимо учесть то, что скорость движения возрастает при уменьшении криволинейности и длины пути холостых ходов машин на поворотах и удлинении гона. Скорость движения агрегата под нагрузкой должна быть приближена к предельно допустимой по качеству работы, а скорость внутризагонного холостого движения – к рабочей скорости агрегата путём изменения кинематики движения агрегата в загоне.

Результаты исследования. Разработка и использование широкозахватных сельхозмашин с оптимальными параметрами является резервом повышения производительности и эффективности техники, живого труда. Повышение ширины захвата машинного агрегата уменьшает численность тракторов и потребность в трактористах, снижает затраты средств на производство продукции, позволяет увеличивать ширину загона и удлинять гоны. С увеличением ширины загона возрастает путь на внутризагонные холостые передвижения агрегата, а ширина захвата агрегата уменьшает скорость на поворотах, что влечёт за собой снижение коэффициента использования времени смены. Также ограничениями ширины захвата агрегата являются мощность трактора, плохое копирование поверхности поля, низкая устойчивость глубины хода рабочих органов по ширине движения агрегата и маневренность.

С увеличением ширины захвата возрастают масса и материалоемкость плуга, а КПД снижается, поскольку увеличиваются затраты энергии на перемещение самого орудия [1] (рис. 2).

Влияние ширины захвата на производительность агрегата приведена в таблице 1 [2]. По таблице видно, что в пределах длины гона более 500 м производительность изменяется с небольшой интенсивностью, и максимальные значения обеспечиваются при ширине захвата агрегата 7 м.

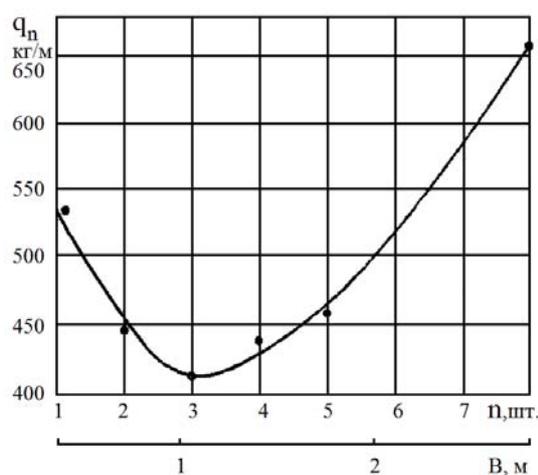


Рис. 2 – Зависимость удельной материалоемкости от числа рабочих органов плуга или ширины захвата

По исследованиям Ф.И. Гаврилова [3], с уменьшением длины гона снижается производительность агрегата и увеличивается удельный расход топлива. Гоны длиной более 500 м почти не влияют на увеличение производительности агрегата и снижение удельного расхода топлива (рис. 3). Обеспечение максимальной производительности пахотного агрегата при длине гона до 500 м требует совершенствования конструкции почвообрабатывающих машин.

Крупнейшим резервом повышения производительности машин является рациональное использование сменного времени. При работе любого машинного агрегата время смены никогда не используется полностью.

Различают три основных технологии вспашки: гладкая; загонная; фигурная. Виды поверхностей поля по различным технологиям вспашки представлены на рисунке 4.

Классические плуги наиболее приспособлены к загонному способу вспашки с чередованием всвал и вразвал (рис. 5). Характерной чертой загонного способа вспашки является образование свальных

1. Зависимость производительности пахотных агрегатов от ширины захвата и длины гона

Ширина захвата, м	Длина гона, м							
	50	100	150	300	500	1000	1500	2000
1	1,38	2,81	3,29	3,77	3,91	4,10	4,15	4,17
2	2,10	4,47	5,92	6,88	7,26	7,55	7,64	7,69
3	2,14	6,46	7,90	9,33	9,91	10,34	10,48	10,55
4	1,50	7,27	9,20	11,13	11,90	12,47	12,67	12,76
5	0,15	7,41	9,83	12,26	13,23	13,95	14,20	14,31
6		6,87	9,50	12,72	13,89	14,77	15,10	15,21
7		5,65	9,10	12,53	13,90	14,94	15,28	15,45
8		3,70	7,40	10,15	13,24	14,44	14,84	15,03
9			5,60	10,07	11,92	13,28	13,73	13,96
10				7,91	10,22	11,47	11,98	12,23

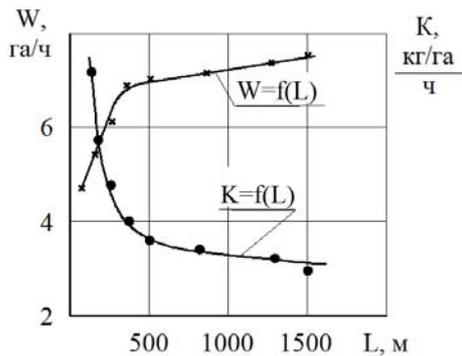


Рис. 3 – Зависимость удельного расхода топлива и производительности агрегата от длины гона

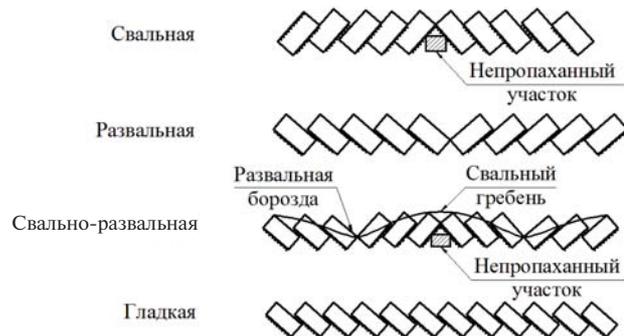


Рис. 4 – Основные технологии вспашки

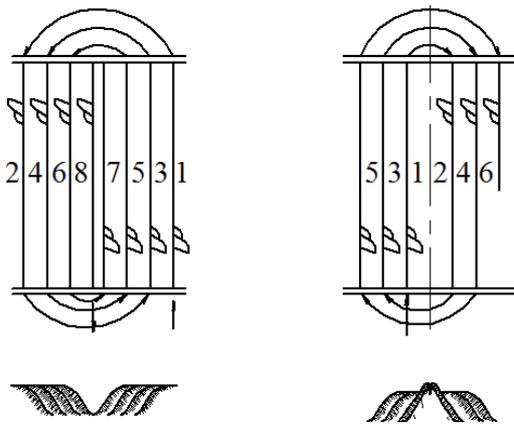


Рис. 5 – Схема загонной вспашки вразвал (налево) и всвал (направо)

гребней и развальных борозд, требующих дополнительных обработок для выравнивания поверхности поля.

Моделирование работы плугов на различных по размеру полях позволило определить возможное количество свальных гребней и развальных борозд (Крг), площади, подлежащей дополнительному разравниванию (ФДО), и количество дополнительных проходов (КДП) (рис. 6) [4].

Низкая квалификация механизаторов не позволяет грамотно выполнить эти дополнительные операции и как свальные гребни, так и развальные борозды не заделываются на практике. В связи с этим коэффициенты использования сменного времени и рабочих ходов снижаются, что обуславливает падение сменной производительности агрегатов.

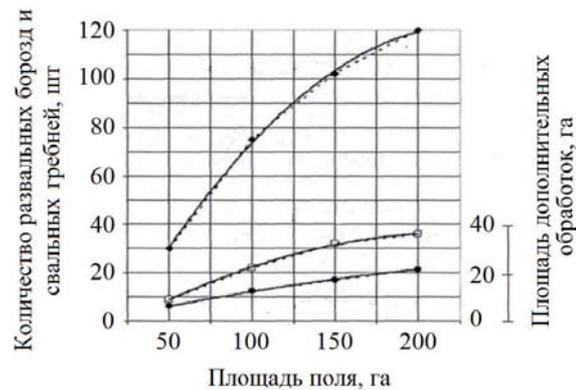


Рис. 6 – Динамика изменения количества развальных борозд и свальных гребней, дополнительных проходов и дополнительной площади при заравнивании в зависимости от площади поля

Одним из резервов роста производительности является подготовка поля. Кроме очистки от пожнивных остатков она включает правильный выбор ширины загона в зависимости от длины гона и состава агрегата, разбивку поля на загоны вспашки свальных гребней и контрольных борозд. Это требует совершенствования технологической операции подготовки поля к основной обработке почвы. По окончании вспашки всего поля необходимо ещё произвести заделку развальных борозд.

При обработке клина треугольной формы уплотнённая площадь будет являться функцией:

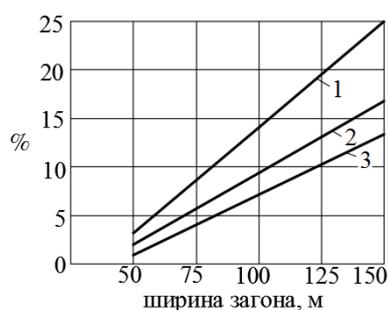


Рис. 7 – Длина холостых ходов поворотного плуга по сравнению с серийными плугами в зависимости от ширины и длины загона:

1 – длина гона 500 м; 2 – длина гона 750 м; 3 – длина гона 1000 м

типа агрегата, ширины захвата, радиуса поворота и длины гона. Самым эффективным с точки зрения минимальной высоты гребня и полноты пропашки под ним является способ вразвал (за четыре прохода агрегата). Однако разбивку на загоны производят обычно способом за два прохода агрегата, являющимся менее трудоёмким. В данном варианте образуется свальный гребень высотой 12–15 см с непропаханной под ним полосой 3–5 см.

Если первая борозда выполнена с большими искривлениями и свальным гребнем более 10 см, то пашня будет неслитной, снизится производительность пахотных агрегатов в течение смены, нарушится оборот пласта, плохо будут заделываться растительные остатки, повысятся затраты труда на подготовку полей к посеву и т.д. Глубина вспашки под свалом менее двух третей от заданной приводит к снижению урожайности в 2 раза и более.

Традиционная технология обработки почвы всвал и вразвал предусматривает движение агрегата вокруг загона, перемещая почву только в одну сторону. Данный вид движения продиктован конструкцией рабочих органов почвообрабатывающей машины.

Сокращение времени на повороты возможно путём уменьшения общей длины холостых ходов агрегата на заgone с учётом заделки поворотных полос [5, 6]. Уменьшение длины холостых ходов возможно путём изменения способа движения агрегата на челночное.

Теоретические расчёты показали (рис. 7), что резкое уменьшение длины холостых ходов поворотного плуга по сравнению с плугами с серийными рабочими органами наблюдается при увеличении ширины загона и уменьшении длины гона.

В настоящее время повсеместно широкое распространение находит так называемая гладкая вспашка оборотными плугами с использованием челночного способа движения агрегата, в результате которой поверхность поля становится гладкой без свальных гребней и развальных борозд [7].

Альтернатива оборотным плугам – плуги с поворотными корпусами. Металлоёмкость последнего по сравнению с оборотными плугами почти в 1,5 раза меньше [2, 8].

Вышеуказанные недостатки устранены при гладкой вспашке поворотными плугами с применением симметричных ромбовидных рабочих органов, которые также обеспечивают свободное перемещение энергонасыщенных тракторов с широкими шинами по борозде [9–12].

Выводы. Гладкая вспашка поворотными плугами с применением симметричных ромбовидных рабочих органов по сравнению с серийными плугами обеспечивает:

- повышение производительности почвообрабатывающего агрегата на 15–25% за счёт сокращения длины холостых ходов в заgone;
- отсутствие обработки клиньев, свальных гребней и развальных борозд позволяет сокращать в 1,5 раза затраты энергии на подготовку почвы для посева;
- металлоёмкость поворотного плуга по сравнению с оборотными плугами в 1,5 раза меньше;
- гладкая вспашка ромбовидными рабочими органами обеспечивает свободное перемещение энергонасыщенных колёсных тракторов с широкими шинами по борозде.

Литература

1. Сакун В.А. Тенденции развития плугов и орудий для гладкой вспашки: обзорная информ. / В.А. Сакун, Я.П. Лобачевский, М.С. Максименко [и др.]. М.: ЦНИИТЭИ тракторосельмаш, 1989. 36 с. ил. 19. (Сер. Сельскохозяйственные машины и орудия. Вып. 4).
2. Зазуля А.Н. Повышение эффективности вспашки поворотным плугом / А.Н. Зазуля, Ю.А. Тырнов, А.В. Балашов [и др.] // Техника в сельском хозяйстве. 2013. № 1. С. 4–6.
3. Гаврилов Ф.И. Методы анализа использования сельскохозяйственной техники. М.: Колос, 1971.
4. Марнов С.В. Повышение эффективности вспашки путём использования поворотного плуга с изменяемыми параметрами: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Мичуринск-Наукоград, 2013. 20 с.
5. Стрижов В.А. Сравнительная оценка производительности пахотных агрегатов // Сб. науч. трудов ЧИМЭСХ. Челябинск, 1983. С. 34–37.
6. Нуралин Б.Н. Энергетическая и агротехническая оценка работы плугов с ромбовидными и серийными рабочими органами / Б.Н. Нуралин, С.В. Олейников, А.Ж. Мурзагалиев [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. № 3 (59). С. 81–83.
7. Константинов М.М. Дифференциация систем обработки почвы в Западном Казахстане путём использования перспективной системы машин / М.М. Константинов, Б.Н. Нуралин, С.В. Олейников [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 5 (73). С. 141–146.
8. Пат. 2342819 РФ. Плуг для гладкой вспашки / С.И. Мухамедшин, П.И. Макаров, Г.С. Юнусов, А.Ф. Ахметов, Р.Х. Марданов. №2007102434; заявл. 22.01.2007; опубл. 10.01.2009. Бюл. № 1. 122 с.
9. Нуралин Б.Н., Олейников С.В., Мурзагалиев А.Ж. Обоснование формы и параметров ромбовидного рабочего органа поворотного плуга для гладкой вспашки // Новости науки Казахстана. 2016. № 2. С. 186–195.
10. Нуралин Б.Н. Энергетическая и агротехническая оценка работы плугов с ромбовидными и серийными рабочими органами / Б.Н. Нуралин, С.В. Олейников, А.Ж. Мурзагалиев [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. № 3 (59). С. 81–83.
11. Константинов М.М. Вибрационное взаимодействие рабочего органа с почвой / М.М. Константинов, С.Н. Дроздов, И.В. Трофимов [и др.] // Научное обозрение. 2017. № 20. С. 58–64.
12. Нуралин Б.Н., Олейников С.В. Экспериментальное исследование устойчивости хода ромбовидного рабочего органа поворотного плуга // Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК: матер. междунар. науч.-практич. конф. Мичуринск-Наукоград, 2017. С. 160–166.