

УДК 631.331.53

АНАЛИЗ НАПРАВЛЕНИЙ И МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПОСЕВНЫХ АГРЕГАТОВ

**Панков А.А., доктор технических наук, профессор,
тел. 072-186-74-60, app.post@rambler.ru**
ФГБОУ ВО Луганский государственный университет имени В. Даля
**Щеглов А.В., кандидат технических наук, доцент,
тел. 072-111-07-12, avmeh2011@mail.ru**
ФГБОУ ВО Луганский ГАУ

***Ключевые слова:** сеялка, производительность, скорость, захват, энергоёмкость, эффективность, компоновка*

В работе рассмотрены возможности повышения производительности и снижения материало- и энергоёмкости конструкций и рабочего процесса зерновых сеялок на основе повышения рабочей скорости движения и применения новых принципов действия высевающих аппаратов и систем. Установлено, что перспективным является сочетание раздельно-агрегатной компоновочной схемы группового высева с пневматической высевающей системой дискретного действия на основе элементов пневмоники.

Введение. Принято считать, что наиболее точным и объективным показателем, характеризующим уровень развития сельскохозяйственной техники (СХТ), является его часовая производительность [1, 2].

Согласно [3], тенденции развития СХТ показывают, что в принципиальной своей основе большинство машин в течение 15...20 лет не изменяются. С 1985 года специалисты не прогнозировали существенного прироста рабочих скоростей машинно-тракторных агрегатов (МТА), несмотря на то, что рост рабочих скоростей дает возможность использовать активный запас мощности, а не пассивный резерв техники, а также повышать производительность и уменьшать эксплуатационные расходы.

Считалось, что резервы увеличения производительности МТА традиционных типов только в результате повышения рабочих скоростей практически исчерпаны, так как за пределами определенных значений скоростей нарушается качество выполнения технологических процессов [2, 4, 5]. В результате имел место опережающий рост энергонасыщенности тракторов, в результате чего снижалась эффективность использования их мощности из-за отставания эффективных значений рабочих скоростей сельскохозяйственных машин (СХМ), что необходимо было компенсировать путем загрузки трактора по тяговому усилию [2, 6, 7, 8].

Поэтому, согласно [9], наиболее вероятным резервом повышения их производительности на будущие 20...25 лет принималось увеличение ширины захвата. В связи с увеличением энергонасыщенности тракторов все большее распространение получали широкозахватные машины, выполняемые как в виде секционных агрегатов, так и отдельных машин [10, 11].

В настоящее время возможны анализ и оценка последствий применяемого в течение долгого времени такого экстенсивного способа повышения производительности, как увеличение ширины захвата посевных машин. Установлено, что произвольное увеличение размеров зерновых сеялок приводит к значительному увеличению их массы и трудоемкости в обслуживании, снижению топливной экономичности МТА, неустойчивому режиму работы и лишь незначительно повышает производительность труда. С увеличением ширины захвата ухудшается копирование неровностей почвы сошниками посевных машин.

Известно, что эффективность широкозахватной машины определяется ростом производительности, которая должна опережать увеличение ее массы. Например, производительность 12-рядной сеялки на 21,9...36,6% выше, чем производительность 8-рядной сеялки, однако такой рост производительности обеспечивается непропорциональным увеличением массы машины. Повышение производительности сеялки только за счет увеличения ширины захвата не может обеспечить эффективность машины. Для этого необходимо обеспечивать пропорциональное снижение энергозатрат и материалоемкости. Масса и стоимость сеялки связаны с шириной захвата параболической зависимостью, в то время как производительность – линейной.

Приближается к предельным значениям ширина захвата рабочих машин, вследствие увеличения разности между показателями их чистой и эксплуатационной производительности и одновременного переуплотнения почвы из-за увеличения массы машин, повышенной степени буксования тракторов, сложности стыковки смежных проходов агрегата, трудности копирования рельефа почвы. Некоторые резервы повышения производительности и улучшения качества работы традиционной сельхозтехники могут быть реализованы посредством автоматизации, однако этот путь при сохранении традиционных технологий и технических средств требует разработки сложных и дорогостоящих автоматических систем.

Нельзя забывать и то немаловажное обстоятельство, что СХТ работает 20...30 дней в году, а остальное время простаивает на консервации. При повышении производительности машин имеет место парадоксальное явление: чем производительнее машина, тем больше «замораживается» труда и средств. Отчисления от балансовой стоимости машин увеличивают себестоимость продукции. Это означает, что в развитии технических средств преобладает экстенсивный фактор. В результате возникает неблагоприятная тенденция снижения отдачи производственных фондов.

Поскольку увеличенная ширина захвата требует повышения мощности трактора, установлено, что с ее увеличением сверх определенного предела непропорционально возрастают производственные затраты, превышая в 1,5...2 раза затраты для обычных тракторов. Однако повышение рабочих скоростей также требует создания скоростных, энергонасыщенных тракторов, у которых максимум тягового КПД смещен в сторону высоких скоростей [2]. Отсюда вытекает необходимость снижения энергозатрат в рабочем процессе машин и орудий при работе с обычными тракторами. Поэтому требуются решения, обеспечивающие дополнительный рост производительности и снижение стоимости работ, поиски принципиально новых конструкций высевающих рабочих органов для устранения или минимизации существующих негативных тенденций.

В настоящее время для новых зерновых сеялок, выпускаемых европейскими производителями, характерно увеличение производительности за счет повышения рабочей скорости движения, в

то время как американские конструкторы, совершенствуя широкозахватные посевные комплексы, все больше внимания уделяют повышению качества заделки семян. Некоторые сеялки зарубежных производителей, как Amazone или John Deere, могут сеять со скоростью 14 км/ч и быстрее, не теряя качества посева. Это позволяет сократить агротехнические сроки выполнения полевых работ, уменьшить потери влаги путем сокращения межоперационных промежутков времени, экономить ГСМ и менее уплотнять почву.

Совершенствование высевальных аппаратов и заделывающих органов позволяет ещё более повысить рабочие скорости зерновых сеялок. Однако состояние полей в период посева не только ограничивает возможность повышения скоростей, но и не позволяют стабильно использовать возможности созданных посевных машин. Поэтому сохраняется устойчивая тенденция повышения производительности за счет увеличения ширины захвата.

Аналогичные тенденции повышения рабочих скоростей существуют, например, и на пахотных работах. Удельные затраты энергии на вспашку с ростом энергонасыщенности тракторов и с увеличением ширины захвата также увеличиваются. Это означает, что применение широкозахватных агрегатов влечет за собой повышение энергоемкости работ. Большое влияние на энергоемкость оказывает рабочая скорость агрегата: с ее увеличением энергоемкость уменьшается примерно на 47% в сравнении с увеличением ширины захвата. Таким образом, с точки зрения энергетики повышение производительности за счет увеличения скорости лучше, чем за счет роста ширины захвата [2].

Однако для посевных МТА можно предположить, что данный результат будет меньше из-за более слабой несущей способности агрофона на посевах.

Теоретический анализ. Для проверки предположений рассмотрим динамику изменения технико-эксплуатационных показателей конструкций и работы зерновых сеялок, в зависимости от увеличения ширины захвата и повышения рабочих скоростей. Увеличение ширины захвата рассмотрим на примере семейства зерновых сеялок типа СЗ. При этом определим технико-эксплуатационные показатели для моноблочных сеялок СЗ-3,6, СЗ-5,4.

Расчетную скорость движения сеялок с разной шириной захвата принимаем $V_{\partial} \approx 3,33\text{м/с}$ (12км/ч). Исходные данные и результаты расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Исходные данные и результаты расчетов динамики изменения технико-эксплуатационных показателей сеялок в зависимости от ширины захвата

Показатель	Обозначение ед. изм.	Значение	Показатель	Обозначение ед. изм.	Значение
Сеялка СЗ-3,6			Сеялка СЗ-5,4		
Ширина захвата	B , м	3,6	Ширина захвата	B , м	5,4
Конструкт. масса	m_k , кг	1400	Конструкт. масса	m_k , кг	2549
Материалоемкость	$m_{y\partial}$, кг/м	389	Материалоемкость	$m_{y\partial}$, кг/м	472
Масса семян	m_{cem} , кг	340	Масса семян	m_{cem} , кг	510
Эксплуатац. вес	G_c , Н	17069	Эксплуатац. вес	G_c , Н	30000
Сопrotивление перекатыванию	R_n , Н	3755	Сопrotивление перекатыванию	R_n , Н	6602
Сопrotивление сошников	R_c , Н	3600	Сопrotивление сошников	R_c , Н	5400
Мощность для привода ВА	N_{BA} , Вт	420	Мощность для привода ВА	N_{BA} , Вт	630
Кoэффициент перегрузки	ν	1,15	Кoэффициент перегрузки	ν	1,15
Тяговый КПД	$\eta_{тяг}$	0,55	Тяговый КПД	$\eta_{тяг}$	0,55
Тяговая мощность	$N_{кр}$, Вт	28649	Тяговая мощность	$N_{кр}$, Вт	46686
Мощность двигателя	N_{∂} , Вт	52089	Мощность двигателя	N_{∂} , Вт	84,9
Удельн. энергоемк.	\mathcal{E}_c , кВт/м	14,5	Удельн. энергоемк.	\mathcal{E}_c , кВт/м	15,7
Удельное тяговое сопrotивление	$p_{y\partial}$, кН/м	2,39	Удельное тяговое сопrotивление	$p_{y\partial}$, кН/м	2,60
Теоретическая производительн.	W_m , га/ч	4,32	Теоретическая производительн.	W_m , га/ч	6,47
Удельная производительность	$W_{y\partial}$, га/ч	1,20	Удельная производительность	$W_{y\partial}$, га/ч	1,20
Критерий эффективности работы машины	$p_{y\partial}/W_{y\partial}$	2,0	Критерий эффективности работы машины	$p_{y\partial}/W_{y\partial}$	2,17

Повышение скорости движения рассмотрим на примере сеялки СЗ-3,6, с шириной захвата $B = 3,6\text{м}$. Исходные данные и результаты расчетов представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Исходные данные и результаты расчетов динамики изменения показателей работы сеялки СЗ-3,6 в зависимости от скорости движения

Показатель	Обозначение, ед. изм.	Значение	Показатель	Обозначение, ед. изм.	Значение
Скорость движения	$V_d \approx 2,5$ м/с (9 км/ч)		Скорость движения	$V_d \approx 4,17$ м/с (15 км/ч)	
Ширина захвата	B , м	3,6	Ширина захвата	B , м	3,6
Конструкт. масса	m_k , кг	1400	Конструкт. масса	m_k , кг	1400
Материалоемкость	$m_{yд}$, кг/м	389	Материалоемкость	$m_{yд}$, кг/м	389
Масса семян	$m_{сем}$, кг	340	Масса семян	$m_{сем}$, кг	340
Эксплуатац. вес	G_c , Н	17069	Эксплуатац. вес	G_c , Н	17069
Сопrotивление перекачиванию	R_n , Н	3755	Сопrotивление перекачиванию	R_n , Н	3755
Сопrotивление сошников	R_c , Н	3600	Сопrotивление сошников	R_c , Н	3600
Мощность для привода ВА	N_{BA} , Вт	315	Мощность для привода ВА	N_{BA} , Вт	525
Коэффициент перегрузки	ν	1,10	Коэффициент перегрузки	ν	1,20
Тяговый КПД	$\eta_{тяг}$	0,55	Тяговый КПД	$\eta_{тяг}$	0,55
Тяговая мощность	$N_{кр}$, Вт	20573	Тяговая мощность	$N_{кр}$, Вт	37434
Мощность двигателя	N_d , Вт	37405	Мощность двигателя	N_d , Вт	68062
Удельн. энергоемк.	\mathcal{E}_c , кВт/м	10,4	Удельн. энергоемк.	\mathcal{E}_c , кВт/м	18,9
Удельное тяговое сопротивление	$p_{yд}$, кН/м	2,29	Удельное тяговое сопротивление	$p_{yд}$, кН/м	2,49
Теоретическая производительн.	W_m , га/ч	3,24	Теоретическая производительность	W_m , га/ч	5,40
Удельная производительность	$W_{yд}$, га/ч	0,90	Удельная производительн.	$W_{yд}$, га/ч	1,50
Критерий эффективности работы машины	$p_{yд}/W_{yд}$	2,54	Критерий эффективности работы машины	$p_{yд}/W_{yд}$	1,60

Анализируя данные табл. 1 и 2 установлено, что в случае повышения скорости движения удельное тяговое сопротивление зерновых сеялок прирастает менее интенсивно, чем при увеличении ширины захвата.

Удельное тяговое сопротивление для большинства видов СХТ с увеличением скорости движения увеличивается по закону, близкому к линейному, или может быть линеаризовано.

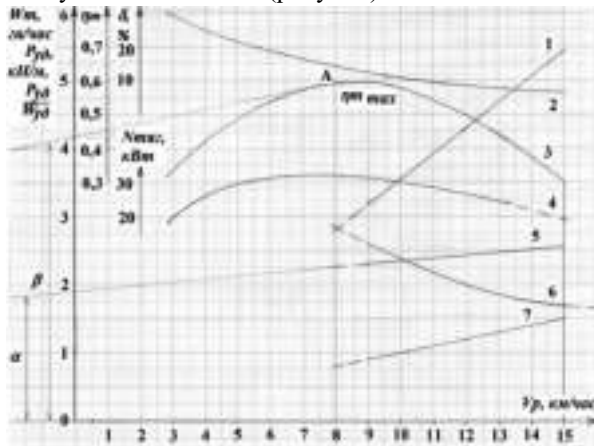
Это не противоречит данным работы [5], согласно которым зависимость тягового сопротивления сеялки от увеличении массы сеялки является нелинейной, а при увеличении скорости движения тяговое сопротивление изменяется линейно.

Рядом авторов сделан вывод в виде рекомендаций производству, что обработку влажных почв (что относится и к посеву, особенно в весенний период) необходимо осуществлять на повышенных скоростях.

Имеются сведения об эффективности повышения скоростей движения МТА до 15 км/ч. Здесь же указана необходимость внедрения новой техники для работы на повышенных скоростях.

В случае повышения ширины захвата в значительной степени (на 18%) возрастает удельная материалоемкость зерновых сеялок (табл.1). При этом, общим для всех машин и орудий является снижение величины их КПД по мере увеличения скорости движения агрегата. Это обстоятельство выступает негативным явлением при повышении скоростей движения, требует анализа и изыскания способов минимизации негативного эффекта.

Поэтому задача определения режима работы посевного МТА может быть сведена к графическому исследованию показателей эффективности. С этой целью представим совмещенную характеристику посевного МТА (рисунок).



1 – теоретическая производительность W_m , га/ч; 2 – буксование трактора δ , %; 3 – тяговый КПД трактора η_m ; 4 – тяговая мощность трактора N_m , кВт; 5 – удельное тяговое сопротивление p_{y0} , кН/м; 6 – критерий эффективности α ; 7 – удельная производительность W_{y0} , (га/ч)/м.

Рис. - Совмещенная характеристика посевного МТА

На рисунке приняты тяговые показатели для трактора МТЗ-82 с балластными рузами массой 4840кг, по испытаниям на поле, подготовленном под посев.

Покажем, что при линейном изменении сопротивления зерновой сеялки в зависимости от скорости, задача нахождения оптимальных значений показателей эффективности сводится к следующим графическим построениям (рис. 1):

- прямую 4, изображающую зависимость сопротивления зерновой сеялки от скорости, продолжаем до пересечения с абсциссой в т. O_1 (т. O_1 условно не показана. На реальном графике расстояние OO_1 составляет 407 мм). При этом угол наклона прямой 2 к оси абсцисс $\alpha = 6^\circ$;

- из точки O_1 проводим касательную к зависимости 3, отражающей динамику значений тягового КПД трактора. Угол наклона касательной к оси абсцисс $\beta = 12^\circ$.

Найденная таким образом точка касания А на кривой КПД соответствует режиму оптимальной скорости движения по тяговому КПД данного трактора.

Результаты исследований и их обсуждение. Следствием из приведенных рассуждений является факт о несовпадении режимов максимальной производительности МТА с режимом максимального тягового КПД трактора. В результате возрастания силы сопротивления любого с.-х. орудия максимум производительности всегда смещен в зону меньших скоростей движения и повышенных тяговых усилий, реализуемых повышением ширины захвата МТА. Очевидно, что несовпадение тем больше, чем более полого изменяется по скорости тяговый КПД трактора и более круто – сопротивление орудия.

Как следует из рисунка для рассматриваемого посевного агрегата, максимальный тяговый КПД соответствует скорости движения $V_p = 8$ км/ч при максимальной тяговой мощности $N_m = 31,8$ кВт, а скоростному режиму $V_p = 15$ км/ч соответствует тяговый КПД $\eta_m = 0,3$ и тяговая мощность трактора $N_m = 18$ кВт, что в два раза ниже требуемой для сеялки при данной скорости движения.

Однако здесь имеют место и положительные тенденции. Как следует из рис., при повышении скоростей движения в два раза снижается

буксование трактора (с 14 до 7%), в два раза возрастает производительность МТА (с 2,8 до 5,4 га/ч).

Следовательно, для улучшения динамики показателей работы трактора в отношении тяговых КПД и мощности, и посевного МТА в отношении энергоёмкости рабочего процесса при повышении скоростей движения, а также для снижения материалоемкости зерновых сеялок в случае повышении ширины захвата необходимо повышать КПД машин и механизмов, разрабатывая их менее материалоемкими и энергоёмкими.

С этой целью для перспективных зерновых сеялок предлагается объединение раздельно-агрегатной компоновочной схемы группового высева, которая менее материалоемкая, чем шеренговая моноблочная, с малоэнергоёмкими высевающими аппаратами дискретного принципа действия.

Ввиду того, что высевающие аппараты вибродискретного принципа действия на основе электропривода не могут быть применены в компоновочных схемах с раздельно-агрегатным групповым высевом ввиду затруднений с подачей семян по семяпроводам при значительных углах их наклона, следовательно, перспективным здесь является применение дискретных высевающих аппаратов с элементами пневмоники. Зерновые сеялки с такими высевающими аппаратами при прочих равных условиях обладают более низкой (на 13%) энергоёмкостью рабочего процесса, в сравнении с другими видами сеялок.

Установлено, что необходимую удельную энергоёмкость работы зерновой сеялки при 15 км/ч, равную $\mathcal{E}_c = 18,9 \text{ кВт/м}$ возможно снизить на 13%, или на 2,3 кВт/м, что даст в итоге $\mathcal{E}_c = 16,6 \text{ кВт/м}$ или экономию мощности двигателя в размере 8,3 кВт при ширине захвата 3,6 м, или экономию тяговой мощности приблизительно 17 кВт при тяговом КПД $\eta_m = 0,5$, который возможно повысить с $\eta_m = 0,3$ до $\eta_m = 0,5$ улучшением тягово-сцепных свойств трактора.

Заключение. Установлено, что применение зерновых сеялок с раздельно-агрегатной компоновочной схемой группового высева и высевающими аппаратами на основе новых механико-технологических принципов, например дискретного действия с элементами пневмоники, позволяет считать энергетически обоснованным повышение рабочих

скоростей движения МТА, без существенного прироста удельной энергоёмкости рабочего процесса.

Библиографический список:

1. Раднаев, Д. Н. Система моделей для оценки посевных машин / Д. Н. Раднаев // Аграрная наука. – 2009. – № 10. – С. 31–32.

2. Панов, И. М. Пути повышения производительности пахотных агрегатов / И. М. Панов // Тракторы и сельхозмашины. – 1985. – № 7. – С. 21–25.

3. Кондауров, Д. И. Зависимость производительности мобильной сельхозмашины от ее параметров и условий эксплуатации / Д. И. Кондауров // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1982. – № 11. – С. 17–19.

4. Жук, З.Я. Техническое оборудование для специализированных агрокомплексов будущего / З.Я. Жук, Ю.А. Кругляков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 1985. - № 4. – С.3-6.

5. Токарев, В. А. Пути повышения производительности посевных агрегатов / В. А. Токарев // «Механизация и электрификация сельского хозяйства». - № 4. - 1975. – С.35-37.

6. Либцис, С. Е. Потенциальные возможности использования мощности энергонасыщенных колесных тракторов / С. Е. Либцис // «Тракторы и сельскохозяйственные машины». - №9. - 1986. – С. 8-16.

7. Либцис, С. Е., Кузько Т.А. Статистическая оценка мощности и удельной массы сельскохозяйственных тракторов / С. Е. Либцис, Т. А. Кузько // «Тракторы и сельскохозяйственные машины». - № 2. - 1989. – С. 8-11.

8. Дегтярев, В. А. Мобильная энергетика в одиннадцатой пятилетке / В. А. Дегтярёв, А. Я. Поляк // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 1981. - №2. – С.1-3.

9. Габай, Е. В. Анализ материалоемкости и энергозатрат широкозахватных машинно-тракторных агрегатов / Е. В. Габай, Г. М. Кутьков // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - №3. – 1985. – С. 1-6.

10. Кузнецов, Б. Ф. Основные направления развития конструкций посевных машин / Б. Ф. Кузнецов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 1980. - №9. – С.13-14.

11. Кузнецов, Б. Ф. Состояние и основные направления работ по созданию посевной техники / Б. Ф. Кузнецов, П. В. Сысолин // «Тракторы и сельскохозяйственные машины». - № 10. - 1975. – С. 16-18.

ANALYSIS OF DIRECTIONS AND METHODS IMPROVING THE PRODUCTIVITY OF SOWING UNITS

Pankov A.A., Shheglov A.V.

Key words: *seeder, productivity, speed, capture, energy intensity, efficiency, layout*

The paper considers the possibilities of increasing productivity and reducing the material and energy intensity of structures and the working process of grain seeders based on increasing the working speed and applying new principles of operation of sowing machines and systems. It is established that the combination of a separate-aggregate layout scheme of group seeding with a pneumatic seeding system of discrete action based on elements of fluidics is promising.