

## К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ ШИН И БАЛЛАСТИРОВАНИИ ТРАКТОРА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

Дмитрий Геннадиевич Козлов, кандидат технических наук,  
доцент кафедры электрификации сельского хозяйства

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Рассмотрены факторы, влияющие на показатели тяговой эффективности трактора, которые обеспечивают снижение уплотняющего воздействия его колес на почву и повышение срока службы трансмиссии. Анализ проводился с использованием аналитико-теоретических и методологических методов. При проведении технологических операций возделывания сельскохозяйственных культур выявлялись факторы, снижающие уплотняющее воздействие трактора на почву и способствующие получению наибольшего урожая. Правильно подобранные шины и балласт трактора приводят к минимизации его воздействия на почву, что положительно сказывается на ее структуре и урожайности сельскохозяйственных культур. Выявлено, что правильный выбор балласта трактора и давления воздуха в его шинах способствует повышению тяговой эффективности на 5-7%, снижению уплотнения почвы на 12-15%, увеличению ресурса шин на 3-5% и, как следствие, срока службы трансмиссии трактора.  
**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** трактор, шины, балластирование трактора, вес трактора, давление воздуха в шинах, буксование, тяговая эффективность, колея, уплотнение почвы.

The author considers factors affecting the propulsion efficiency of tractor, which ensure a reduced compactive action of its wheels on soil and increased durability of transmission. The analysis was conducted using analytical, theoretical and methodological techniques. During technical operations in farmery and cropping the author identified the factors that reduce the compactive effect of tractors on soil and contribute to harvesting the highest yield. Adequately selected tires and dead weight loading of the tractor minimize its impact on soil, which improves the soil structure and crop yield. It was found that the correct choice of dead weight load for the tractor and air pressure level in its tires improve the propulsion efficiency by 5-7%, reduce soil compaction by 12-15% and as a consequence increase tire life by 3-5% and the durability of transmission of the tractor.

**KEY WORDS:** tractor, tires, dead weight loading of tractor, weight of tractor, air pressure in tires, wheel slipping, propulsion efficiency, wheel track, soil compaction.

**П**равильный выбор балласта и давления воздуха в шинах способствует повышению тяговой эффективности, срока службы трансмиссии трактора, снижению уплотнения почвы и, как следствие, повышению доходности.

Общепризнано, что тяговая эффективность – это показатель, характеризующий, насколько хорошо трактор использует мощность для выполнения тяговых операций на поле [3, 7, 8]. Повышение тяговой эффективности, которое приводит к снижению расходов за счет экономии топлива и повышения производительности трактора, как правило, не требует инвестиций в новое оборудование. Время, затраченное на улучшение тяговой эффективности, обеспечивает экономию топлива и повышенную производительность.

По мнению ряда авторов, легко забалластированные тракторы и минимальный уровень давления воздуха в шинах обеспечивают безопасную работу и удовлетворительный срок службы шин, а также защищают почву [6, 9]. Сверхвысокое давление воздуха в шинах является общей причиной низкой тяговой эффективности и высокого уплотнения почвы. Большие силы от перекаченных шин и сверхзабалластированного трактора уплотняют почву, сжимают ее частицы, что снижает пористость почвы. Сельскохозяйственные культуры, возделываемые на переуплотненных почвах, менее приспособлены к выживанию в экстремальных условиях повышенной влажности и засухи. В свою очередь, малое давление воздуха в шинах и должным образом забалластированные тракторы уменьшают на-

пряжение на поверхности почвы, снижают ее уплотнение и повышают долгосрочную продуктивность возделываемых сельскохозяйственных культур.

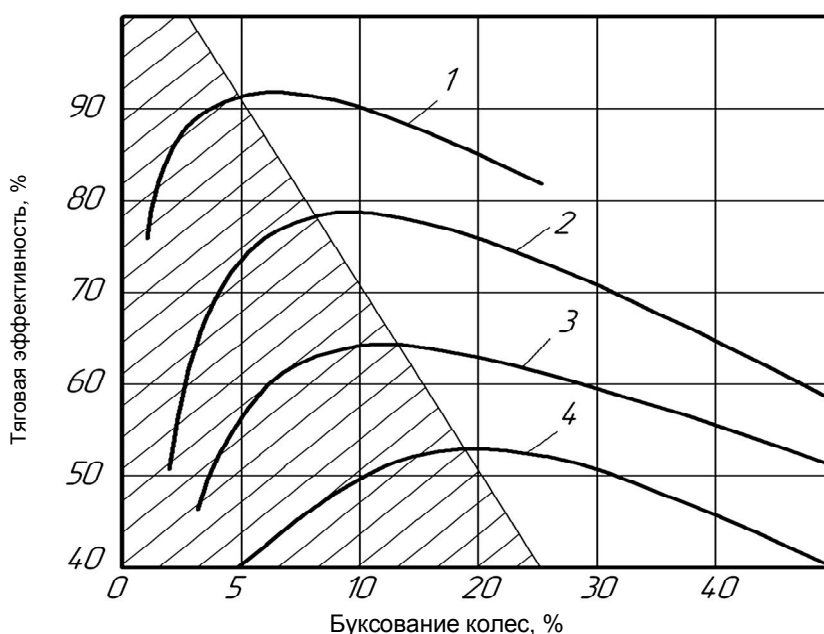
Повышение производительности трактора и снижение уплотнения почвы обеспечиваются в первую очередь выбором наиболее оптимального варианта компоновки машинно-тракторного агрегата (МТА). Идеально, когда каждый элемент МТА имеет такие размеры, что трактор обеспечивает передачу максимальной мощности на скорости от 6,44 до 8,05 км/ч (4...5 mph).

Если трактор используют как для первичной, так и для вторичной обработки почвы или для выполнения легкой работы, такой как посадка, то орудия первичной обработки земли должны быть относительно узкими, а легкие орудия – широкими, чтобы они использовали общую тяговую силу трактора для работы на подходящей скорости.

Когда практические ограничения, такие как стоимость или ограничения ширины захвата препятствуют выбору орудий, наиболее подходящих для трактора, максимальная производительность может быть достигнута только подбором балласта и давления воздуха в шинах в течение всего сезона эксплуатации. Практически, кроме передних грузов, балласт считается установленным на тракторе. Оптимизация параметров для разнообразных случаев использования трактора должна быть определена при его эксплуатации. Оптимальные значения балластирования и давления воздуха в шинах обычно являются компромиссными между максимальной передачей мощности и приемлемыми уровнями уплотнения почвы.

*Тяговая эффективность*

Тяговая эффективность – это часть мощности на оси трактора, которая фактически передается орудью через сцепной крюк. Мощность передачи больше эффективной поверхности почвы, которая не деформируется под давлением. При этом тяговое усилие достаточно велико, чтобы препятствовать буксованию колес (см. рис.).



Максимальная мощность на пике каждой кривой – компромисс между сопротивлением перекачиванию и буксованием колес: 1 – бетон; 2 – плотная почва; 3 – вспаханная почва; 4 – мягкая или песчаная почва;

▨ – мощность лимитирована сопротивлением перекачиванию;  
 □ – мощность лимитирована буксованием колес

Тяговая эффективность на почвах лимитируется как сопротивлением перекачиванию, так и буксованием колес. Максимальная мощность на пике каждой кривой достигается тогда, когда параметры трактора обычно оптимальны – при буксовании 8...15%. Мощность лимитируется чрезмерным сопротивлением перекачиванию на левой стороне кривых и чрезмерным буксованием на правой стороне кривых. Максимумом тяговой эффективности является результат компромисса между минимальным сопротивлением перекачиванию и минимальным буксованием колес.

Современные тракторы разработаны с тем, чтобы передавать значительную мощность (силу) почве. Передача мощности требует больших сил трения или тяговых усилий, передаваемых на поверхность почвы. Дополнительный вес трактора создает большие силы на поверхности почвы, повышая ее уплотнение и тяговую силу. Увеличение силы почвы противодействует силам в шинах, когда они передают мощность орудью в контакте с почвой, но дополнительный вес является причиной глубокой колеи, что увеличивает сопротивление перекачиванию. Широкие и сдвоенные шины увеличивают площадь контакта, сцепление с грунтом и тяговое усилие, а также уменьшают как глубину колеи, так и уплотнение почвы.

#### *Уплотнение почвы*

По мнению отдельных авторов, уплотнение почвы приводит к увеличению плотности и снижению пористости почвы, что часто вызывается давлением на почву тракторов и других тяжелых машин, таких как грузовики, комбайны и др. [2, 5]. Уплотнение почвы препятствует нормальному развитию корневой системы, вызывая симптомы водного и питательного напряжения. Эффект снижения пористости почвы приводит к уменьшению проникновения воды, сохранению влаги и воздушному обмену.

В годы недостатка влаги или ее избытка пористость в хорошо структурированной почве действует как резервуар и система каналов для воды, амортизируя эффекты избытка влаги. Идеальная почва содержит около 50% пор, содержащих поровну воздух и воду. Пористость почвы также позволяет корням при их росте смещать почву. Но движение тяжелых колес, особенно при переувлажненной почве, разрушает структуру почвы и сжимает ее частицы близко друг к другу, снижая тем самым пористость почвы. Сильно спрессованная почва является существенным препятствием для роста растений. Корни сталкиваются с физическим барьером роста, потому что не могут сдвинуть почву, а система каналов для воздуха и воды закрыта. Любые меры по уменьшению давления способствуют снижению уплотнения почвы. Повышение тяговой эффективности и снижение уплотнения почвы являются часто совместимыми целями, и оба мероприятия способствуют увеличению доходности.

#### *Управление параметрами трактора*

В специальной литературе раскрыты три направления повышения тяговой эффективности трактора и снижения уплотнения почвы: *управление мощностью, подбор балласта и установка правильного давления воздуха в шинах* [1].

*Управление мощностью.* Тракторные трансмиссии не предназначены для передачи максимальной мощности на низких скоростях. Максимальная мощность на малых скоростях потребует большие тяговые силы, которые могут стать причиной преждевременного износа трансмиссии. Наоборот, максимальная мощность на больших скоростях вызовет меньшие силы на почве и меньшую потребность тягового усилия. Орудия с большим тяговым сопротивлением (например, для первичной обработки почвы) должны иметь такие размеры, чтобы они могли работать на минимальных скоростях в пределах от 6,44 до 8,05 км/ч (4...5 mph). Тяга орудия на высоких скоростях снижает как износ трансмиссии, так и уплотнение почвы, когда трактор должным образом забалластирован. Комбинация легких орудий и высокой скорости снижает вес, необходимый для достижения максимальной тяговой эффективности, которая уменьшает давление на почву и ее уплотнение.

*Подбор балласта.* Балласт должен использоваться только для достижения достаточной тяги при передаче мощности на почву без чрезмерного буксования колес, так как часть мощности обычно теряется на буксование колес. При излишнем балласте образуется глубокая колея, что увеличивает сопротивление перекачиванию [1]. Мощность теряется при чрезмерном балласте, потому что колесо должно выбираться из создаваемой глубокой колеи. Оптимальный балласт – это компромисс между буксованием колес и сопротивлением его перекачиванию. Устранение буксования колес давлением балласта не повышает тягу, реализуемую через сцепное устройство трактора.

Вспаханные или мягкие почвы требуют большего балласта для тяги. Обработка снижает сопротивление почвы, при этом увеличивается глубина колеи и снижается тяга. На сопротивление перекачиванию и на буксование колес расходуется больше мощности на вспаханных или рыхлых почвах, чем на непаханных или плотных почвах. Рыхлые или скользкие поверхности могут быть причиной буксования колес – даже на плотных почвах.

Балласт должен быть распределен между передней и задней частями трактора в правильных пропорциях для достижения максимума тяговой эффективности и стабильности (см. табл.).

**Переднее и заднее распределение веса, %**

Конструкция трактора / тип орудия	Распределение веса	
	спереди	сзади
Два ведущих задних колеса / прицепное орудие	25	75
Два ведущих задних колеса / полунавесное орудие	30	70
Два ведущих задних колеса / навесное орудие	35	65
Подключаемые передние колеса / прицепное орудие	40	60
Подключаемые передние колеса / навесное орудие	45	55
Четыре ведущих колеса / прицепное орудие	55	45
Четыре ведущих колеса / навесное орудие	60	40

Положение сцепного устройства на тракторе вызывает перенос веса с передней оси на заднюю, когда трактор тянет орудие. Перенос веса особенно очевиден на тракторе с двумя ведущими колесами, когда его передняя часть разгружается, что затрудняет управление трактором.

Подобный эффект происходит в том случае, когда добавляется или удаляется балласт, особенно на передней консоли, но не над передней осью. Добавка балласта на консоли спереди трактора уменьшает вес над задней осью. Например, установка дополнительно спереди 45 кг (100 фунтов) увеличивает общий вес трактора на 45 кг (100 фунтов), но увеличение веса на переднюю ось составит 68 кг (150 фунтов) и снижение веса на заднюю – 22,6 кг (50 фунтов) [1].

Статическое (без нагрузки) распределение веса, показанное в таблице, должно поддерживаться добавлением или удалением балласта спереди и сзади трактора. Тракторы с подключаемыми передними колесами и постоянно ведущими четырьмя колесами должны иметь относительно больший вес спереди, чем тракторы с двумя ведущими колесами, потому что передние колеса также обеспечивают тягу.

*Шины и установка давления воздуха в них*

Подобранные шины должны обеспечивать максимальную площадь контакта с поверхностью почвы. Площадь контакта зависит от размера, типа и количества шин, также как и от давления воздуха в них.

При этом накачанные радиальные шины обеспечивают больший и распространенный на всю длину отпечаток, чем диагональные шины. Большого размера и сдвоенные ра-

диальные шины при оптимальном давлении воздуха передают силу почве через большую площадь. Увеличение площади контакта шин снижает давление, осуществляемое шиной на основание. Давление, осуществляемое шиной на поверхность почвы вблизи почвозацепа, на 0,01 МПа (2 psi) больше, чем давление воздуха в шине. В случае, когда вместо одинарных используются сдвоенные колеса, каждая шина воспринимает меньшую долю веса трактора, следовательно, давление в шине может быть снижено. Всякий раз, когда давление в шине снижается, шина деформируется на большей площади, и дальнейшее снижение давления относится и к поверхности почвы.

*Определение оптимального балласта и давления воздуха в шинах*

Оптимальный балласт и давление воздуха в шинах трактора зависят от:

- типа и размера трактора;
- типа, размера и количества шин;
- типа почвы и почвенных условий;
- тяги, обусловленной типом, шириной и рабочей глубиной плуга или другого орудия.

Размер шин и тип орудия можно подбирать, в то время как характеристики почвы могут значительно изменяться в пределах одного поля. Следовательно, размеры шин и оптимальный балласт определяются для средних условий. Несколько оптимальных сочетаний параметров конфигурации могут быть определены для различных видов полевых работ и типов почв. Следующие действия могут являться руководством, как шаг за шагом определять оптимальные параметры настройки.

Шаг 1. Определитесь с предстоящей операцией в поле и оборудуйте трактор в соответствии с указаниями руководства по эксплуатации, вашим опытом или другими доступными рекомендациями.

Шаг 2. Взвесьте и запишите вес, приходящийся на каждую ось трактора отдельно. Заполните установленные на тракторе баки как топливные, так и опрыскивателя. Если установленное оборудование используется, взвесьте трактор с этим оборудованием.

Шаг 3. Определитесь с типом и размером шин по обозначению на ее наружной боковой поверхности. Шины могут быть радиальные или диагональные. Радиальные шины имеют маркировку звездочками (\*, \*\* и т.д.), диагональные – различное количество слоев (4-слойные, 6-слойные и т.д.). Указывайте код и размеры шины (конструкция и диаметр обода), например, 18,4R-38.

Шаг 4. Проверьте и установите нужное распределение веса по оси трактора. Отрегулируйте вес спереди и сзади таким образом, чтобы вес трактора был должным образом распределен на передние и задние колеса (смотрите руководство по эксплуатации). Запишите окончательный вес каждой оси.

Шаг 5. Определите вес, воспринимаемый каждой шиной. Разделите вес, приходящийся на ось, на количество шин оси.

Шаг 6. Отрегулируйте давление воздуха в шинах. Обратитесь к диаграмме нагрузок давления воздуха шин (см. данные дилера шин). Найдите размер вашей шины на диаграмме. Определите минимальное давление воздуха в соответствии с весом, воспринимаемым каждой шиной, в соответствии с операцией в шаге 5. Отрегулируйте давление в шинах, если необходимо. Обратитесь к руководству по нагрузкам и давлению воздуха в шинах для большей информации по эксплуатации шин. Не перекачивайте шины, так как шины с малой слоистостью и малым количеством звездочек имеют более низкое максимальное давление. Например, максимальное давление воздуха для радиальной с одной звездочкой шины ниже, чем максимальное давление для радиальной шины с двумя звездочками. Максимальное давление в шинах устанавливается в случае увеличенной нагрузки на них.

Шаг 7. Оцените тяговую эффективность измерением или наблюдением за буксованием колес. Для замера буксования обратитесь к инструкции «Замер буксования колес подсчетом числа их оборотов». Буксование колес может быть оценено наблюдением за

появляющимся за ними следом. Если след от протектора шины нечеткий, то буксование высокое. Если след достаточно четкий и отпечатки рисунка протектора шины не изломаны, то буксование низкое.

Шаг 8. Добавьте или удалите балласт для оптимизации буксования. Если буксование больше чем 15%, значительная мощность теряется на буксование, причинами чего могут быть следующие факторы: 1 – высокая влажность почвы; 2 – слишком высокая сила тяги; 3 – отсутствие требуемого контакта с поверхностью почвы, потому что шины слишком малы или перекачены; 4 – трактор недостаточно забалластирован.

Проанализируйте необходимость переоборудования трактора либо шинами большего размера, либо сдвоенными шинами, либо радиальными шинами.

Для улучшения тяги может быть добавлен балласт. Увеличенный балласт вызовет большее давление на почву и, соответственно, приведет к ее уплотнению. Рассмотрите возможность использования сдвоенных шин для снижения давления на почву и помните о регулировке давления в шинах.

Если буксование меньше чем 5%, то значительная мощность теряется на преодоление сопротивления перекачиванию, и балласт может быть удален для повышения тяговой эффективности. Удаление балласта снижает вес трактора и уменьшает уплотнение почвы.

При этом следует иметь в виду, что при удалении балласта или при использовании сдвоенных шин необходимо снижать давление воздуха в них, а когда добавляется балласт или устанавливаются вместо сдвоенных одинарные шины, необходимо, наоборот, повышать давление.

Далее взвесьте каждую ось отдельно и определите нагрузку на шины, для чего используйте диаграмму давления воздуха в шинах, чтобы определить его правильное значение.

Шаг 9. Повторите шаги 4-8, если после подбора балласта буксование составляет примерно 10%.

### *Рекомендации по нагрузкам на шины и давлению воздуха в них*

Шины должны быть накачаны в соответствии с таблицами нагрузок на шины и давлением воздуха в них, приведенными в ГОСТ 7463-2003 [4]. В таблицах указаны максимальные значения нагрузок на шины данной конструкции и давления воздуха в них, которые обеспечивают безопасную работу и номинальный срок службы шин при максимуме номинальной скорости. Большинство таблиц базируется на рекомендациях, опубликованных Ассоциацией изготовителей шин и ободьев (TRA), и стандартизировано по типам и размерам шин. Для получения специфической информации следует пользоваться также таблицами, которые публикуют производители шин в каталогах и других сопроводительных документах.

Радиальные шины могут быть накачаны до 0,04 МПа (6 psi) в зависимости от конструкции шин и их применения [10]. Более низкие давления обычно рекомендуются только для тракторов со сдвоенными шинами при работе с прицепными машинами (в противоположность навесным) на относительно ровной поверхности. Давление, указанное в таблицах ГОСТ 7463-2003, может быть увеличено на 0,03 МПа (4 psi) для трактора с одинарными шинами, работающего на склонах или с навесными машинами с целью предотвращения отрицательного влияния боковых сил. При работе на низких давлениях рекомендуется также дополнительное давление 0,03 МПа (4 psi), если шины находятся в жестких условиях или при высоких нагрузках, когда большой момент на колесах может вызвать прокручивание шины относительно обода. Сдвоенные шины рекомендуются при работе в тех же условиях. Когда используются сдвоенные или строенные шины, максимальная нагрузка на шину должна быть меньше, потому что в любой момент при движении на пересеченной местности отдельная шина может нести нагрузку больше, чем приходящаяся на ее долю.

Нагрузки на шины указываются для обеспечения безопасной работы при максимальных давлениях и максимуме номинальной скорости, которая обычно задается равной 40,2 км/ч (25 mph). В таблицах нагрузок и давлений часто приводятся условия (в виде сносок), позволяющие увеличивать нагрузки при работе на скорости ниже максимума номинальной. Например, нагрузки на шинах фирмы Firestone могут быть увеличены в 1,07, 1,11 и 1,34 раза, если трактор не будет работать на скоростях выше соответственно 20, 15 и 10 миль в час [10].

---

### Список литературы

1. Балласт трактора [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.remkam.ru/kamazcx75-25> (дата обращения: 06.04.2015).
2. Беляев А.Н. Исследование физико-механических свойств почвы на поворотной полосе / А.Н. Беляев, В.В. Шередукин, Д.Г. Козлов, В.И. Крюков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2009. – № 3. – С. 11-12.
3. Гинзбург Ю.В. Промышленные тракторы : учебник / Ю.В. Гинзбург, А.И. Швед, А.П. Парфенов. – Москва : Машиностроение, 1986. – 296 с.
4. ГОСТ 7463-2003. Шины пневматические для тракторов и сельскохозяйственных машин. – Введ. 2005-01-01. – Москва : ИПК Изд-во стандартов, 2004. – 28 с.
5. Ксенович И.П. Ходовая система – почва – урожай: учеб. пособие / И.П. Ксенович, В.А. Скотников, М.И. Ляско. – Москва : Агропромиздат, 1985. – 304 с.
6. Острецов А.В. Шины и колеса для автомобилей и тракторов : учеб. пособие по дисциплине «Конструкция автомобиля и трактора» / А.В. Острецов, П.А. Красавин, В.В. Воронин. – Москва : МГТУ «МАМИ», 2011. – 85 с.
7. Тракторы. Проектирование, конструирование и расчет : учебник ; под ред. Ксеновича И.П. – Москва : Машиностроение, 1991. – 545 с.
8. Тракторы. Теория : учебник / В.В. Гуськов [и др.]. – Москва : Машиностроение, 1988. – 377 с.
9. Тырнов Ю.А. Интегральный трактор. Основные потребительские свойства и использование в составе машинных агрегатов и технологий : монография / Ю.А. Тырнов, А.С. Дурманов, А.В. Балашов, А.А. Ногтиков, Ю.В. Мельник, А.Г. Рамазанов. – Воронеж : Истоки, 2003. – 218 с.
10. Firestone. Сельскохозяйственные шины [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.firestoneag.com/en/tire-info/load-inflation-tables/default.aspx> (дата обращения: 06.04.2015).