

УДК 631.431.73:631.3

## Снижение последствия машинных агрегатов на почву

## Reduction of aftereffect of machine units on the soil

Г. А. ОКУНЕВ<sup>1</sup>, д-р техн. наук  
В. Л. АСТАФЬЕВ<sup>2</sup>, д-р техн. наук  
Н. А. КУЗНЕЦОВ<sup>1</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup> Южно-Уральский государственный аграрный университет, Челябинск, Россия, kuznetcof@mail.ru

<sup>2</sup> Костанайский филиал Казахского научно-исследовательского института механизации и электрификации сельского хозяйства, Костанай, Республика Казахстан, celinnii@rambler.ru

G. A. OKUNEV<sup>1</sup>, DSc in Engineering  
V. L. ASTAF'EV<sup>2</sup>, DSc in Engineering  
N. A. KUZNETSOV<sup>1</sup>, PhD in Engineering

<sup>1</sup> South Ural State Agrarian University, Chelyabinsk, Russia, kuznetcof@mail.ru

<sup>2</sup> Kazakh Research Institute of Agricultural Engineering and Electrification, Kostanay branch, Kostanay, Republic of Kazakhstan, celinnii@rambler.ru

Возделывание сельскохозяйственных культур связано с многократными проходами агрегатов по полю. Особую опасность представляет кумулятивный эффект переуплотнения почвы от повторяющихся воздействий движителей машинных агрегатов. Наиболее интенсивно процесс уплотнения почвы происходит в весенний период. Многократный проход тяжелых машин и переуплотнение пахотного и подпахотного горизонтов приводят к снижению потенциала урожайности полей. Решение проблемы уплотнения почвы зависит от почвенных и климатических условий, зональных технологий возделывания и уборки сельскохозяйственных культур, применяемой системы машин. При формировании машинно-тракторного парка предприятий основой служит выбор типа трактора общего назначения. Наименьшее отрицательное воздействие на почву обеспечивается при использовании гусеничных тракторов. Преимущество колесных тракторов заключается в возможности выполнять транспортные и полевые работы. Все возрастающие масса и мощность колесных тракторов практически исключают их применение на транспортных работах, что свидетельствует о необходимости использования тяжелых гусеничных тракторов типа "Руслан" и Challenger. Их применение в сочетании с колесными тракторами среднего класса позволяет существенно улучшить структуру машинно-тракторного парка. Основным энергосредством для фермерских хозяйств с площадью пашни до 1000 га служит трактор общего назначения класса 3. Использование трактора ХТЗ-150К-09 на шинах низкого давления 23,1R26 с давлением воздуха 80 кПа обеспечивает допустимое воздействие на почву. Плотность почвы в пахотном слое снижается на 0,06 граммов на кубический сантиметр в сравнении с использованием одинарных колес 21,3R24. Это позволяет задействовать такой трактор в комплексе весенних полевых работ.

**Ключевые слова:** трактор; масса; структура; почва; плотность; твердость; колесо; давление; фермерское хозяйство; давление воздуха в шинах.

Cultivation of crops is associated with multiple passes of machine units through the fields. The cumulative effect of soil compaction caused by repeated impacts of movers of machine units is considered as especially dangerous. The most intensive compaction process occurs in spring. The repeated passes of heavy machines and the compaction of surface and subsurface soil horizons lead to the decrease in yield potential of fields. The solving of compaction problem depends on the soil and climatic conditions, zonal cultivation technologies and crop harvesting, and on the machine system in operation. When forming the machine and tractor fleet of enterprises, the selection of general-purpose tractors serves as a basis. The least negative impact on the soil occurs when crawler tractors are used. The advantage of wheeled tractors is the possibility of their use for both field works and transport operations. But today the wheeled tractors are hardly used for transport operations because of their increased weight and power, which shows the necessity of use of such heavy crawler tractors as Ruslan and Challenger. Their use in combination with wheeled tractors of middle class allows to improve significantly the structure of machine and tractor fleet. The main power unit for farm enterprises with 1000 hectares of arable land is a general-purpose tractor of the 3rd traction class. The use of the HTZ-150K-09 tractor with 23.1R26 low-pressure tires with the air pressure of 80 kPa provides a permissible impact on the soil. The soil density in the surface layer reduces to 0.06 grams per cubic centimetre as compared to the use of 21.3R24 single wheels. This allows to put such tractor in operation for spring field works.

**Keywords:** tractor; weight; structure; soil; density; hardness; wheel; pressure; farm enterprise; tire air pressure.

## Введение

Возделывание с.-х. культур связано с многократными проходами агрегатов по полю. В результате почва уплотняется, что приводит к ухудшению основных физических и физико-химических свойств пахотного и подпахотного горизонтов, снижению урожайности возделываемых культур и увеличению затрат энергии на выполнение технологических операций. Эта проблема становится все острее в связи с массовым применением тяжелых колесных тракторов, комбайнов, грузовых автомобилей. Повышенная скорость их движения вызывает большие динамические нагрузки на почву и ее чрезмерное уплотнение на большую глубину.

Особую опасность представляет кумулятивный эффект переуплотнения почвы от повторяющихся воздействий движителей машинных агрегатов. Наиболее интенсивно процесс уплотнения почвы происходит в весенний период, когда почва находится в состоянии повышенного увлажнения и легко поддается деформации, а также при движении по полю грузовиков с шинами высокого давления.

При проходе колесного трактора влажная почва под колесами сдавливается, как губка. Часть влаги выдавливается на поверхность и испаряется, вторая часть вдавливается в нижние слои почвы и становится недоступной для растений из-за образования в пахотном горизонте чрезвычайно плотных слоев. Уплотненные зоны концентрируются и распространяются на расстояние 0,8–1 м в обе стороны от следов колесного трактора и на глубину до 0,6 м (см. рисунок) [1].

Современные тенденции научно-технического прогресса в сельском хозяйстве приводят к тому, что в целях повышения производительности приоритет отдается энергонасыщенным тяжелым агрегатам. Это влечет за собой увеличение уплотняющего воздействия движителей на почву. В результате разрушается ее структура, возрастает эрозионная деградация пахотного горизонта, образуется так называемая плужная подошва, ограничивается процесс накопления и отдачи влаги подпахотного горизонта. При этом нарушается микрофлора, например из пахотного слоя почвы практически исчезли дождевые черви, способствующие поддержанию структуры почвы и каналов в ней, необходимых для обеспечения режима питания корневой системы растений влагой и воздухом.

Многочисленный проход тяжелых машин и переуплотнение пахотного и подпахотного горизонтов не только затрудняют и ограничивают развитие корневой системы растений, но и увеличивают удельное сопротивление при обработке почвы. Исследования многих авторов показывают, что за последние 40 лет удельное сопротивление почвы возросло не менее чем на 25–30 %. Повторяющиеся воздействия движителей машин на поле обуславливают выраженную неравномерность плотности пахотного слоя со всеми вытекающими негативными последствиями. В итоге не только снижается потенциал урожайности полей, но и нивелируются результаты работы по повышению производительной способности агрегатов [2, 3].

Установлено, что только трактор типа ДТ-75 по уровню давления на

почву удовлетворяет агротехническим требованиям, т.е. после его воздействия происходят релаксация и восстановление в течение одного полевого сезона [4]. Трактор типа Т-4 приближается к допустимому уровню уплотнения почвы, но при условии регулирования высоты прицепа орудий с учетом их тягового сопротивления для перераспределения центра давления. Также необходимо обустройство эллипсовидной формы обвода опорной поверхности гусеницы путем установки прокладок под опоры крепления средних катков толщиной 1,5 и 2 см [5]. Трактор Т-150К при установке сдвоенных колес приближается к допустимому уровню воздействия на почву, а трактор типа "Кировец" не удовлетворяет требованиям даже со сдвоенными колесами.

С этих позиций не получает должной оценки уборочный процесс. Масса современных комбайнов превышает 15 т. В совокупности с агрегатами на косовице и большегрузными автомобилями или тракторными поездами, двигающимися по полю, они уплотняют значительную его часть. Эта деформация не устраняется за счет зимней релаксации почвы.

## Цель исследования

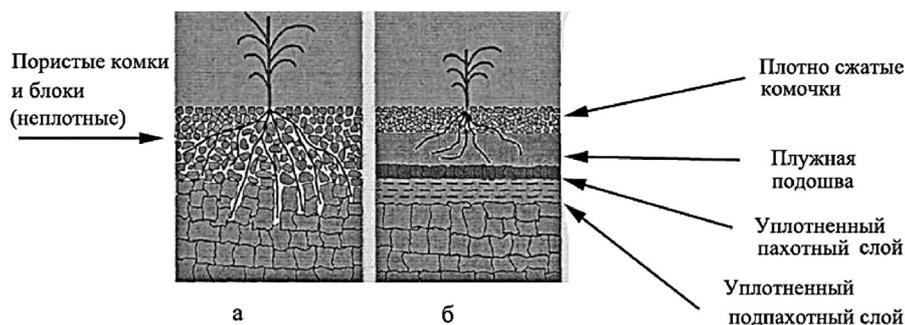
Цель работы — определение экологического последствия трактора среднего класса тяги с различными движителями с учетом давления воздуха в шинах, а также проведение эксперимента для оценки его использования на весенне-полевых работах.

## Материалы и методы

В исследовании использованы техническая характеристика трактора ХТЗ-150К-09, положения ГОСТ 7463—2003 "Шины пневматические для тракторов и сельскохозяйственных машин. Технические требования" и ГОСТ 20915—75 "Сельскохозяйственная техника. Методы определения условий испытания".

## Результаты и их обсуждение

Комплексный подход к анализу проблемы уплотнения почвы машинными агрегатами позволяет сде-



## Изменение структуры почвы при уплотнении:

а — неуплотненная почва; б — уплотненная почва

лать вывод о многоплановости проблемы. Ее решение зависит как от почвенных и климатических условий, зональных технологий возделывания и уборки с.-х. культур, так и от применяемой системы машин.

На уровне предприятия проблема решается выбором наиболее приемлемых технологий с учетом конкретных условий производства, использованием элементов и системы на основе минимальной и нулевой обработки почвы, целенаправленным формированием комплекса машин с энергосберегающими рабочими органами, рациональным распределением работ между тракторами с целью снижения негативного воздействия на почву.

Положительное влияние могут оказать рациональные правила производства работ, в т.ч. уменьшение проходов транспортных средств и других обслуживающих агрегатов по полю. Особое внимание следует уделить комплексу мероприятий по снижению уплотняющего воздействия на почву, таких как регулирование давления воздуха в шинах, использование сдвоенных колес и шин низкого давления, выравнивание эпюры давления за счет перераспределения центра масс в процессе работы агрегата и др.

При формировании машинно-тракторного парка (МТП) предприятий основной служит выбор типа трактора общего назначения. Наряду с производительностью и другими эксплуатационными показателями необходимо учитывать уплотняющее воздействие на почву, показатель которого — среднее давление трактора на почву (табл. 1) [6, 7].

Приведенные данные свидетельствуют о том, что наименьшее отрицательное воздействие на почву обеспечивается при использовании гусеничных тракторов. Многолетний опыт ТОО "Алтынсарыно" и КХ "Шулер Э. Ф." Костанайской обл. Республики Казахстан свидетельствует о том, что использование гусеничных тракторов по сравнению с тракторами "Кировец" позволяет увеличить урожайность примерно на 1/3.

Постепенный переход на тяжелые пахотные тракторы обусловлен необходимостью существенного повышения производительности ма-

шин из-за нехватки механизаторов и отсутствия на рынке гусеничных тракторов должного качества. Определенное преимущество колесных тракторов заключается в их универсальности, т.е. в способности выполнять не только полевые, но и транспортные работы. Однако все возрастающая масса и мощность колесных тракторов практически исключают их использование на транспортных работах, что свидетельствует о необходимости применения тяжелых гусеничных тракторов типа "Руслан" и Challenger. Их использование в сочетании с колесными тракторами среднего класса позволяет существенно улучшить структуру МТП.

Однако только уменьшением давления движителей тракторов проблему уплотнения почвы не решить. При проведении весенне-полевых работ на возделывании зерновых культур (закрытие влаги, предпосевная культивация, посев, боронование или прикатывание посевов) движителями колесных тракторов уплотняется 50—60 % площади поля, а на возделывании пропашных культур — более 90 %, причем до 30—40 % площади поля уплотняется двукратно, до 10—20 % — трехкратно. Потери продукции на переуплотненных тяжелых суглинистых почвах достигают 20 % при возделывании зерновых культур и 40 %

при возделывании пропашных культур.

Уменьшение уплотненной площади поля примерно вдвое можно обеспечить сокращением количества проходов агрегатов по полю в весенний период, например при нулевой технологии обработки почвы или использовании комбинированных орудий, позволяющих за один проход агрегата выполнить несколько технологических операций.

Передовой опыт хозяйств Австралии свидетельствует о том, что снизить площадь уплотнения почвы в весенний период можно путем введения постоянной технологической колеи. По каждому полю с использованием GPS прокладывается маршрут движения машинно-тракторных агрегатов в виде постоянной технологической колеи, и тракторам запрещается передвигаться по полю вне ее. Основное требование при введении такой колеи — кратность ширины захвата машин, применяемых в процессе возделывания с.-х. культур. Поэтому переход на эту технологию требует переоснащения МТП хозяйств.

Как правило, технологию возделывания с.-х. культур с постоянной технологической колеей в Австралии применяют в хозяйствах с высокой культурой земледелия. С введением технологической колеи уплотненная площадь составляет не более

Таблица 1

Среднее давление движителей тракторов на почву

Марка трактора	Размер колес	Масса трактора, т	Контурная площадь, м <sup>2</sup>	Давление на почву, кПа
К-700	23,1R26	12	1,61	75
К-700А	28,1R26	12,81	1,82	71
К-701	28,1R26	13,5	1,82	74
К-744P1	28,1R26	14,9	1,82	82
К-744P2	30,5R32	15,7	2,1	75
К-744P3(4)	30,5R32	20	2,1	95,1
К-744P3(8)	30,5R32	22	4,2	52
Т-4А-01Т	Гусеничный движитель	8,87	1,77	50
ВТ-150	Гусеничный движитель	7,72	1,84	42
ХТЗ-181	Гусеничный движитель	9,05	2,01	45
Т-150	Гусеничный движитель	6,97	1,52	46
ХТЗ-150К-09	21,3R24(4)	7,98	1,29	62
ХТЗ-150К-09	21,3R24(8)	8,98	1,95	46
ХТЗ-17221	23,1R26	8,91	1,61	56
ХТЗ-150К-09	23,1R26	8,08	1,61	50

Таблица 2

Расчетные давления на почву трактора ХТЗ-150К-09

Размер колес	Давление воздуха в шинах, кПа	Ширина, мм	Диаметр, м	Масса, кг	Площадь пятна контакта, м <sup>2</sup>	Давление колес на почву, кПа
21,3R24(4)	160	540	1400	7980	0,382	65,4
21,3R24(8)		1080	1400	8980	0,557	48
23,1R26		587	1605	8100	0,43	58,8
21,3R24(4)	140	540	1400	7980	0,394	63,4
21,3R24(8)		1080	1400	8980	0,595	46,2
23,1R26		587	1605	8100	0,44	56,9
21,3R24(4)	120	540	1400	7980	0,41	61
21,3R24(8)		1080	1400	8980	0,619	44,4
23,1R26		585	1605	8100	0,462	54,7
21,3R24(4)	100	540	1400	7980	0,432	57,81
21,3R24(8)		1080	1400	8980	0,652	42
23,1R26		587	1605	8100	0,487	51,9
23,1R26	80	587	1605	8100	0,522	48,4

Таблица 3

Плотность почвы по следу тракторов, г/см<sup>3</sup>

Марка трактора	Размер колес	Влажность почвы, %			
		23,9	23	22,1	21,7
		Слой почвы, см			
		0—5	5—10	10—15	15—20
К-744РЗ	30,5R32	1,26	1,35	1,37	1,4
ХТЗ-159К-09(4)	21,3R24	1,14	1,27	1,29	1,31
ХТЗ-159К-09(4)	23,1R26	1,07	1,21	1,25	1,28
ХТЗ-159К-09(8)	21,3R24	1	1,18	1,2	1,23
Вне колеи		0,85	1,11	1,14	1,23

Таблица 4

Твердость почвы по следу тракторов, МПа

Марка трактора	Размер колес	Влажность почвы, %			
		23,9	23	22,1	21,7
		Слой почвы, см			
		0—5	5—10	10—15	15—20
К-744РЗ	30,5R32	3	3,5	4	4,3
ХТЗ-159К-09(4)	21,3R24	2,6	3,1	3,5	3,7
ХТЗ-159К-09(4)	23,1R26	2,46	2,93	3,25	3,43
ХТЗ-159К-09(8)	21,3R24	2,4	2,84	3,1	3,3
Вне колеи		0,67	1,32	1,64	1,71

15—20 % площади поля, а прибавка урожая при применении колесных тракторов высокого тягового класса может достигать 25—35 % по сравнению с текущим уровнем урожайности.

Помимо крупных предприятий в производстве с.-х. продукции участвуют фермерские хозяйства, которые ограничены в финансовой возможности приобретения дорогостоящей техники. Основным энергосредством для фермерских хозяйств с площадью пашни до 1000 га служит трактор общего назначения класса 3. Использование такого трактора с набором машин для минимальной технологии возделывания с.-х. культур позволяет выполнить весь комплекс полевых работ и стабилизировать производство зерна. Для этих целей могут подойти трактор типа ХТЗ-150К-09 в сочетании с трактором МТЗ-82 для выполнения вспомогательных операций.

Установлено, что допустимое значение давления на почву колесных тракторов составляет 50 кПа. При этом величина давления движителей на почву зависит не только от массы трактора, но и от давления воздуха в шинах. В связи с этим проведена сравнительная оценка вариантов колес к трактору среднего класса тяги.

С целью оценки давления на почву на примере трактора ХТЗ-150К-09 с колесами 21,3R24 и 23,1R26 выполнен расчет среднего давления движителей на почву при различном давлении воздуха в шинах (табл. 2).

Полученные данные о влиянии внутреннего давления воздуха в шинах и типа колес на изменение давления на почву показывают, что применение сдвоенных колес 21,3R24 при различном давлении воздуха в шинах обеспечивает экологическую совместимость при выполнении полевых работ. Перспективно применение шин низкого давления 23,1R26, которые также обеспечивают допустимое воздействие на почву при давлении воздуха в шинах 80—100 кПа.

Для оценки влияния типоразмера шин трактора ХТЗ-150К-09 с колесами 21,3R24 и 23,1R26 на уплотняющее воздействие на почву проведены производственные опыты по определению плотности и твердости

почвы на стерневом фоне на базе Костанайского филиала Казахского научно-исследовательского института механизации и электрификации сельского хозяйства (табл. 3, 4).

Из представленных опытных данных, полученных в результате определения агрофизических показателей почвы стерневого фона, видно, что при использовании трактора ХТЗ-150К-09 на шинах низкого давления 23,1R26 с давлением воздуха в шинах 80 кПа снижается плотность и твердость по слоям почвы в сравнении с одинарными колесами 21,3R24, что позволяет задействовать такой трактор в комплексе весенних полевых работ.

### Вывод

Из рассмотренных типов колес, применяемых на тракторе ХТЗ-150К-09, наиболее рациональный вариант — колеса с шинами низкого давления 23,1R26. Следует отметить, что применение спаренных колес сопровождается дополнительной площадью уплотнения от следа колес, что приводит к определенным потерям урожая. Изложенное выше предопределяет эффективность использования одинарных шин низкого давления, обеспечивающих выполнение полевых работ с допустимым воздействием на почву. Это необходимо учитывать при

создании колесных тракторов среднего класса отечественного производства.

### Литература и источники

1. **Забродский В. М., Файнлейб А. М., Кутин Л. Н.** и др. Ходовые системы тракторов. Устройство, эксплуатация, ремонт: Справочник. М.: Агропромиздат, 1986. 271 с.
2. **Окунев Г. А., Кузнецов Н. А.** Последствия влияния на почву тракторов среднего класса при оценке эффективности их использования // АПК России. 2016, т. 75, № 1. С. 89—95.
3. **Азаров Н. К., Казанков Л. Б.** Деформация почвы ходовыми системами различных движителей // Проблемы интенсификации почвозащитного земледелия: Тр. ВАСХНИЛ. Целиноград, 1992. С. 145—151.
4. **Окунев Г. А., Кузнецов Н. А., Бражников А. А.** Воздействие машинных агрегатов на почву и тенденции формирования машинно-тракторного парка // АПК России. 2014, т. 69. С. 51—54.
5. **Гайнуллин И. А.** Снижение уплотняющего воздействия гусеничного трактора на почву: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Челябинск, 2002. 18 с.
6. **Окунев Г. А., Рахимов И. Р., Кузнецов Н. А.** Современные тенденции технического переоснащения производственных формирований различного типа // АПК России. 2014, т. 69. С. 55—58.
7. **Окунев Г. А., Кузнецов Н. А., Бражников А. А.** Обоснование давления воздуха в шинах трактора ХТЗ-150К-09 при выполнении полевых работ // АПК России. 2014, т. 70. С. 99—107.

### References

1. **Zabrodskiy V. M., Faynleyb A. M., Kutin L. N., Utkin-Lyubovtsov O. L.** *Khodovye sistemy traktorov. Ustroystvo, ekspluatatsiya, remont* [Propulsion systems of tractors. Design, operation, repair]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1986, 271 p.
2. **Okunev G. A., Kuznetsov N. A.** The effect of middle-class tractors on soil when assessing their efficiency. *APK Rossii*, 2016, vol. 75, no. 1, pp. 89—95 (in Russ.).
3. **Azarov N. K., Kazankov L. B.** Soil deformation by propulsion systems of different movers. *Problemy intensifikatsii pochvozashchitnogo zemledeliya: Tr. VASKhNIL* [Problems of intensification of conservation agriculture. Proc. of V. I. Lenin All-Union Academy of Agricultural Sciences]. Tselinograd, 1992, pp. 145—151 (in Russ.).
4. **Okunev G. A., Kuznetsov N. A., Brazhnikov A. A.** The effect of machine units on the soil and the tendencies to form a machine and tractor fleet. *APK Rossii*, 2014, vol. 69, pp. 51—54 (in Russ.).
5. **Gaynullin I. A.** *Snizhenie uplotnyayushchego vozdeystviya gusenichnogo traktora na pochvu* [Reducing the compacting effect of caterpillar tractor on soil]. PhD in Engineering thesis abstract. Chelyabinsk, 2002, 18 p.
6. **Okunev G. A., Rakhimov I. R., Kuznetsov N. A.** Current tendencies of technical re-equipping of production units of various types. *APK Rossii*, 2014, vol. 69, pp. 55—58 (in Russ.).
7. **Okunev G. A., Kuznetsov N. A., Brazhnikov A. A.** Substantiation of the air pressure in the tires of KhTZ-150K-09 tractor at field works. *APK Rossii*, 2014, vol. 70, pp. 99—107 (in Russ.).