

УДК 629.032

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ И ТВЕРДОСТИ ПОЧВЫ ПО ГЛУБИНЕ СЛЕДА ТРАКТОРА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ БУКСОВАНИЯ КОЛЕСНОГО ДВИЖИТЕЛЯ

Черников Олег Николаевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Тракторы и автомобили», ФГБОУ ВО Самарская ГСХА.

4446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail: tia_sci_ssaa@mail.ru

Быченин Александр Павлович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Тракторы и автомобили», ФГБОУ ВО Самарская ГСХА.

4446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail: tia_sci_ssaa@mail.ru

Сазонов Дмитрий Сергеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Технический сервис», ФГБОУ ВО Самарская ГСХА.

4446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail: tia_sci_ssaa@mail.ru

Ключевые слова: буксование, почва, структура, твердость, горизонт, слой.

Цель исследований – снижение влияния колесных движителей на структуру и твердость почвы в следе трактора. Приведены методика и результаты исследования воздействия ведущих колес энергетического средства машинно-тракторного агрегата (МТА) на структуру и твердость почвы по слоям горизонта. Выявлено влияние буксования на данные показатели. Исследованиям подвергался МТА в составе трактора тягового класса 0,6 кН (Т-25А) и прицепного культиватора КПС-4,0. Методика исследования подразумевала определение изменения структурного состава почвы (параметр ΔC , %) по количеству эрозионно-опасных (размером менее 0,25 мм) частиц, а также твердости почвы (параметр ΔH , кг/см²) по следу трактора в различных слоях горизонта (0...50 мм; 50...100 мм; 100...150 мм; 150...200 мм и 200...250 мм). Режим буксования изменялся за счет изменения количества рабочих секций культиватора. Учитывалось буксование ведущих колес, а также агрономический фон. Исследования проводились в условиях одинаковой влажности. Скорость движения МТА, его масса и давление воздуха в шинах ведущих колес поддерживались постоянными. Установлено, что наибольшему изменению структура почвы по слоям горизонта подвергается при буксовании $\delta=20...30\%$. Для изменения твердости данный диапазон также является наименее благоприятным. Полученные зависимости структуры и твердости почвы по слоям горизонта от буксования позволяют признать рациональными режимы работы МТА, при которых буксование движителей энергетического средства находится в диапазоне 9...12% вне зависимости от агрофона. Буксование свыше 12% приводит к резкому увеличению в структуре почвы количества эрозионно-опасных частиц, а также повышению твердости почвы в следе трактора в 3,4...3,7 раза в слое глубиной 50...100 мм.

SOIL STRUCTURE AND HARDNESS CHANGE RESULTING FROM THE DEPTH OF A TRACTOR TRACK UNDER DIFFERENT WHEEL DRIVE TOWING STRENGTH

Chernikov O. N., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department «Tractors and automobiles», FSBEI HE Samara SAA.

4446442, Samara region, settlement Ust'-Kinelsky, Uchebnaya street, 2.

E-mail: tia_sci_ssaa@mail.ru

Bychenin A. P., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department «Tractors and automobiles», FSBEI HE Samara SAA.

4446442, Samara region, settlement Ust'-Kinelsky, Uchebnaya street, 2.

E-mail: tia_sci_ssaa@mail.ru

Sazonov D. S., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department «Technical service», FSBEI HE Samara SAA.

4446442, Samara region, settlement Ust'-Kinelsky, Uchebnaya street, 2.

E-mail: tia_sci_ssaa@mail.ru

Keywords: wheel track mover, slipping, soil, properties, physical.

The purpose of the study – is the reduction of the influence of track mover on the structure and hardness of the soil by a tractor. Herein are provided the technique and results of the study of the power facility track mover impact of machine-tractor aggregates (MTA) on the hardness and structure of the soil horizon layers. Machine assembly Influence of slipping on these indicators is revealed. Researches were conducted on machine-tractor aggregates as a part of the tractor with a pulling ability class of 0.6 kN (T-25A) and a hook-on cultivator of KPS-4.0. The study method involved the determination of changes in the structural composition of the soil (ΔC parameter, %) by the number of erosion-hazardous (less than 0.25 mm) particles, as well as soil hardness (ΔH parameter, kg/cm²) following the tractor trace in various layers of the horizon (0...50 mm; 50...100 mm; 100...150 mm; 150...200 mm and 200...250 mm). The slipping mode was changed due to the changing the number of working sections of the cultivator. The slipping of the driving wheels and the agronomic background were taken into account. Studies were conducted within the conditions of equal humidity. Speed of the aggregate, its mass and air pressure inside the tires of the driving wheels were kept constant. It was established that the structure of the soil over the layers of the horizon is subjected to the greatest change during slipping $\delta = 20...30\%$. This range is the least favorable to change the hardness. The dependence obtained between the structure and the soil hardness over the layers of the horizon due to slipping allows recognizing the regime of operation of track mover of the machine-tractor aggregates as rational, in which the slipping of the power facility is in the range of 9...12%, regardless of the agricultural background. A slipping exceeding 12% leads to enormous increase of erosion-hazardous particles in the structure and the hardness of the soil in the tractor track by 3.4...3.7 times in a layer 50...100 mm in depth.

Современные технологии производства продукции растениеводства, в частности зерновых и пропашных культур, несмотря на широкое использование машинно-тракторных агрегатов, способных за один проход выполнять несколько технологических операций, по-прежнему не исключают воздействия на почву колесных движителей энергетических средств. При этом каждый такой проход воздействует на физические свойства почвы, такие, как структура, плотность и твердость, причем изменение этих параметров по слоям горизонта неодинаково. Снижение до минимальных величин степени воздействия ведущих колес МТА на почву позволит уменьшить их отрицательное влияние как на почву, что положительно скажется на сохранении ее плодородности, так и на рост и развитие растений, что позволит увеличить их урожайность. Большое значение при этом имеет режим буксования ведущих колес энергетических средств [1, 2]. На практике, как правило, значительное внимание уделяется борьбе с последствиями такого воздействия, например, использованию различных приспособлений для сельскохозяйственных машин, разуплотняющих почву по следу трактора [3]. Но, на взгляд авторов, более эффективным методом сохранения плодородия почвы является предотвращение либо минимизация уплотняющего воздействия движителей энергетических средств, в том числе и за счет обоснования рациональных режимов буксования. Данный вопрос частично рассмотрен в работе [4], однако в ней не уделено достаточного внимания распространению вредного воздействия колесного движителя в глубь почвы. Также вопросу уплотнения почвы при работе колесного движителя посвящены исследования [5, 6, 7]. На основании этого можно утверждать, что существует не только актуальная научная проблема снижения буксования ведущих колес МТА при выполнении полевых работ, но и необходимость определения режимов буксования колесных движителей энергетических средств, при которых возможна минимизация изменения структуры и твердости почвы по слоям почвенного горизонта.

Цель исследований – снижение влияния колесных движителей на структуру и твердость почвы в следе трактора.

Задачи исследований – выявить изменение структуры почвы по слоям горизонта в зависимости от режима буксования колесного движителя; выявить изменение твердости почвы по слоям горизонта в зависимости от режима буксования колесного движителя; экспериментально определить допустимые значения буксования с учетом состояния почвы (агрофона и выполняемых операций при постоянной влажности) по слоям горизонта; дать рекомендации по практическому использованию машинно-тракторного агрегата с энергетическим средством тягового класса 0,6 кН.

Материалы и методы исследований. В рамках решения первой задачи было оценено изменение структуры почвы по слоям горизонта в следе трактора с учетом режима буксования ($\delta=11-27\%$). В качестве объекта исследований выступал машинно-тракторный агрегат Т-25А + КПС-4,0, работавший в различных режимах загрузки, обеспечивавшихся изменением количества

рабочих секций культиватора. В соответствии с нагрузочным режимом ступенчато изменялись и режимы буксования ведущих колес трактора. Согласно методике проводилась оценка изменения структуры почвы по слоям горизонта (0...50 мм; 50...100 мм; 100...150 мм; 150...200 мм и 200...250 мм) для двух агрономических фонов – поля паханного и поля, подготовленного под посев. В первом случае исследовалась структура почвы в следе трактора, работавшего с буксованием $\delta=11,1\%$, $\delta=15,5\%$ и $\delta=25\%$; во втором – $\delta=11\%$, $\delta=17\%$ и $\delta=27\%$. Контрольное измерение осуществлялось вне следа трактора. Разница в буксовании ведущих колес обуславливалась агрофоном при одинаковом количестве рабочих секций культиватора. Изменение структуры почвы по слоям горизонта оценивалось путем определения количества фракций размером менее 0,25 мм (критерий ΔC) после прохода машинно-тракторного агрегата сухим просеиванием образцов, взятых по следу ведущих колес, согласно стандартной методике (ГОСТ 20915-2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытания).

Для решения второй задачи определялось изменение твердости почвы (критерий ΔH , кг/см²) по слоям горизонта в следе трактора при аналогичных объекте исследования, методике изменения режима буксования, величинах буксования, слоях горизонта и агрофонах. Твердость измерялась с использованием стандартного оборудования по стандартной методике (ГОСТ 26954-86. Техника сельскохозяйственная мобильная. Метод определения максимального нормального напряжения в почве).

Исследования проводились в условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья на территории ФГБНУ Поволжского научно-исследовательского института селекции и семеноводства им. П. Н. Константинова с использованием стандартизированного сертифицированного оборудования.

В ходе решения третьей задачи по полученным графическим зависимостям структуры и твердости почвы по слоям горизонта от коэффициента буксования δ определялись допустимые значения буксования для паханого поля и поля, подготовленного под посев. Для решения четвертой задачи разработаны рекомендации по рациональным режимам буксования ведущих колес энергетического средства тягового класса 0,6 кН в составе машинно-тракторного агрегата, в пределах которых движители энергетического средства не будут оказывать значительного воздействия на структуру и твердость почвы.

Результаты исследований. Результаты оценки влияния режима буксования движителей энергетического средства на изменение структуры почвы по слоям горизонта представлены функциями изменения приращения количества фракций размером менее 0,25 мм (критерий ΔC) от глубины горизонта $\Delta C=f(h)$ в диапазоне $h=0...250$ мм на фиксированных значениях коэффициента буксования δ (рис. 1).

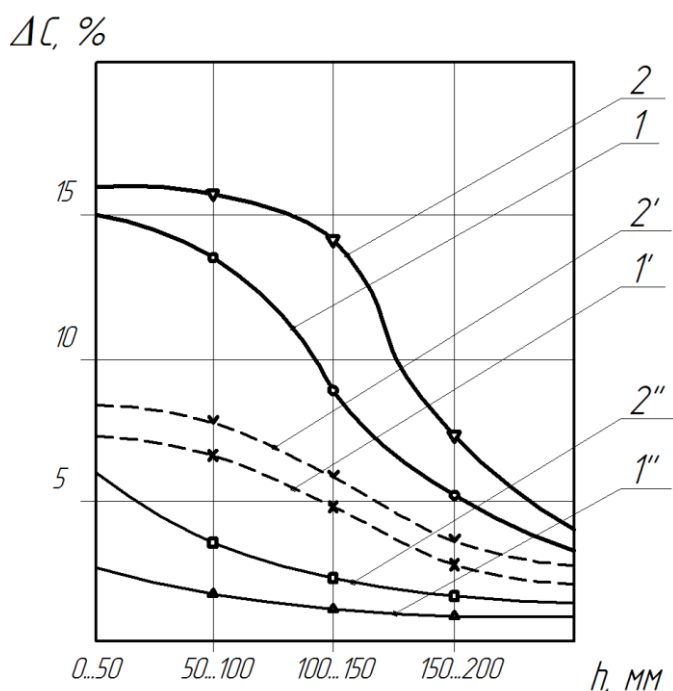


Рис. 1. Изменение структуры почвы по слоям горизонта в зависимости от режимов буксования:

1 – поле паханое, $\delta=25\%$; 1' – поле паханое, $\delta=15,5\%$; 1'' – поле паханое, $\delta=11,1\%$;
2 – поле под посев, $\delta=27\%$; 2' – поле под посев, $\delta=17\%$; 2'' – поле под посев, $\delta=11,0\%$

Воздействие буксования на почву по глубине пахотного слоя является существенным фактором при определении максимальной допустимой величины буксования ведущих колес энергетического средства. Анализ графических зависимостей, приведенных на рисунке 1, показывает,

что воздействие буксования на структуру почвы распространяется на максимальную глубину 200...250 мм, которую можно назвать критической. На большей глубине слоя воздействие на структуру почвы величины буксования незначительно. При этом вне зависимости от агрофона минимальное воздействие на структуру почвы оказывает буксование в диапазоне 9...12%: для паханого поля это режим работы МТА с коэффициентом буксования $\delta=11,1\%$; для поля, подготовленного под посев – $\delta=11,0\%$. При этих режимах глубина распространения разрушающего воздействия незначительна и составляет 50...100 мм. Значение параметра ΔC при этом находится в пределах 3...6%.

Изменение структуры почвы от действия буксующего колеса на слое 0...50 мм наглядно представлено на рисунке 2. На рисунке хорошо видно, что почва, подвергшаяся воздействию ведущего колеса при буксовании $\delta=10,5\%$, более структурирована и содержит гораздо меньше пылеватых частиц (размером менее 0,25 мм), чем почва, подвергшаяся воздействию ведущего колеса при буксовании $\delta=16\%$ и $\delta=24\%$.

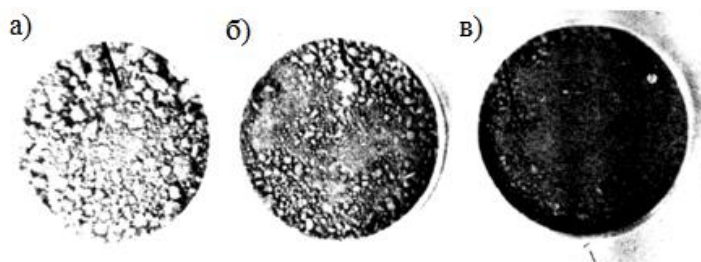


Рис. 2. Изменение структуры почвы от действия колеса:

а) $\delta=10,5\%$; б) $\delta=16\%$; в) $\delta=24\%$

Таким образом, можно сделать вывод, что наиболее благоприятными режимами, минимизирующими структурные изменения почвы по слоям горизонта, являются режимы работы МТА с буксованием ведущих колес в диапазоне 9...12%.

Результаты оценки влияния режима буксования движителей энергетического средства на изменение твердости почвы по слоям горизонта представлены функциями изменения приращения твердости ΔH , кг/см² от глубины горизонта $\Delta H=f(h)$ в диапазоне $h=0...200$ мм на фиксированных значениях коэффициента буксования δ (рис. 3).

$\Delta H, \text{кг/см}^2$

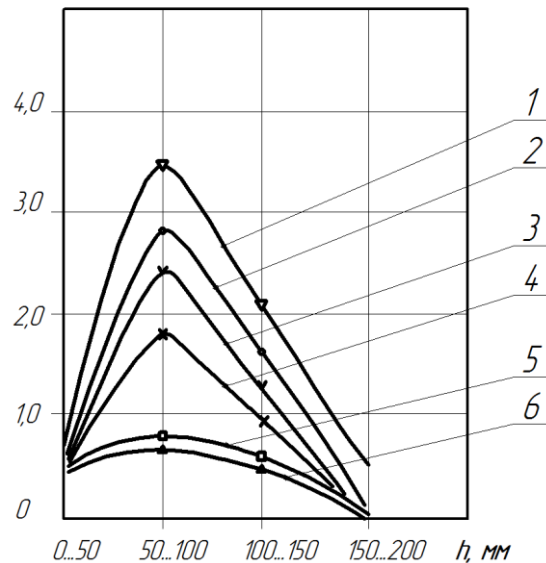


Рис. 3. Изменение твердости почвы по слоям горизонта в зависимости от режимов буксования:

1 – поле паханое, $\delta=25\%$; 2 – поле под посев, $\delta=27\%$; 3 – поле паханое, $\delta=15,5\%$;
4 – поле под посев, $\delta=17\%$; 5 – поле паханое, $\delta=11,1\%$; 6 – поле под посев, $\delta=11,0\%$

Анализ графических зависимостей, приведенных на рисунке 3, показывает, что воздействие буксования на твердость почвы распространяется на максимальную глубину 150...200 мм, при этом максимальное значение твердости во всех опытах достигается на глубине 50...100 мм. На глубину выше 250 мм изменение твердости не распространяется. При этом вне зависимости от агрофона минимальное воздействие на твердость почвы оказывается энергетическим средством при буксовании в диапазоне 10...12%: для паханого поля это режим работы МТА с коэффициентом буксования $\delta=11,1\%$; для поля, подготовленного под посев – $\delta=11,0\%$. Наименьшее приращение твердости почвы в слое 50...100 мм $\Delta H=0,8...0,9 \text{ кг/см}^2$ получено при буксовании $\delta=11\%$.

Увеличение буксования до диапазона 15...20% (режим работы для паханого поля с коэффициентом буксования $\delta=15,5\%$, для поля, подготовленного под посев, – $\delta=17\%$) вызывает прирост твердости $\Delta H=1,8...2,3 \text{ кг/см}^2$, а при работе тракторного движителя с буксованием в диапазоне 20...30% ($\delta=25\%$ для паханого поля и $\delta=27\%$ для поля, подготовленного под посев) приращение твердости почвы составляет $\Delta H=2,75...3,3 \text{ кг/см}^2$.

Таким образом, можно сделать вывод, что наиболее благоприятными режимами, минимизирующими изменение твердости почвы по слоям горизонта, являются режимы работы МТА с буксованием ведущих колес в диапазоне 9...12%. В целом анализ графических зависимостей, представленных на рисунках 1 и 3, позволяет заключить, что рациональными с точки зрения снижения эрозионного воздействия на почву и ее уплотнения движителями энергетических средств тягового класса 0,6 кН в составе машинно-тракторного агрегата являются режимы работы с величиной буксования ведущих колес в диапазоне 9...12% вне зависимости от агрофона. Полученные результаты полностью согласуются с результатами исследований, приведенных в работе [4].

Заключение. Выполненные в условиях Поволжского научно-исследовательского института селекции и семеноводства лабораторно-полевые исследования подтвердили воздействие ведущих колес энергетического средства МТА на структуру и твердость почвы в следе трактора по глубине в зависимости от режима буксования движителей на исследованных агрофонах (поле паханое и поле, подготовленное под посев). Анализ полученных зависимостей структуры и твердости почвы по слоям горизонта от буксования показал, что рациональными являются режимы работы МТА, при которых буксование движителей энергетического средства находится в диапазоне 9...12% вне зависимости от агрофона. Буксование свыше 12% приводит к резкому увеличению в структуре почвы количества эрозионно-опасных частиц размером менее 0,25 мм, а также повышению твердости почвы в следе

трактора в 3,4...3,7 раза в слое глубиной 50...100 мм. Кроме того, полученные в ходе экспериментов данные позволяют сделать вывод, что рекомендуемые ГОСТ 26955-86 режимы работы со значением буксования 14...16% не являются рациональными для данного типа машинно-тракторных агрегатов, поскольку приводят в процессе выполнения технологических операций к повышенному уплотнению и истиранию почвы вне зависимости от агрофона.

Библиографический список

1. Надыкто, В. Т. Определение максимального буксования колесных движителей с учетом ограничения их воздействия на почву / В. Т. Надыкто // Тракторы и сельхозмашины. – 2015. – №8. – С.19-23.
2. Черников, О. Н. Обоснование допустимой величины буксования движителей, обеспечивающее уменьшение их вредного воздействия на почву : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Черников Олег Николаевич. – Саранск, 2001. – С. 18.
3. Савельев, Ю. А. Обоснование конструктивно-технологических параметров плоскорезущих лап / Ю. А. Савельев, Ю. М. Добрин // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2011. – №3. – С. 54-57.
4. Черников, О. Н. Влияние режимов буксования колесного движителя энергетического средства МТА на физические свойства почвы / О. Н. Черников, А. П. Быченин // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – №4. – С. 44-49.
5. Золотаревская, Д. И. Исследование и расчет уплотнения почвы при работе и после остановки колесного трактора / Д. И. Золотаревская // Тракторы и сельхозмашины. – 2016. – №8. – С. 33-38.
6. Золотаревская, Д. И. Изменение реологических свойств и плотности дерново-подзолистой супесчаной почвы при воздействии колесного трактора / Д. И. Золотаревская // Почвоведение. – 2013. – №7. – С. 829-839.
7. Лопарев, А. А. Исследование процесса буксования ведущих колес трактора МТЗ-100 в режиме трогания с места и разгона / А. А. Лопарев, А. М. Венглинский, А. С. Комкин // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – №1. – С. 18-20.

References

1. Nadykto, V. T. (2015). Opredeleniye maksimalinogo buksovaniya kolesnykh dvizhitelei s uchetom ogranicheniya ikh vozdeistviya na pochvu [Definition of the maximum slipping of wheel propellers taking into account restriction of their impact on the soil]. *Traktory i selikhozmashiny. – Tractors and agricultural machinery*, 8, 19-23 [in Russian].
2. Chernikov, O. N. (2001). Obosnovaniye dopustimoi velichiny buksovaniya dvizhitelei, obespechivayushcheye umenisheniye ikh vrednogo vozdeistviya na pochvu [The justification of admissible size of slipping of propellers providing reduction of their harmful effects on the soil]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Saransk [in Russian].
3. Savelyev, Yu. A., & Dobrin, Yu. M. (2011). Obosnovaniye konstruktivno-tekhnologicheskikh parametrov ploskorezhushchih lap [Justification of constructive and technological parameters of flat blades]. *Izvestiya Samarskoi gosudarstvennoi selskokhozyaistvennoi akademii – Bulletin Samara state agricultural academy*, 3, 54-57 [in Russian].
4. Chernikov, O. N., & Bychenin, A. P. (2018). Vliyaniye rezhimov buksovaniya kolesnogo dvizhitelya energeticheskogo sredstva MTA na fizicheskiye svoistva pochvy [Influence of slipping modes of the wheeled running gear of MTU power means onto physical proper-ties of the soil]. *Izvestiya Samarskoi gosudarstvennoi selskokhozyaistvennoi akademii – Bulletin Samara state agricultural academy*, 4, 44-49 [in Russian].
5. Zolotarevskaya, D. I. (2016). Issledovaniye i raschet uplotneniya pochvy pri rabote i posle ostanovki kolesnogo traktora [Study and calculation of soil compaction during operation and after stopping of a wheel tractor]. *Traktory i selikhozmashiny – Tractors and agricultural machinery*, 8, 33-38 [in Russian].
6. Zolotarevskaya, D. I. (2013). Izmeneniye reologicheskikh svoistv i plotnosti dernovo-podzolistoi supeschanoi pochvy pri vozdeistviyi kolesnogo traktora [Change of rheological properties and density of the cespitose and podsolich sandy soil under influence of the wheel tractor]. *Pochvovedeniye – Edaphology*, 7, 829-839 [in Russian].
7. Loparev, A. A., Venhliinskiy, A. M., & Komkin, A. S. (2014). Issledovaniye processa buksovaniya vedushchikh koles traktora MTZ-100 v rezhime troganiya s mesta i razgona [Researching of process of slipping of driving wheels of the MTZ-100 tractor in the start-off mode from the place and dispersal]. *Traktory i selikhozmashiny – Tractors and agricultural machinery*, 1, 18-20 [in Russian].