

Каздохов Х.К., Шекихачева Л.З., Шекихачев А.А.

Исследование процесса взаимодействия рабочих органов почвообрабатывающей техники с почвой

Электронный научно-производственный журнал

«АгроЭкоИнфо»

УДК 631.319

Исследование процесса взаимодействия рабочих органов почвообрабатывающей техники с почвой

Каздохов Х.К., Шекихачева Л.З., Шекихачев А.А.

Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова

Аннотация

В статье приведены результаты математического моделирования процесса взаимодействия рабочих органов почвообрабатывающей техники. Показано, что с целью снижения интенсивности изнашивания рекомендуется уменьшать нормальную нагрузку на контакте, снижать вязкость граничного слоя, увеличивать модуль его упругости.

Ключевые слова: АГРЕГАТ, РАБОЧИЙ ОРГАН, ПОЧВА, ВЛАЖНОСТЬ, ТРЕНИЕ, НАГРУЗКА, ИЗНОС

Введение

Технологические процессы, которые осуществляются машинно-тракторными агрегатами, характеризуется особенностями, определяемыми природно-климатическими условиями (механическим составом, влажностью, плотностью почв; количественными и качественными характеристиками атмосферных осадков и др.) [1, 2].

При вспашке происходит «залипание» почвой рабочих поверхностей почвообрабатывающей техники, в результате чего существенно затрудняется выполнение технологических процессов. Это объясняется тем, что тяговое усилие трактора затрачивается как на преодоление сил сопротивления почвы, так и сил адгезии и трения, возникающих между почвенным слоем и рабочими поверхностями плуга. Вследствие взаимодействия частиц прилипшего к рабочим поверхностям слоя почвы образуется сплошная масса. В результате стирается различие между истинной площадью и площадью номинального контакта слоя прилипшей почвы с указанными поверхностями.

Величину нагрузки можно определить в результате экспериментальных

Каздохов Х.К., Шехихачева Л.З., Шехихачев А.А.

Исследование процесса взаимодействия рабочих органов почвообрабатывающей техники с почвой

Электронный научно-производственный журнал

«АгроЭкоИнфо»

исследований с использованием трибометра, который позволяет выявить зависимость между силой сдвига (равной и направленной противоположно силе трения) и нормальной нагрузкой. При отсутствии нормальной нагрузки сдвигающее усилие затрачивается на преодоление сил адгезии.

Коэффициент трения определяется размерами почвенных частиц, влажностью почвы, свойствами поверхности рабочих органов, наличием водного слоя между почвой и ними. Абсолютное значение коэффициента трения зависит от скорости скольжения. Оно заметно начинает меняться при скорости скольжения до 2 м/с. Величина коэффициента трения зависит от способности рабочей поверхности смачиваться водой. Учитывая, что гидрофобные поверхности практически не удерживают частицы почвы, ее гидрофобизация облегчает работу почвообрабатывающей техники. Наибольшее влияние на прилипание почвы к рабочим поверхностям оказывает влажность почвы. По мере повышения влажности почвы силы адгезии увеличиваются из-за дополнительной липкости грунта. При обработке тяжелосуглинистых почв происходит интенсивное затупление режущей части рабочих органов, песчаной и супесчаной почв – ускоренное изнашивание.

Результаты исследований показывают, что до влажности почвы 7...8% эффект самозатачивания отсутствует и износ лезвий незначителен. При повышении влажности более 10...12% наблюдается повышение интенсивности изнашивания. К примеру, в некоторых случаях полностью протирается носовая часть лемехов и прилегающих частей отвала плуга. При этом лезвие остается достаточно острым.

Почвенная влага с растворенными в ней солями является причиной коррозионного изнашивания рабочих органов почвообрабатывающей техники. Кроме того, на вспашке причиной изнашивания поверхности лемехов и отвалов с последующим протиранием насквозь верхней части носков является наличие значительного давления [3].

По мнению некоторых ученых, причина состоит в отсутствии деформирования подрезаемого слоя на большей части пути скольжения. Иногда причина притирания лемеха видится в наличии высокого коэффициента трения материала спинки лемеха о почву [4].

Таким образом, исследование процесса взаимодействия рабочих органов почвообрабатывающей техники с почвой с целью выработки рекомендаций по снижению интенсивности их изнашивания является актуальной проблемой.

Цель работы – моделирование процесса взаимодействия рабочих органов почвообрабатывающей техники с почвой.

Объекты и методы

Исследования проведены с использованием методов системного анализа, математического моделирования и структурного анализа технологических процессов в соответствии с законами классической механики.

Результаты исследования

При работе почвообрабатывающей техники на преодоление сил трения, возникающих на поверхностях их рабочих органов, затрачивается 30...40% общего тягового усилия трактора [5-10]. Исходя из этого, построение расчётной модели взаимодействия рабочих органов с почвой осуществлено с учетом того, что в данном случае имеют место два вида трения, которые непосредственно связаны с двумя видами деформирования почвы (рис. 1).

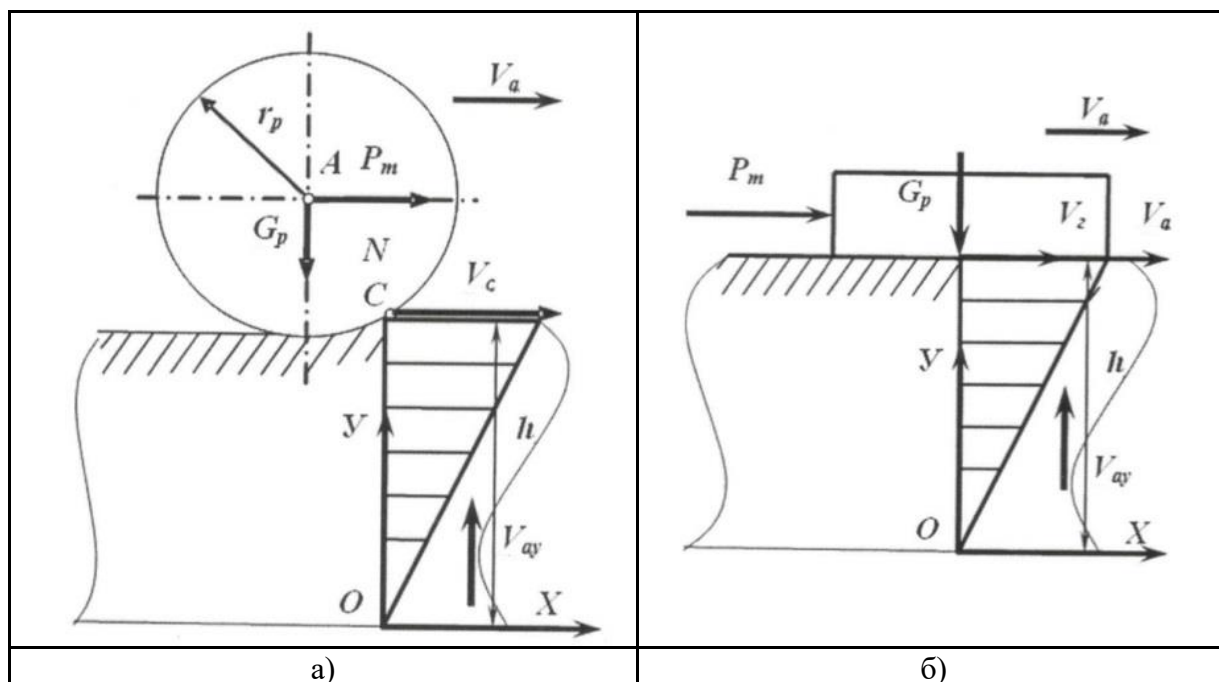


Рис. 1. Расчетная схема для моделирования процесса взаимодействия рабочих органов почвообрабатывающей техники с почвой при их качении (а) и скольжении (б) по поверхности почвы

В процессе работы почвообрабатывающей техники трение качения (рис. 1, а) сопровождается уплотнением (сжатием) почвы, следствием чего является перемещение его частиц нормально к поверхности рабочего органа со скоростью, горизонтальная составляющая которой равна скорости поступательного движения агрегата v_a .

Трение скольжения (рис. 1, б) сопровождается сдвигом частиц почвы со скоростью v_s , меньшей скорости v_a .

Напряжения сжатия и сдвига почвы определяются величиной необходимой толкающей силы P_m , отнесённой к площади S поверхности рабочего органа.

Перемещение частиц почвы распространяется на некоторую глубину h (граничный или контактный слой). Изменение скорости частиц почвы по высоте слоя показано на рис. 1 заштрихованными фигурами и приближенно принято линейным.

Задача моделирования состоит в описании процесса трения, используя фундаментальные законы: закона Гука, который характеризует упругое поведение твёрдых тел в пределах малых величин деформаций и закона Ньютона, который описывает вязкое течение реальных жидкостей. Так как в любых реальных телах и упругость, и вязкость проявляются совместно, то в модель деформирования почвы (рис. 2), наряду с фрикционным элементом, характеризующим идеальное внешнее трение (сила F), которое обусловлено вертикальной нагрузкой G_p , вводим упругий (пружинный) и вязкий (демпфирующий) элементы. В этом случае сила трения равна алгебраической сумме всех составляющих.

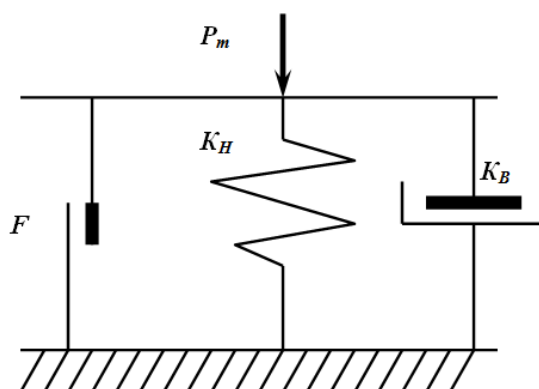


Рис. 2. Модель деформирования почвы

Приведенную модель можно назвать вязко-упругопластической, так как элемент трения характеризует особый вид деформирования тел – пластическое течение, когда сила сопротивления постоянна.

В данном случае термин «упругость» понимается не буквально, так как почва после деформации полностью не восстанавливается, и деформация не является упругой в строгом смысле этого слова.

Как известно, закон Гука для твёрдых тел определяет пропорциональность квазиупругих сил относительному изменению объёма тел. Коэффициент пропорциональности K_H при этом используется для характеристики напряжённости деформируемой почвы. А закон Ньютона для реальных жидкостей определяет пропорциональность вязких сил градиенту скорости частиц почвы в граничном слое. В этом случае коэффициент пропорциональности K_B – это коэффициент вязкости ньютоновской жидкости.

В процессе моделирования учитываем, что абсолютная величина объёмной деформации почвы ΔV за малый промежуток времени Δt пропорциональна скорости V_a :

$$\Delta V = S V_a \Delta t. \quad (1)$$

Полный объём V почвы, вовлекаемой в процесс деформирования за то же время, пропорционален скорости распространения деформаций в среде V_c :

$$V = S V_c \Delta t. \quad (2)$$

Для рабочего органа объём почвы V , сдвигаемый за малый промежуток времени, пропорционален скорости V_a , а величина ΔV – скорости V_s . Исходя из этого, относительная деформация сдвига определится по соотношению:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{V_s}{V_a} = \varepsilon_s \leq 1. \quad (3)$$

Для рабочего органа объём почвы V , сдвигаемый за малый промежуток времени, пропорционален скорости V_a , а величина ΔV – скорости V_s . Исходя из этого, относительная деформация сдвига определится по соотношению:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{V_s}{V_a} = \varepsilon_s \leq 1. \quad (4)$$

Каздохов Х.К., Шехихачева Л.З., Шехихачев А.А.

Исследование процесса взаимодействия рабочих органов почвообрабатывающей техники с почвой

Электронный научно-производственный журнал

«АгроЭкоИнфо»

Учитывая изложенное, вязко-упругопластическая модель согласно рис. 2 позволяет составить уравнения деформирования почвы при сжатии и сдвиге соответственно (при линейном распределении скоростей частиц почвы в граничном слое):

$$P_m = F + K_H \frac{V_a}{V_c} - K_B \frac{dV_a}{dy} \cong F + (K_H - K_o V_a) \varepsilon_c, \quad (5)$$

$$P_m = F + K_H \frac{V_z}{V_a} - K_B \frac{dV_z}{dy} \cong F + (K_H - K_o V_z) \varepsilon_c, \quad (6)$$

где K_o – коэффициент объёмной вязкости, рассчитываемый по выражению:

$$K_o = \frac{K_B}{h}. \quad (7)$$

В выражениях (5) и (6) знак минус предназначен для учета разгружающего свойства текущего граничного слоя, обусловленного одинаковым направлением действия внешней силы и вязкой составляющей силы сопротивления поступательному движению.

При скольжении частиц почвы по поверхности рабочего органа с постоянной скоростью (рис. 1, б) сила сопротивления движению постоянна. Следовательно, процесс сдвига почвы происходит при постоянной рассеиваемой мощности $\frac{dN}{dt} = const.$

Величина v_z в потоке граничного слоя (рис. 1, б) не может превышать v_a . При малых значениях v_a величина v_z того же порядка, при больших может существенно от неё отличаться из-за инерционных сил в граничном слое.

Таким образом, при изменении скорости скольжения в диапазоне $v_a = 0 \dots \infty$ отношение $v_z/v_a = 0 \dots 1$. Допускаем, что приведенное отношение – непрерывная и монотонная функция параметра v_a . Тогда имеем:

$$v_z/v_a = e^{-iv_a}, \quad (8)$$

где i – характеристика степени инерционного запаздывания граничного слоя от скользящего рабочего органа.

При $i=0$ запаздывания нет и $v_z = v_a$. В этом случае происходит прилипание граничного слоя почвы к поверхности рабочего органа. При $i \neq 0$ (сухое трение) имеет место запаздывание. Величина запаздывания тем больше, чем выше скорость скольжения.

Каздохов Х.К., Шекихачева Л.З., Шекихачев А.А.

Исследование процесса взаимодействия рабочих органов почвообрабатывающей техники с почвой

Электронный научно-производственный журнал

«АгроЭкоИнфо»

Выводы

1. С целью снижения интенсивности изнашивания рекомендуется:
 - уменьшить нормальную нагрузку на контакте путем увеличения площади контакта;
 - снизить вязкость граничного слоя путем подвода «смазки» к трущимся поверхностям;
 - увеличить модуль упругости путём увеличения твёрдости контактируемых поверхностей.
2. При конструировании узлов трения почвообрабатывающей техники необходимо стремиться к тому, чтобы на всех режимах работы контактный слой не становился вязкоупругим.

Список использованных источников:

1. Apazhev A., Shekikhachev Y., Hazhmetov L., Smelik V. Combined unit for preparation of soil for sowing grain crops // В сборнике: Engineering for Rural Development. 2019. С. 192-198. DOI: 10.22616/ERDev2019.18. N235.
2. Apazhev A.K., Fiaphev A.G., Shekikhachev Y.A., Hazhmetov L.M., Shekikhacheva L.Z. Modeling the operation process of the unit for processing row-spacings of fruit plantings // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2019. С. 52023. DOI: 10.1088/1755-1315/315/5/052023.
3. Горячкин В.П. Собрание сочинений: в 6 т. М.: Колос, 1965. Т.І. 720 с.; Т.ІІ. 459 с.; Т.ІІІ. 384 с.; Т.ІV. 512 с.; Т.V. 569 с.; Т.VI. 500 с.
4. Рабинович А.Ш. Самозатачивающиеся плужные лемехи и другие почворежущие детали машин. М.: ГОСНИТИ, 1962. 107 с.
5. Апажев А.К., Шекихачев Ю.А. Оптимизация функционирования сельскохозяйственных производственных систем // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. 2022. № 1(35). С. 81–89. DOI: 10.55196/2411–3492-2022-1-35-90-97.
6. Шекихачев Ю.А., Хажметов Л.М., Егожев А.М., Фиапшев А.Г., Барагунов А.Б. Повышение эксплуатационной надежности сельскохозяйственных машин // Техника и оборудование для села. 2023. № 4 (310). С. 12–16. DOI: 10.33267/2072-9642-2023-4-12-16.
7. Апажев А.К., Аппаев З.Ш. Пути снижения тягового сопротивления лемешного плуга // Аграрный вестник Урала. 2012.– № 3. С. 24–25.

Каздохов Х.К., Шекихачева Л.З., Шекихачев А.А.

Исследование процесса взаимодействия рабочих органов почвообрабатывающей техники с почвой

Электронный научно-производственный журнал

«АгроЭкоИнфо»

8. Апажев А.К., Шекихачев Ю.А., Хажметов Л.М. Рациональные параметры и режимы работы комбинированного почвообрабатывающего агрегата / Известия Горского государственного аграрного университета. – Владикавказ: Изд-во ФГБОУ ВО «Горский госагроуниверситет», 2016. Т 53. Ч. 2. С. 138–143.

9. Апажев А.К., Шекихачев Ю.А., Хажметов Л.М. Результаты производственных испытаний комбинированного почвообрабатывающего агрегата // Сельский механизатор. 2016. № 8. С. 10–11.

10. Apazhev A.K., Shekikhachev Y.A., Egozhev A.M., Shekikhacheva L.Z., Egozhev A.A. Improving the durability of machine parts connections // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2020. С. 32005. DOI: 10.1088/1757-899X/862/3/032005.

Цитирование:

Каздохов Х.К., Шекихачева Л.З., Шекихачев А.А. Исследование процесса взаимодействия рабочих органов почвообрабатывающей техники с почвой [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2023. – № 4. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/4/st_416.pdf. DOI: <https://doi.org/10.51419/202134416>.