

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ КОЛЕСНЫХ ДВИЖИТЕЛЕЙ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ ПРИ РАБОТЕ НА ОРОШАЕМЫХ ПОЛЯХ

Русинов Алексей Владимирович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность и транспортно-технологические машины», ФГБОУ ВПО Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова.

410010, г. Саратов, ул. Техническая, 5.

E-mail: Rusinovsar@yandex.ru

Ключевые слова: движитель, плотность, почва, объем, уплотнение.

Цель исследований – снижение воздействия движителей машинно-тракторного агрегата на орошаемую почву. В результате исследований процесса взаимодействия пневматического движителя с орошаемой почвой представлена аналитическая зависимость определения контактного давления, возникаемого в почве во время прохода пневматического колеса машинно-тракторного агрегата. На основе экспериментальных данных рассчитаны коэффициенты, характеризующие физико-механические свойства почв, для орошаемых почв $a = 0,054$ и $b = 3,453 \cdot 10^{-3}$; для неорошаемых почв $a = 0,021$ и $b = 0,982 \cdot 10^{-3}$. Представлена аналитическая зависимость определения объема уплотняемой почвы, заключенной между почвозацепами, учитывающая физико-механические свойства разных почв, геометрические параметры и режим движения пневматического колеса. Разработана математическая модель изменения комплексного показателя почвы, характеризующая определение степени воздействия пневматического колеса на почву. Комплексный показатель почвы оценивается качественными характеристиками почвы, изменяющимися в процессе воздействия пневматического колеса на почву. Оценка негативного воздействия колеса на почву осуществляется на основании изменения качественных характеристик почвы и их количественного показателя. Представлены результаты экспериментальных исследований трактора К-701 с шинами Ф-81(86), движущегося с максимальной крюковой нагрузкой по неорошаемым почвам – тяжелым суглинкам с влажностью 18-19% и орошаемым почвам – тяжелым суглинкам с влажностью 24-25%. Результаты исследований показали, что увеличение скорости с 2 до 10 км/ч приводит к двукратному увлечению коэффициента буксования для обоих типов почв, однако, коэффициент буксования на орошаемых почвах в среднем на 13,3% выше по сравнению с неорошаемыми почвами.

Процесс обработки почвы при возделывании сельскохозяйственных культур предусматривает многократные проходы почвообрабатывающих машин по полю. В результате кратности захвата сельскохозяйственных машин и орудий множество проходов осуществляется по следам предшествующих машин. Результатом этого является чрезмерное уплотнение почвы, особенно верхних горизонтов, что негативно сказывается на ее состоянии, приводит к снижению плодородия почвы и, как следствие, к уменьшению урожайности сельскохозяйственных культур [1, 2, 3, 4]. Особенно интенсивно процесс уплотнения протекает на орошаемых полях. Это обуславливается тем, что орошаемые почвы имеют высокую влажность, большее количество пылевидных частиц на поверхности, низкую несущую способность, большую плотность и твердость по сравнению с неорошаемыми почвами. В связи с этим происходит интенсивное воздействие движителей машинно-тракторных агрегатов (МТА) на орошаемую почву, вызывая негативные последствия. Изучение данной проблемы с учетом региональных особенностей Саратовской области остается актуальной задачей.

Цель исследований – снижение воздействия движителей машинно-тракторного агрегата на орошаемую почву.

Задачи исследований: изучить процесс взаимодействия пневматического колеса с орошаемой почвой с определением закономерностей изменения физико-механических свойств почвы; определить аналитические зависимости описания степени воздействия пневматического колеса на орошаемую почву.

Материалы и методы исследований. Теоретические исследования проводились в ФГБОУ ВПО Саратовский ГАУ, экспериментальные исследования выполнялись на полях ОПХ ВолжНИИГиМ Энгельского района Саратовской области. В ходе экспериментальных исследований использовался трактор К-701 с шинами Ф-81(86). Тип почвы – тяжелый суглинок. Полученный материал обрабатывался методом статистики с применением программного продукта Microsoft Excel.

Результаты исследований. Основным видом негативного воздействия пневматического колеса на почву является контактное давление под опорной поверхностью колеса в процессе его передвижения, приводящее к деформации почвы, и, как следствие, к ее уплотнению. На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований взаимосвязь между удельным давлением, создаваемым пневматическим колесом и изменением плотности почвы, можно описать выражением

$$q = a \left[e^{b(\rho - \rho_0)} - 1 \right], \quad (1)$$

где a и b – коэффициенты, зависящие от физико-механических свойств орошаемой почвы; ρ и ρ_0 – соответственно плотность почвы после прохода пневматического колеса и начальная плотность почвы, г/см³.

Определение значений коэффициентов, характеризующих физико-механические свойства орошаемой почвы, входящих в зависимость (1), выполнялось на основании обработки экспериментальных данных. Исследования проводились на суглинках. В результате были определены значения коэффициентов: для орошаемых почв $a=0,054$ и $b=3,453 \cdot 10^{-3}$; для неорошаемых почв $a=0,021$ и $b=0,982 \cdot 10^{-3}$.

В ходе экспериментальных исследований было установлено, что во время прохода пневматического колеса верхние слои орошаемой почвы подвержены негативному воздействию и, как следствие, накоплению величин деформации и плотности почвы от каждого последующего прохода колес, входящих в состав МТА. Так, в процессе передвижения колесного движителя, в результате поворота колеса, вначале происходит уплотнение почвы за счет внедрения почвозацепов в почву, а затем выпор почвы под углом внутреннего трения [2], что приводит к образованию комьев из сильно уплотненной почвы, заключенной в межпочвозацепном пространстве. Образовавшиеся комья почвы имеют большой объем и в последующем мешают проведению последующих операций, тем самым, снижая их эффективность. Уменьшение влажности почвы в комьях повышает их несущую способность, повышая трудность их разработки, которая приводит к увеличению тягового сопротивления почвообрабатывающего агрегата, а иногда и к поломкам его рабочих органов [5, 6].

Искомый объем уплотняемой почвы определим по следующей формуле

$$V = bhl, \quad (2)$$

где b – ширина почвозацепа в пятне контакта, м; h – глубина погружения почвозацепа в почву, м; l – длина пути, пройденного почвозацепом при уплотнении почвы, м.

В процессе поворота колеса почвозацеп, движение которого описывается трохойдой, внедряется в почву, поэтому толщина уплотненного слоя будет изменяться от минимального значения в начале внедрения почвозацепа в почву до максимального значения при полном его погружении. При этом на объем уплотненной почвы будут влиять параметры и режим работы колесного движителя, а так же число и форма почвозацепов.

Значение глубины погружения почвозацепов и промежутков между ними определим по формулам [7]:

– для почвозацепа

$$h_n = h_m + l_1(1 - K_n), \quad (3)$$

– для опорных поверхностей промежутков между ними

$$h_n = h_m - l_1 K_n, \quad (4)$$

где h_m – наибольшая глубина погружения опорной поверхности колеса в почву, м; l_1 – длина почвозацепа, м; K_n – коэффициент насыщения почвозацепов.

Глубина погружения опорной поверхности колесного движителя на орошаемой почве с учетом изменения деформации почвы от удельного давления [2], возникаемого в почве во время прохода пневматического колеса, в аналитическом виде примет вид

$$h_m = \frac{\sigma_0}{k} \arctg \frac{a[e^{b(\rho - \rho_0)} - 1]}{\sigma_0}, \quad (5)$$

где σ_0 – предел прочности грунта на одноосное сжатие, при котором деформация грунта начинает возрастать без дальнейшего увеличения действующей на опорную площадку вертикальной нагрузки, Па; k – коэффициент объемного сжатия грунта, Н/м³; h – величина деформации, м.

Коэффициент насыщения почвозацепов K_n определяется как отношение опорной площади контакта почвозацепа S_n к площади всего контакта $S_{общ}$.

$$K_n = \frac{S_n}{S_{общ}}. \quad (6)$$

Опорная площадь контакта почвозацепа определится как

$$S_n = bl_1 m k_1, \quad (7)$$

где m – количество почвозацепов находящихся в контакте с почвой; k_1 – коэффициент использования площади почвозацепа в процессе контакта с почвой.

Общая площадь всего пятна контакта колесного движителя с почвой определится по следующей зависимости:

$$S_{общ} = S_n + b_k R_k \mu / 180^\circ, \quad (8)$$

где b_k – ширина колесного движителя в пятне контакта, м; R_k – радиус колесного движителя, м; μ – угол между соседними почвозацепами, град.

Длина проходимая почвозацепом за один оборот колесного движителя определяется как

$$l = 2R_k \frac{1 + \lambda'}{\lambda'} \left(2 \int_0^{90^\circ} \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi} d\varphi - \int_0^{90^\circ + \frac{\alpha}{2}} \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi} d\varphi \right), \quad (9)$$

где $k = \frac{2\sqrt{\lambda'}}{1 + \lambda'}$ – введенная переменная; $\lambda' = \frac{v_x k}{v_y}$ – скоростной параметр; k – коэффициент буксования;

v_x и v_y – соответственно поступательная скорость перемещения колесного движителя и скорость внедрения почвозацепа в почву, м/с; α – угол поворота колесного движителя из начального положения в фиксированное, град;

Проводя расчет аналитических зависимостей (3-9) и подставив полученные значения в зависимость (2) можно определить объем уплотняемой почвы, заключенной между почвозацепами. Проводя анализ представленных зависимостей, необходимо отметить, что на объем уплотняемой почвы большее влияние оказывает характер движения и форма колеса, которые можно оценить коэффициентом буксования и удельным давлением. Если вес, приходящийся на ось пневматического колеса, – величина постоянная, и зависит от массы базовой машины, то величина коэффициента буксования колеса изменяется в зависимости от скорости движения и влажности почвы. Для подтверждения данных суждений были проведенные экспериментальные исследования, в ходе которых трактор К-701 с шинами Ф-81(86) и максимальной крюковой нагрузкой двигался по неорошаемым почвам – тяжелым суглинкам с влажностью 18-19% и орошаемым почвам – тяжелым суглинкам с влажностью 24-25%. Результаты исследований показали (рис. 1), что увеличение скорости с 2 до 10 км/ч приводит к двукратному увлечению коэффициента буксования для обоих типов почв, однако, коэффициент буксования на орошаемых почвах в среднем на 13,3% выше по сравнению с неорошаемыми почвами.

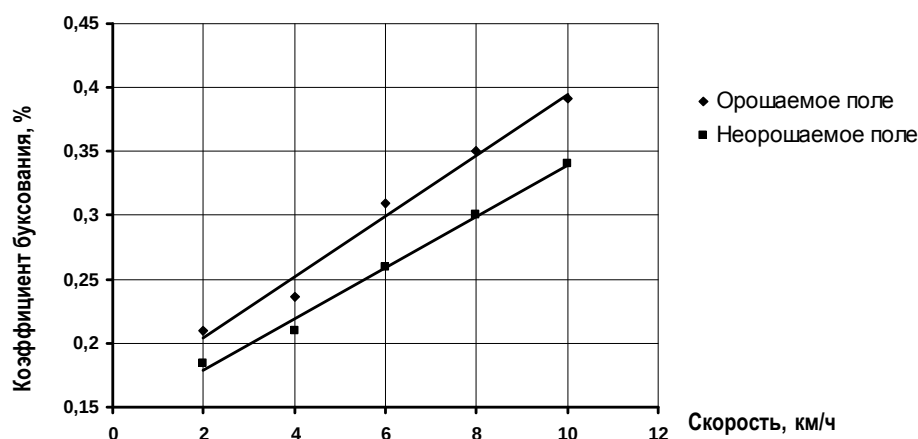


Рис. 1. Влияние скорости движения трактора К-701 на буксование пневматических шин при максимальной крюковой нагрузке

Исходя из вышеизложенного следует, что увеличение скорости движения и массы, приходящейся на ось пневматического колеса, приводит к увеличению объема уплотненной почвы в верхних горизонтах, заключенных между почвозацепами шины [8]. Оценить степень данного негативного воздействия можно путем изменения качественного показателя почвы определяемого как

$$\Pi_k = f \left(\frac{\Pi_{ci}}{\Pi_{cd}} \right), \quad (10)$$

где Π_{ci} – абсолютный показатель свойства почвы, который подвержен изменению вследствие воздействия на почву; Π_{cd} – абсолютный показатель свойства почвы, принятый за допустимый.

Качественным показателем почвы может быть любое физико-механическое свойство почвы, которое изменяет свои значения в процессе передвижения пневматического колеса по почве. Тогда величину качественного показателя почвы можно записать в виде

$$P_{ki} = \frac{P_{ci}^{\max} - P_{cd}}{P_{ci}^{\max} - P_{ci}^{\min}}, \quad (11)$$

где $P_{ci}^{\max}$ – максимальное значение показателя почвы, которое может достигать в результате воздействия движителя; $P_{ci}^{\min}$ – минимальное значение показателя почвы, как правило, эталонное значение.

При воздействии пневматических колес МТА на почву приводит к изменению нескольких показателей почвы, при этом их величина и значимость для роста сельскохозяйственных культур может быть различной. Тогда с учетом коэффициента весомости единичного качественного показателя почвы можно произвести оценку степени воздействия пневматического колеса МТА на почву путем определения комплексного показателя качества почвы, определяемого по математической модели следующего вида

$$P_k = \sum_{i=1}^n \frac{P_{ci}^{\max} - P_{cd}}{P_{ci}^{\max} - P_{ci}^{\min}} \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{P_{ki}^{\max} - P_{ki}^{\min}}}. \quad (12)$$

Оценка степени негативного воздействия пневматического колеса МТА на почву начинается с определения качественных показателей свойств почвы, которые можно измерить в ходе экспериментальных исследований. Были выбраны следующие показатели: плотность почвы, глубина следа, макроагрегатный состав, влажность почвы, твердость почвы и давление в почве, возникаемое в момент прохода колеса. В ходе экспериментальных исследований проводился замер изменения показателей почвы до и после прохода пневматических колес МТА, ряд из которых представлен в таблице 1.

Таблица 1

Изменение качественных показателей почвы после прохода пневматических колес МТА

Марка трактора	Давление движителя на почву, кПа	Плотность почвы, г/см ³	Глубина следа, см	Комплексный показатель качества почвы
МТЗ-80	70	1,43-1,36	6-8	1,4
К-701, К-744	110	1,48-1,44	7-9	2,2
ДТ-75	50	1,4-1,36	5-6	1
МТЗ-1221	85	1,44-1,38	6-7	1,7
МТЗ-1522	90	1,45-1,39	6-8	1,8
РТ-М-160	95	1,45-1,40	7-8	1,9
ХТЗ-16331	108	1,47-1,43	8-9	2,16
Т-150К	120	1,52-1,46	8-10	2,4
Дождевальная машина Фрегат	140	1,55-1,67	15-24	2,8
Норматив	35-40	1,2-1,3	3-4	

Зная абсолютный показатель свойства почвы, принятый за допустимый, при котором возможно нормальное развитие сельскохозяйственной культуры (табл. 1), можно определить качественный показатель почвы, результат которого является основанием для расчета комплексного показателя качества почвы.

Заключение. Представленные аналитические зависимости способны провести оценку негативного воздействия движителей МТА, движущегося по разным типам почв, что позволит повысить эффективность применения МТА за счет минимизации воздействия и сохранения плодородия почвы. Представленные зависимости позволяют провести оптимизацию конструктивно-технологических параметров МТА.

Библиографический список

1. Карапетян, М. А. Образование колеи на почве при многократных проходах сельхозмашин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2007. – №9. – С. 31-33.
2. Русинов, А. В. Моделирование слеодообразования движителями колесных тракторов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2011. – №3. – С. 32-37.
3. Щитов, С. В. Использование многоосных энергетических средств класса 1,4 / С. В. Щитов, Е. Е. Кузнецов, В. И. Худовец, А. С. Щитов. – Благовещенск : Дальневосточный ГАУ, 2013. – 153 с.
4. Чумаков, В. Г. Способы борьбы с уплотнением почвы / В. Г. Чумаков, Л. Ю. Копыленко // Вестник Кубанской ГСХА. – 2014. – №2(10). – С. 65-67.
5. Лапынин, Ю. Г. Пути увеличения проходимости и экологичности транспортных средств / Ю. Г. Лапынин, А. Н. Макаренко, А. А. Архипов, Д. В. Резников // Фундаментальные исследования. – 2011. – №4. – С. 101-107.
6. Слюсаренко, В. В. Определение глубины следа после проходов машинно-тракторных агрегатов / В. В. Слюсаренко, А. В. Русинов, С. В. Новичков // Техника в сельском хозяйстве. – 2003. – №2. – С. 11.

7. Щитов, С. В. Воздействие на почву тракторов с различной ходовой частью // Техника в сельском хозяйстве. – 2006. – №4. – С. 36-38.

8. Слюсаренко, В. В. Определение критериев сохранения плодородия почвы в процессе ее обработки / В. В. Слюсаренко, А. В. Русинов, Ю. Р. Хабибов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2006. – №3. – С. 164-166.

УДК 621.436-224.2

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕРМОСТОЙКОСТИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГОЛОВКИ БЛОКА ЦИЛИНДРОВ

Черкашин Николай Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Технический сервис», ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail: Cherkashin_NA@ssaa.ru.

Жильцов Сергей Николаевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Технический сервис», ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail : Zhiltsov_SN@ssaa. ru.

Ключевые слова: термостойкость, напряжение, деформация, усталость, трещина.

Цель исследований – повышение термостойкости материала головки блока цилиндров (ГБЦ) с обоснованием химического состава и структуры этой детали. При малоцикловом термическом нагружении постепенно происходит релаксация термических напряжений при наличии уже образовавшейся остаточной деформации. Это приводит к появлению напряжений растяжения, особенно опасных для серого чугуна из которого изготовлена головка блока цилиндров. Предел прочности этого материала на растяжение в несколько раз меньше, чем на сжатие. С каждым термоциклом напряжения растяжения будут возрастать, так как серый чугун обладает малой пластичностью. Остаточные деформации будут возрастать и в конечном итоге приведут к возникновению термоусталостных трещин. Материал головки, серый чугун СЧ25, имеет графитовые включения пластинчатой формы. Структура материала не является оптимальной для улучшения теплопередачи, что также повышает температурные напряжения по поверхности и толщине огневого днища и приводит к появлению трещин. Этот дефект лимитирует ресурс ГБЦ. Для рационального выбора материала этой детали использовалась экспериментальная установка. На основе анализа полученных результатов исследований было выявлено, что максимальной термостойкостью, 160 термоциклов, обладает вермикулярный чугун. Повышенную термостойкость показывают чугуны с такими легирующими элементами, как медь, никель, молибден. Установлено, что использование легирующих добавок оптимального химического состава и структуры вермикулярного чугуна позволит значительно повысить долговечность головки блока цилиндров.

Одна из наиболее дорогостоящих деталей двигателя – головка блока цилиндра, у которой в процессе эксплуатации появляются трещины в межклапанных перемычках вследствие низкой термоусталостной прочности применяемого материала. Ресурс современных дизелей не превышает 7500-8000 моточасов [1].

Головка блока заменяется в среднем 4 раза в течение всего срока службы дизеля из-за наличия трещин, которые появляются в результате термического нагружения в процессе эксплуатации. Обследование ремфонда дизелей показало, что наиболее характерными дефектами ГБЦ являются термическая деформация и термоусталостные трещины (до 85%) [2]. Причина возникновения трещин на огневом днище ГБЦ – это термическая деформация, возникающая из-за циклической смены температурных режимов. Наличие трещин приводит к потере мощности, снижению работоспособности [2, 5]. Долговечность детали зависит от способности выдерживать термические напряжения без образования трещин, т.е. термостойкости. Этот показатель в значительной степени зависит от материала изготовления ГБЦ [7].

При исследованиях термостойкости головок блоков и разработке рекомендаций по ее повышению применялись различные установки, на которых имитировались условия теплового нагружения огневого днища при работе двигателя или создавались жесткие форсированные режимы для ускоренного получения термоусталостных трещин. ГБЦ современных дизелей подвергаются высоким нагрузкам. Как правило, это большие перепады температур по ширине и толщине огневого днища, механическая напряженность, возникающая при монтаже деталей. Сложная геометрия этой детали усиливает данные факторы. В результате возникают пластические деформации, которые при своем развитии проявляются в виде трещин в местах концентрации напряжений. Этими местами являются межклапанные перемычки огневого днища ГБЦ. Трещины в указанных местах определяют ресурс рассматриваемой детали, так как при своем дальнейшем развитии они нарушают герметичность водяного охлаждения и являются причиной выбраковки.