

УДК 631.431.73

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МТА НА БАЗЕ ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ ТРАКТОРОВ

Русинов Алексей Владимирович

кандидат технических наук, доцент

Rusinovsar@yandex.ru

Слюсаренко Владимир Васильевич

доктор технических наук, профессор

slysarenko@yandex.ru

Русинов Дмитрий Алексеевич

аспирант

rusinov.dim@yandex.ru

Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова

г. Саратов, Россия

Аннотация. В статье рассмотрены теоретические вопросы связанные с определением изменения плотности почвы после проходов машинно-тракторных агрегатов на базе энергонасыщенных тракторов выполняющих работы по возделыванию сельскохозяйственных культур. Предложено техническое решение обеспечивающее снижение прироста плотности почвы по следам колес МТА за счет их установки на разную колею.

Ключевые слова: плотность почвы, МТА, энергонасыщенный трактор.

Саратовская область считается аграрной областью на полях которой возделываются разные сельскохозяйственные культуры. Для выполнения полного цикла агротехнологии по возделыванию сельскохозяйственных культур с наименьшими энергетическими затратами применяются высокопроизводительные МТА в состав которых входят энергонасыщенные трактора. Однако, широкое применение МТА на базе энергонасыщенных тракторов сопровождается рядом негативных обстоятельств. Так в связи с равенством или кратностью ширины захвата почвообрабатывающего агрегата почва подвергается многократному воздействию. Например, при возделывании яровой пшеницы из общего количества проводимых операций в количестве 11 шт, почва подвергается 3-х кратному воздействию при выполнении трех операций с частотой воздействия $1/4$ и $1/3$; 4-х и 5-ти кратному при выполнении 5 операций с частотой воздействия $1/8$, $1/3$, $1/2$; 6-ти кратному при выполнении 7 операций с частотой воздействия $1/3$, $1/5$, $1/12$, $1/4$. Поворотные полосы испытывают многократное воздействие от 5 до 28 проходов по одному следу в зависимости от схем движения МТА [1].

В результате многократного воздействия колес МТА происходит увеличение плотности почвы по следам с $1,3 \text{ г/см}^3$ до $1,7 \text{ г/см}^3$ [2], ее истирание и образование эрозионноопасных частицы размером менее 0,25 мм [3], снижения урожая сельскохозяйственных культур до 35 % [4]. Данное обстоятельство о негативных последствиях происходящих в почве в результате многократного воздействия движителей энергонасыщенных тракторов подтверждают многие авторы научных работ [4, 5, 6, 7].

Для минимизации негативного воздействия движителей МТА на почву и повышения безопасности их использования в АПК нами предлагается производить расстановку колес энергонасыщенных тракторов и почвообрабатывающих агрегатов на разную колею, рис. 1. С целью доказательства данных суждений рассмотрим теоретические основы процесса накопления плотности почвы вызванное многочисленными проходами колес энергонасыщенных тракторов и почвообрабатывающих агрегатов движущихся

тандемом.



Рисунок 1 - Тракторы с разной колеей колес

Для определения уплотнения почвы под действием вертикальной силы (масса на колесе) создаваемой двигателем энергонасыщенного трактора возьмем объем почвы по центру следа колеса и разобьем его на бесконечно малые слои толщиной dU . Примем, что расположение частиц почвы бессистемно, это будет характеризовать почву как анизотропную систему. Силу, действующую на выделенный объем почвы под единичным двигателем трактора, представим в виде сосредоточенной силы P . В качестве основных переменных выберем плотность почвы γ и смещение точек U вдоль вертикальной оси. Тогда энергия деформации почвы будет зависеть от изменения плотности $\gamma - \gamma_0$ (γ_0 - плотность недеформируемой почвы) и от производных смещений U по координате z . Тогда формула для свободной энергии деформации примет вид:

$$F = \frac{A}{2\gamma_0}(\gamma - \gamma_0)^2 + C(\gamma - \gamma_0)\frac{dU}{dz} + \frac{B\gamma_0}{2}\left(\frac{dU}{dz}\right)^2, \quad (1)$$

где: A , B , C - константы; γ - плотность почвы после ее деформирования, г/см^3 ; γ_0 - первоначальная плотность почвы, г/см^3 ; U - деформация почвы, м; z - вертикальная координата перемещения слоев почвы, м.

Равновесие почвы обеспечивается минимизацией полной свободной энергии по переменным γ и dU . Принимая во внимание, что $\int \gamma \cdot dV = \text{const}$ в уравнении Лагранжа получим:

$$\int F \cdot dV = \lambda \int \gamma \cdot dV, \quad (2)$$

где: λ - постоянный множитель Лагранжа.

В результате решений уравнений (1) и (2) при дифференцировании по плотности при условии минимизации разности $\int F \cdot dV - \lambda \int \gamma \cdot dV = 0$, получим:

$$\frac{A}{\gamma_o}(\gamma - \gamma_o) + C \frac{dU}{dz} = \lambda. \quad (3)$$

Известно, что изменение плотности почвы связано с деформацией ее слоев, и приняв, что γ_o есть плотность почвы при $dU/dz=0$, λ будет равно нулю. Рассчитав уравнение (3) относительно изменения плотности почвы, получили:

$$\gamma = \gamma_o \left(1 - m \frac{dU}{dz} \right), \quad (4)$$

где m – безразмерный коэффициент.

Преобразовав уравнение (4) так, чтобы можно было проинтегрировать по dU и dz , и приняв во внимание, что z изменяется от 0 до h_p , то есть на величину эффективного слоя уплотнения, а dU – от 0 до h_1 , то есть на величину деформации, при этом $h_1 < h_p$, имеем:

$$\gamma = \gamma_o - \gamma_o m \frac{h_1}{h_p}, \quad (5)$$

На значение коэффициент m огромное влияние оказывает влажность и структура почвы при прочих равных условиях. Следовательно, m может быть назван как коэффициент, зависящий от влажности, и при определенной влажности и конкретного типа почв будет величиной постоянной. Рассмотрение сущности коэффициента m показало, что он связан с коэффициентом Пуассона. Используя из теории механики грунтов зависимости коэффициента Пуассона от модуля деформации и модуля сдвига почвы, находим изменение плотности почвы после однократного ее нагружении.

$$\gamma = \gamma_o + \gamma_o \left(\frac{E_o}{\sigma} - 3 \right) \frac{h_1}{h_p}, \quad (6)$$

где: E_0 – модуль деформации почвы, МПа; σ - модуль сдвига, МПа.

Полученное уравнение позволяет найти плотность почвы при однократном ее нагружении в зависимости от первоначальных характеристик и деформации по слоям на величину активной зоны уплотнения.

В работе Миркина С.Н. [8] предлагается определить плотность почвы после многократных приложениях нагрузки по зависимости вида:

$$\gamma = \gamma_n(1 + k(1 + \chi \lg n)), \quad (7)$$

где: γ_n - плотность почвы до воздействия движителей, г/см³; k - коэффициент уплотнения, учитывающий основные деформационные характеристики, неравномерность нагружения почвы и промежуток времени между повторными нагружениями; χ - коэффициент интенсивности накопления плотности; n - количество нагружений.

Сложность определения параметра коэффициента уплотнения « k » делает практически невозможным использование формулы. Поэтому при определении плотности почвы по следам движителей, при многократном воздействии, целесообразно использовать логарифмическую зависимость вида:

$$\gamma = a \ln n + b, \quad (8)$$

где: a и b - коэффициенты, характеризующие тип почвы, характеристики движителя, нагрузку на ось; n - количество проходов.

Пересчет параметров между формулами (7) и (8), можно провести по зависимостям:

$$k = \frac{b - \gamma_0}{\gamma_0}, \quad \chi = \frac{a}{b - \gamma_0}. \quad (9)$$

Для подтверждения теоретических предпосылок увеличения плотности почвы и характер ее накопления после многочисленных проходов колес энергонасыщенного трактора К-744 были проведены полевые исследования на полях Новоузенского района Саратовской области. В ходе исследований трактор К-744 оснащался ступицей для расстановки колес задней оси на разную колею. Исследования проводились на почве – тяжелый суглинок. В ходе исследований было установлено, рис. 2., что резкое повышение плотности

почвы после прохода колес трактора происходит при первых 3-х проходах.

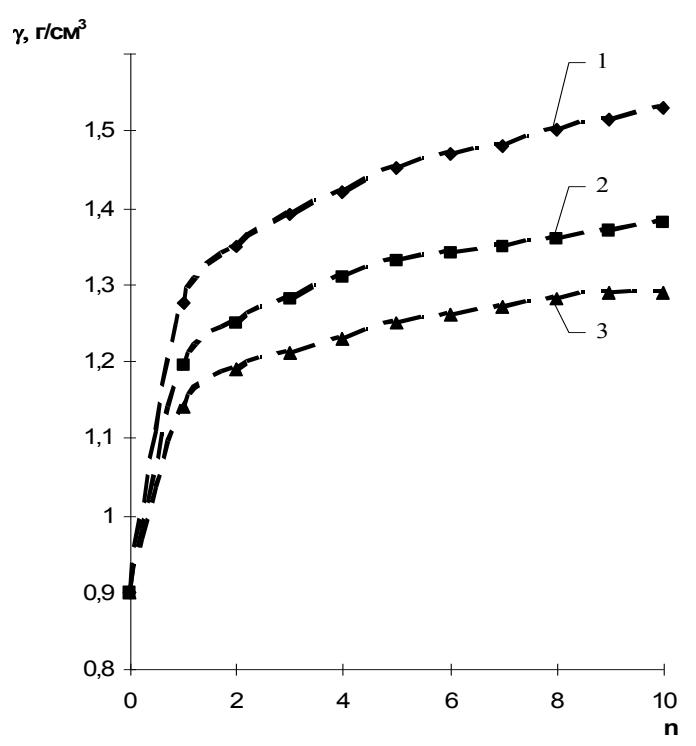


Рисунок 2 – Зависимость изменения плотности почвы от кратности проходов колес энергонасыщенного трактора К-744: 1 - серийный трактор $\gamma=0,1091\ln n+1,275$; 2 - разная колея, переднее колесо $\gamma=0,0811\ln n+1,195$; 3 - разная колея, заднее колесо $\gamma=0,0671\ln n+1,14$

Дальнейшее увеличение проходов колес энергонасыщенного трактора по одному следу приводит к менее значительному приросту плотности почвы, что позволяет описать данный процесс накопления плотности почвы с помощью логарифмической зависимости. На основании данных исследований была определена величина коэффициентов $a=0,212$ и $b=1,7$.

В ходе проведенных исследований нами были получены уравнения позволяют определить плотность почвы после прохода почвообрабатывающих МТА в зависимости от характеристик почвы, деформации и глубины активной зоны уплотнения, при многократных проходах движителей по одному следу. С целью повышения безопасности применения МТА на базе энергонасыщенных тракторов за счет минимизации воздействия колес на почву необходимо производить их расстановку на разную колею, что позволит снизить плотность почвы.

Список литературы:

1. Слюсаренко, В.В. Влияние движителей машинно-тракторных агрегатов на урожай сельскохозяйственных культур / В.В. Слюсаренко, А.В. Русинов, Т.В. Федюнина // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. №3(45). С.120-123.

2. Слюсаренко, В.В. Влияние ходовых систем энергонасыщенных МТА на макроагрегатный состав почвы / В.В. Слюсаренко, А.В. Русинов // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях: Материалы международной научно-практической конференции – Саратов: Амирит, 2016. – С.96-101.

3. Сергеев, А.Г. Технические решения снижения негативного воздействия движителей МТА на почву / А.Г. Сергеев, А.В. Русинов, Д.А. Русинов // Техногенная и природная безопасность: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции – Саратов, Амирит, 2017. – С.341-346.

4. Ворохобин, А.В. Снижение уплотняющего воздействия движителей мобильных энергетических средств / А.В. Ворохобин, Е.А. Высоцкая, Н.Ф. Скурятин // В сборнике: Современные научно-практические решения XXI века. Материалы международной научно-практической конференции. Под общей редакцией В.И. Оробинского, В.Г. Козлова. 2016. С. 15-19.

5. Окунев, Г.А. Воздействие машинных агрегатов на почву и тенденции формирования машинно-тракторного парка / Г.А. Окунев, Н.А. Кузнецов, А.А. Бражников // Вестник Челябинской государственной агроинженерной академии. 2014. Т. 69. С. 51-54.

6. Гайнуллин, И.А. Воздействие колесных тракторов на почву и эффективные способы ее снижения / И.А. Гайнуллин // Успехи современной науки. 2017. Т. 4. № 2. С. 120-123.

7. Годжаев, З.А. Перспективы развития ходовых систем современных мобильных энергосредств сельскохозяйственного назначения / З.А. Годжаев, А.М. Погожина // Тракторы и сельхозмашины. 2018. № 5. С. 76-84.

8. Миркин С.Н. Улучшение агротехнической проходимости тракторов типа "Кировец". Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук.

Саратов. 1991. 156 с.

**IMPROVING THE SAFETY OF USE OF MACHINE-TRACTOR UNITS
BASED ON ENERGY-SATURATED TRACTORS**

Rusinov Alexey Vladimirovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Rusinovsar@yandex.ru

Slyusarenko Vladimir Vasilievich

Doctor of Technical Sciences, Professor

slyusarenko@yandex.ru

Rusinov Dmitry Alekseevich

student

rusinov.dim@yandex.ru

Saratov State Vavilov Agrarian University

Saratov, Russia

Annotation. The article deals with theoretical issues related to the determination of changes in soil density after the passage of machine-tractor units based on energy-saturated tractors performing work on the cultivation of agricultural crops. A technical solution is proposed to reduce the increase in soil density along the tracks of wheels of machine and tractor units due to their installation on different tracks.

Key words: soil density, machine-tractor unit, energy-saturated tractor.