

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ



УДК 631.95
DOI: 10.53083/1996-4277-2023-228-10-83-87

А.Н. Панасюк, В.В. Епифанцев, Д.А. Дегтярев
A.N. Panasyuk, V.V. Epifantsev, D.A. Degtyarev

ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЯ И СТАНДАРТА АГРЕГАТА ДЛЯ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ МАШИНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

SUBSTANTIATION OF THE CRITERION AND STANDARD OF A UNIT FOR COMPARATIVE EVALUATION OF MACHINE TECHNOLOGIES IN CROP PRODUCTION

Ключевые слова: *деградация почвы, уплотняющее воздействие, ходовая система, максимальное давление, твердость почвы, плотность почвы, технология, эталонный агрегат.*

Особенность почвенно-климатических условий Амурской области заключается в деформации почвы при проведении полевых работ, которая зачастую подчиняется закономерностям теории пластичности при сжатии тонкого слоя на жестком основании. Для оценки механической деградации почвы в этих условиях предлагается использовать показатель уплотняющего воздействия (U , кН/м). Физический смысл показателя уплотняющего воздействия заключается в количестве механической работы агрегата затраченной на техногенную механическую деградацию почвы при рабочем ходе агрегата. Задача исследований состоит в том, чтобы определить параметры базового агрегата, принимаемого за эталон, с допустимым уплотняющим воздействием на почву. Установлены значения максимальных нагрузок на почву и уплотняющего воздействия на почву ходовых систем колесных тракторов, применяемых в растениеводстве Амурской области. Установлено, что эксплуатационная масса трактора оказывает существенное влияние на изменение твердости и плотности почвы как по следу трактора, так и за его пределами на расстоянии до 1,0 м. В результате исследований обоснован стандарт (эталон) для сравнительной оценки агре-

гатов по степени техногенного механического воздействия на почву при выполнении полевых работ – посевной агрегат с трактором 4к46 третьего тягового класса (Т-150К, или его аналог + 3С3-3,6А).

Keywords: *soil degradation, compaction effect, undercarriage, maximum pressure, soil strength, soil density, technology, reference unit.*

The peculiarity of the soil and climatic conditions of the Amur Region is the deformation of the soil during field operations which is often subject to the laws of the theory of plasticity when compressing a thin layer on a rigid base. To evaluate the mechanical degradation of the soil under these conditions, it is proposed to use the index of compacting effect (U , kN m). The physical meaning of the compaction effect index is the amount of mechanical work of the unit spent on technogenic mechanical degradation of the soil during the working path of the unit. The research goal is to determine the parameters of the basic unit taken as a standard with an acceptable compacting effect on the soil. The values of the maximum loads on the soil and the compacting effect on the soil of the undercarriage of wheeled tractors used in crop production of the Amur Region are determined. It is determined that the operational weight of the tractor has a significant impact on the change in soil strength and density both along the tractor track and beyond at a distance of up to 1.0 m. As a result of the

research, a standard (reference unit) for comparative evaluation of units according to the degree of technogenic mechanical impact on the soil during field operations has been sub-

stantiated - a sowing unit with a 4k4b tractor of the third traction class.

Панасюк Александр Николаевич, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, г. Благовещенск, Российская Федерация, e-mail: alex28rus@list.ru.

Епифанцев Виктор Владимирович, д.с.-х.н., профессор, ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, г. Благовещенск, Российская Федерация, e-mail: viktor.iepifatsiev.59@mail.ru.

Дегтярев Дмитрий Анатольевич, к.т.н., Дальневосточное высшее общевойсковое командное училище имени Маршала Советского Союза К.К. Рокоссовского, г. Благовещенск, Российская Федерация, e-mail: agroamur@list.ru.

Panasjuk Aleksandr Nikolaevich, Dr. Tech. Sci., Prof., Far Eastern State Agricultural University, Blagoveshchensk, Russian Federation, e-mail: alex28rus@list.ru.

Epifantsev Viktor Vladimirovich, Dr. Agr. Sci., Prof., Far Eastern State Agricultural University, Blagoveshchensk, Russian Federation, e-mail: viktor.iepifatsiev.59@mail.ru.

Degtyarev Dmitriy Anatolevich, Cand. Tech. Sci., Far Eastern Higher Combined Command Military School named after Soviet Union Marshal K.K. Rokossovsky, Blagoveshchensk, Russian Federation, e-mail: agroamur@list.ru.

Введение

Особенностью природно-производственных условий Амурской области является сезонное замерзание и оттаивание почвы. Зимой она промерзает на глубину до 2,5 м и только к середине июня, в июле полностью оттаивает.

Весенние полевые работы проводятся при мерзлом подстилающем слое, располагающемся на глубине 0,1-0,2 м. В данном случае выдавливания почвы из-под движителя практически не происходит, идет ее осадка вниз и сдвиг в стороны по полям линий скольжения. При этом возникают как пластические, так и жесткие области. Применяемые на весенних полевых работах тракторы могут превышать допустимые нагрузки на почву, установленные Национальным стандартом РФ «Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения воздействия движителей на почву» (ГОСТ Р 58656-2019). Критерием для ограничения механической нагрузки на почву, по нашему мнению, может стать показатель уплотняющего воздействия (U), кН/м [1].

Цель исследований – снижение механической деградации почвы в технологиях растениеводства. **Задачи** исследований – обосновать допустимый уровень уплотняющего воздействия МТА на полевых работах и показатель его оценки. **Объект** исследований – процессы уплотнения почвы под воздействием ходовых систем колесных тракторов. **Методы** исследований базировались на общепринятых расчетных и экспериментальных методах с использованием корреляционного и дисперсионного анализа.

Исследования проводили на типичной для Амурской области луговой черноземовидной среднесуглинистой почве. Тип и механический состав почвы влажность и твердость почвы определялись согласно ГОСТ 20915-2011.

Результаты исследований и их обсуждение

Показатель уплотняющего воздействия ходовой системы трактора рассчитывается по формуле [2]:

$$U = \omega B q_{\max} (1 + k_n \lg N), \quad (1)$$

где ω – безразмерный коэффициент, зависящий от размеров и формы опорной поверхности движителя;

B – ширина движителя, м;

q_{\max} – максимальное нормальное давление движителя на почву, кПа;

k_n – коэффициент накопления необратимых деформаций почвы при ее повторных нагружениях;

N – число повторных нагружений (проходов колес по одному следу) [2].

Для того чтобы оперировать показателем уплотняющего воздействия при оценке тракторов и агрегатов важно понять физический смысл этого критерия.

Универсальным критерием, по мнению ряда ученых, является минимум удельных технологических затрат при рабочем ходе агрегата на единицу обработанной площади (E_T , кДж/м²). С другой стороны, E_T представляет собой удельное тяговое сопротивление агрегируемой машины на единицу ширины захвата [3]:

$$K_m = \frac{R_m}{B_p}, \quad \text{кН/м}, \quad (2)$$

где R_m – общее тяговое сопротивление машины, кН;
 B_p – ширина захвата машины, м.

С этой точки зрения удельное тяговое сопротивление в качестве критерия оценки положено в основу методологии адаптации МТА к технологиям растениеводства. С этих позиций можно утверждать, что показатель уплотняющего воздействия (U , кН/м) представляет собой механическую работу агрегата, или удельную энергию, затраченную на техногенную механическую деградацию почвы при рабочем ходе агрегата. В этом, по нашему мнению, состоит его физический смысл. В самом деле согласно формуле (1) нетрудно установить размерность показателя уплотняющего воздействия:

$$U = m \cdot \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} = \frac{\text{кДж}}{\text{м}^2}.$$

Уплотняющее воздействие агрегата при выполнении технологической операции (U_T):

$$U_T = [U] + \frac{m B_{cm}}{2 B_{azp}} (U_j - [U]), \quad (3)$$

где B_{cm} – ширина захвата агрегата, принятого за стандарт (эталон), м;

B_{azp} – ширина захвата применяемого агрегата, м;

$\frac{m}{2}$ – число проходов агрегата;

U_j – уплотняющее воздействие по одному следу агрегата, кН/м;

$[U]$ – допустимое уплотняющее воздействие на почву, кН/м.

Или
$$U_T = [U] + \Delta U_{azp}, \quad (4)$$

где ΔU_{azp} – приращение уплотняющего воздействия от применяемого агрегата по сравнению с допустимым.

Экспериментами установлены пределы изменения плотности почв Амурской области в зависимости от давления на нее движителей машин (табл. 1) [4].

Таблица 1

Значения плотности почвы в слое 0-0,2 м в зависимости от нормального давления (при исходной плотности почвы $\rho_0 = 1,0-1,12 \text{ г/см}^3$)

q , кПа	≤ 50	50-100	115-130	135-150	150-200	145-250	275-300	300-340	350-400	> 450
ρ , г/см ³	$\leq 1,1$	1,11-1,15	1,15-1,20	1,18-1,28	1,20-1,31	1,24-1,35	1,28-1,40	1,34-1,45	1,45-1,52	1,58-1,62

Примечание. *Коэффициент вариации $V=37,5 \%$. Распределение близко к нормальному.

С учетом поправок на конструктивные особенности движителей тракторов при исходной плотности почвы $\rho_0 = 1,0-1,12 \text{ г/см}^3$ максимальное нормальное давление под движителем не должно превышать 150 кПа [1]. На величину максимальных нормальных нагрузок (q_{max} , кПа) и, соответственно, на величину уплотняющего воздействия влияет распределение массы по осям трактора [5, 6]. Установлено влияние на почву ходовых систем колесных тракторов, применяемых в растениеводстве Амурской области в зависимости от колесной формулы и распределения эксплуатационной массы по осям (табл. 2).

Установлено влияние уплотняющего воздействия от ходовых систем на плотность почвы [7, 8] и урожайность сельскохозяйственных культур [9, 10] на

расстоянии 0,8-1,0 м от следа трактора в 1,12-1,15 раза. В опытах с трактором Т-150К + ЗСЗ 3,6 установлено снижение урожайности сои при рядовом посеве сои между следами трактора в 1,22 раза. Таким образом, зона «недобора урожая» включает все пространство между следами колес и за внешними границами колеи трактора.

Кроме того, полевыми исследованиями установлено, что опорные колеса современных полевых машин, агрегатируемых с трактором, передают нормальные нагрузки на почву, сравнимые с нагрузкой от колес трактора: колесо сеялки ПС-6ПМ – $q_{max} = 169 \text{ кПа}$; колесо сеялки ПК-Томь – $12,5 - q_{max} = 113 \text{ кПа}$; колесо сеялки Amazone Citan 12000С – $q_{max} = 211,3 \text{ кПа}$; колесо сеялки СЗ-3,6А – $q_{max} = 87,5 \text{ кПа}$.

Таблица 2

Уплотнение почвы в зависимости от конструктивных особенностей тракторов

Марка трактора	Тягов. класс	Колесн. форм.	Нагрузка по осям (п/з), т	Размер шин (п/з)	q_{max} , кПа	Кэфф. уплотн. k_p	U , кН/м	Распред. массы по осям, т
Беларус 80.1	1,4	4к2	<u>1,10</u> 2,59	<u>9,0R20</u> 15,5R38	<u>188,1</u> 200,3	1,41	89,4	<u>30</u> 70
Беларус 80.2	1,4	4к4а	<u>1,14</u> 2,64	<u>11,2 R20</u> 15,5 R38	<u>151,7</u> 204,0	1,42	105,1	<u>30</u> 70
Беларус 1025.2	2,0	4к4а	<u>1,82</u> 3,38	<u>360/70R24</u> 18,4R34	<u>175,3</u> 168,3	1,38	130,0	<u>35</u> 65
Т150К	3,0	4к4б	<u>5,35</u> 2,91	21,3R24	<u>162,8</u> 145,2	1,32	136,7	<u>65</u> 35
Беларус 1523	3,0	4к4а	<u>2,06</u> 3,82	<u>420/70R24</u> 520/70R38	<u>158,4</u> 188,1	1,31	138,7	<u>35</u> 65
Беларус 3022	5,0	4к4а	<u>3,81</u> 7,07	<u>540/65R30</u> 580/70R42	<u>209,1</u> 295,4	1,42	215,0	<u>35</u> 65
К-701А	5,0	4к4б	<u>7,43</u> 6,07	28.1R26	<u>221,6</u> 181,4	1,29	245,0	<u>55</u> 45
К-744Р1	5,0	4к4б	<u>8,85</u> 7,24	28.1R26	<u>225,9</u> 216,4	1,29	258,1	<u>55</u> 45
К-744Р3	5,0	4к4б	<u>9,45</u> 8,10	30,5R32	<u>228,9</u> 211,3	1,31	292,3	<u>55</u> 45

Примечание. *Для расчета q_{max} использована методика, приведенная в ГОСТ Р 58656-2019.

Установлена зависимость уплотнения почвы от числа проходов агрегатов по одному следу. В опытах использованы тракторы 2-5-х тяговых классов. При исходной плотности почвы 1,07-1,08 г/см³ при двух проходах тракторов изменения плотности составили: Т-150К – $\rho_{\text{следа}} = 1,27$ г/см³; Беларусь 1025.2 – $\rho_{\text{следа}} = 1,16$ г/см³; Беларусь 1523 – $\rho_{\text{следа}} = 1,25$ г/см³; К-701 – $\rho_{\text{следа}} = 1,31$ г/см³; при четырех проходах: Т-150К – $\rho_{\text{следа}} = 1,27$ г/см³; Беларусь 1025.2 – $\rho_{\text{следа}} = 1,27$ г/см³; Беларусь 1523 – $\rho_{\text{следа}} = 1,27$ г/см³; К-701-4 – $\rho_{\text{следа}} = 1,37$ г/см³.

Колесная формула трактора и распределение эксплуатационной массы по осям оказывают существенное влияние на изменение твердости почвы как

по следу трактора, так и за его пределами на расстоянии до 1,0 м.

Дисперсионный анализ данных изменения твердости почвы в опыте (табл. 3) выявил существенные различия между вариантами ($F_{\text{ф}} > F_{05}$) (средний квадрат ошибки опыта составил $s^2 = 0,0288$ МПа).

Экологические пороги уплотнения суглинистых почв Амурской области для зерновых культур составляют $\rho = 1,0-1,24$ г/см³, для сои – $\rho = 1,09-1,25$ г/см³ [3]. Этому соответствуют пределы нормального давления 100-140 кПа (max -150 кПа) (табл. 1), с расчетным показателем уплотняющего воздействия 90-125 кН/м. Наиболее близки к указанным критериям тракторы третьего тягового класса с эксплуатационной массой 6,0-9,0 т (табл. 2).

Таблица 3

Прирост твердости почвы при четырех проходах тракторов по поверхности поля, МПа

Фактор А Место отбора проб почвы	Фактор Б. Марка трактора											
	Беларус 1025.2			Беларус 1523			Т-150К			К-701		
	слой почвы, см											
	0-15	10-20	20-30	0-15	10-20	20-30	0-15	10-20	20-30	0-15	10-20	20-30
Центр колеи	0,5	1,3	1,3	0,6	1,35	1,35	0,75	1,45	1,65	0,75	1,65	1,65
Центр следа	1,2	1,3	1,3	1,3	1,35	1,35	1,55	1,65	1,6	1,7	1,7	1,7
0,5 м от края следа	0,65	1,2	1,2	0,5	1,15	1,15	0,8	1,45	1,6	1,0	1,7	1,6
1,0 м от края следа	0,65	1,95	1,2	0,55	1,95	1,9	0,65	1,35	1,6	0,9	1,6	1,6

Наиболее подходит под эти параметры агрегат Т-150К + ЗСЗ-3,6А ($q_{\text{max}} \text{ колеса сеялки} = 87,5$ кПа), который и следует принять за стандарт при оценке полевых агрегатов в технологиях.

Заключение

1. Показатель уплотняющего воздействия (U , кН/м) позволяет дать достоверную оценку техногенного механического воздействия агрегатов на почву при выполнении полевых работ.

2. Показатель уплотняющего воздействия (U , кН/м) представляет собой механическую работу, или удельную энергию, затраченную на техногенную механическую деградацию почвы при рабочем ходе агрегата (на единицу ширины захвата агрегата). В этом состоит его физический смысл.

3. За стандарт для сравнительной оценки агрегатов по степени техногенного механического воздействия на почву следует принять посевной агрегат с трактором 4к4Б третьего тягового класса (Т-150К, или его аналог, + ЗСЗ-3,6А).

Библиографический список

1. Панасюк, А. Н. Выбор эталонного агрегата для оценки техногенного механического воздействия на почву в технологиях растениеводства / А. Н. Панасюк, В. В. Епифанцев. – Текст: непосредственный // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспек-

тивы развития: материалы Всероссийской научно-практической конференции (г. Благовещенск, 20-21 апреля 2023 г. – Благовещенск: Дальневосточный ГАУ, 2023. – С. 174-181.

2. Ксеневич, И. П. Ходовая система – почва – урожай / И. П. Ксеневич, В. А. Скотников, М. И. Ляско. – Москва: Агропромиздат, 1985. – 304 с. – Текст: непосредственный.

3. Основы теории мобильных сельскохозяйственных агрегатов / В. А. Самсонов, А. А. Зангиев, Ю. Ф. Лачуга, О. Н. Дидмашидзе. – Москва: Колос, 2000. – 247 с. – Текст: непосредственный.

4. Панасюк, А. Н. Расчет экологических порогов нормального давления колесных движителей машин на полевых работах на глинистых почвах / А. Н. Панасюк, А. В. Липкань. – Текст: непосредственный // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2020. – Т. 14, № 4. – С. 43-48.

5. Влияние параметров ходовых систем колесных машин на изменение плотности почвы / И. Н. Шило, Н. Н. Романюк, И. С. Крук [и др.]. – Текст: непосредственный // Тракторы и сельхозмашины. – 2021. – Т. 88, № 5. – С. 30-37.

6. Сусанин, А. В. Негативные последствия нерационального распределения веса по осям колес трактора / А. В. Сусанин. – Текст: непосредственный // Актуальные вопросы агроинженерных и агрономи-

ческих наук / под редакцией Н. С. Низамутдиновой. – Челябинск, 2022. – С. 64-68.

7. Захарова, Е. Б. Влияние уплотнения почвы тракторами на урожайность ячменя и сои / Е. Б. Захарова. – Текст: непосредственный // Техника в сельском хозяйстве. – 2001. – № 5. – С. 36-37.

8. Лубянкин, А. Н. К вопросу снижения влияния движителей сельскохозяйственной техники на почву / А. Н. Лубянкин, А.В. Алехин. – Текст: непосредственный // Наука и образование. – 2020. – Т. 3, № 2. – С. 39-40.

9. Слюсаренко, В. В. Влияние движителей машинно-тракторных агрегатов на урожай сельскохозяйственных культур / В. В. Слюсаренко, А. В. Русинов, Т.В. Федюнина. – Текст: непосредственный // Международный научно-исследовательский журнал. – 2020. – Ч. 3, № 3 (45), март. – С. 120-122.

10. Lipiec, J., Hatano, R. (2003). Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. *Geoderma*. 116. 107-136. DOI: 10.1016/S0016-7061(03)00097-1.

References

1. Panasiuk A.N., Epifantsev V.V. Vybór etalonnogo agregata dlia otsenki tekhnogennogo mekhanicheskogo vozdeistviia na pochvu v tekhnologiiakh rastenievodstva // Agropromyshlennyi kompleks: problemy i perspektivy razvitiia: materialy Vseros. nauch.-prakt. konf. (Blagoveshchensk, 20–21 apreliia 2023 g.). – Blagoveshchensk: Dalnevostochnyi GAU, 2023. – S. 174–181.

2. Ksenevich I.P., Skotnikov V.A., Liasko M.I. Khodovaia sistema – pochva – urozhai. – Moskva: Agropromizdat, 1985. – 304 s.

3. Samsonov V.A. Osnovy teorii mobilnykh selskokhoziaistvennykh agregatov / V.A. Samsonov, A.A. Zangiev, Iu.F. Lachuga, O.N. Didmashidze. – Moskva, Kolos, 2000. – 247 s.

4. Panasiuk A.N. Raschet ekologicheskikh porogov normalnogo davleniia kolesnykh dvizhitelei mashin na polevykh rabotakh na glinistykh pochvakh / Panasiuk A.N., Lipkan A.V. // Selskokhoziaistvennye mashiny i tekhnologii. – 2020. – Т. 14, No. 4. – С. 43-48.

5. Vliianie parametrov khodovykh sistem kolesnykh mashin na izmenenie plotnosti pochvy / Shilo I.N., Romaniuk N.N., Kruk I.S., Orda A.N. i dr. // Traktory i selkhoz mashiny. – 2021. – Т. 88, No. 5. – С. 30-37.

6. Negativnye posledstviia neratsionalnogo raspredeleniia vesa po osiam koles traktora / A.V. Susanin // Aktualnye voprosy agroinzhenernykh i agronomicheskikh nauk. Pod redaktsiei N.S. Nizamutdinovoi. – Cheliabinsk, 2022. – С. 64-68.

7. Vliianie uplotneniia pochvy traktorami na urozhainost iachmenia i soi / E.B. Zakharova // Tekhnika v selskom khoziaistve. – 2001. – No. 5. – С. 36-37.

8. K voprosu snizheniia vliianiia dvizhitelei selskokhoziaistvennoi tekhniki na pochvu / Lubiankin A.N., Alekhin A.V. // Nauka i Obrazovanie. – 2020. – Т. 3, No. 2. – С. 39-40.

9. Sliusarenko V.V. Vliianie dvizhitelei mashinno-traktornykh agregatov na urozhai selskokhoziaistvennykh kultur / Sliusarenko V.V. Rusinov A.V. Fediunina. T.V // Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal. – 2020. – No. 3 (45). – Ch. 3. – С. 120-122.

10. Lipiec, J., Hatano, R. (2003). Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. *Geoderma*. 116. 107-136. DOI: 10.1016/S0016-7061(03)00097-1.



УДК 621.43

DOI: 10.53083/1996-4277-2023-228-10-87-93

Р.В. Даманский

R.V. Damanskiy

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕСУРСА ПРЕЦИЗИОННЫХ ПАР РАСПЫЛИТЕЛЕЙ ФОРСУНОК АВТОТРАКТОРНЫХ ДВС

MATHEMATICAL MODEL OF SERVICE LIFE OF PRECISION INJECTION NOZZLE PAIRS OF MOTOR-AND-TRACTOR INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Ключевые слова: ресурс, распылитель, форсунка, прецизионная пара, математическая модель, диссипация энергии, автомобиль, трактор, ДВС.

Приведено теоретическое описание процесса изнашивания прецизионных пар распылителей форсунок дизельных двигателей на основе учета различных вкладов в диссипацию энергии удара иглы о седло клапана. Для оценки различных факторов, влияющих на изнашивание и ресурс прецизионных пар, в работе представлена функ-

циональная (физическая) модель прецизионного сопряжения форсунки, позволяющая определить ресурс ее деталей. В разработанной модели учтены различные факторы изнашивания: свойства материалов деталей сопряжения; микронеровности поверхностного слоя деталей (шероховатости); свойства слоя топлива в рабочем зазоре форсунки; усталостные процессы в поверхностном слое деталей и др. Обозначена цель исследования, заключающаяся в необходимости теоретического обоснования, математического моделирования и исследования