

УДК 631.431.73

Агротехническая повреждаемость почв при ударных нагрузках от эксплуатируемых сельскохозяйственных машин и орудий

Рассматриваются изменения агротехнических свойств почвы от ударных нагрузок сельскохозяйственных орудий и машин. В качестве механической модели почвы берётся обобщённая модель вязко-упругой среды. Выбор данной модели базируется на экспериментальных данных. Показано, что при ударных нагрузках сельскохозяйственных деформаторов на почву значительно ухудшается пористость, воздухопроницаемость, а также увеличивается плотность почвы по сравнению со статической нагрузкой.

При выполнении различных сельскохозяйственных операций эксплуатируемой техникой происходит взаимодействие машин и орудий (деформаторов) с почвой, что оказывает прямое влияние не только на эксплуатационные свойства машины, но и на свойства почвы как объекта среды и обработки, в котором произрастают культуры.

Сегодня стало очевидным, что создание современной сельскохозяйственной техники, удовлетворяющей условиям агротехнической проходимости, обеспечивающей надежное сохранение плодородия земли, невозможно без широкого и глубокого изучения законов механики почв. Однако фундаментальных исследований по механике почв очень мало, а применение законов механики грунтов в вопросах сельскохозяйственных машин и орудий с почвой не всегда оправдано.

Таким образом, в решении проблемы обеспечения параметров сельскохозяйственных агрегатов с учетом их допустимого давления на почву центральную роль начинает играть почва, а также ее поведение при механическом и климатическом воздействии. Почва по своим физическим и механическим свойствам представляет очень сложную среду, аналог которой трудно найти в природе. Это вызывает большие затруднения в разработке методик по ее изучению.

The changes of agrotechnical properties of soil from blow loadings of agricultural implements and machines are being studied. The generalized model of sticky-elastic environment is taken as a mechanical model. The choice of the model is based on the experimental data. It is pointed out, that under blow loading of agricultural defectors on the soil the porosity and air-penetration get much worse. And as for the soil density compared with static loading, it increases.

Следует отметить, что почва является основным компонентом агроэкологических систем. Поэтому ее агрофизическое состояние, регулируемое антропогенной деятельностью, играет заметную роль в определении устойчивого или неустойчивого состояния агроэкосистем. Современные агроэкологические системы по своему поведению заметно отличаются не только от своих природных биоценозов, но и от агроэкологических систем 60-х, 70-х годов.

В зоне контакта сельскохозяйственного деформатора с почвой образуется область напряженного состояния. С одной стороны, это напряжение вызывает вес машины, а с другой, возникают биения за счет неизбежных в той или иной степени дисбалансов различных вращающихся узлов и деталей, которые передаются на почву. Все перечисленные силы приводят в колебательное движение частицы почвы, вызывая деформации, зависящие от свойств почвы.

Для понимания физической сущности процесса вибродинамического деформирования рассмотрим модель почвы, обладающей упругими и вязкими свойствами.

Распространенными моделями упруго-вязких сред являются модели Максвелла и Кельвина-Фойгта. Однако их применение при изучении волновых процессов затрудняется тем, что среда Кельвина-Фойгта в момент при-

ложения ударной нагрузки ведет себя как несжимаемая, а среда Максвелла при действии стационарной нагрузки не ограниченно деформируется.

Для решения волновых задач обычно применяется модель обобщенной вязко-упругой среды (рис.).

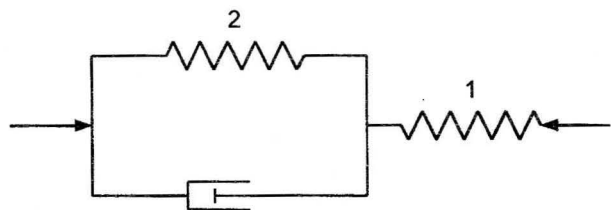


Рис. Модель обобщенной вязко-упругой среды

Элемент среды представляет собой соединение двух пружин и одного демпфера. Сжатие пружины 1 физически выражает деформацию, связанную со сжатием цементирующих пленок солей и водных пленок, расположенных между отдельными частицами почвы [1]. Процесс сжатия пружины 1 обратим. При ударном сжатии он протекает по закону Гука:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_d}, \quad (1)$$

где ε – деформация пружины;

σ – нормальное напряжение;

E_d – динамический модуль упругости пружины 1.

Деформация пружины 2 и демпфера выражает смещение частиц почвы, их переукладку. После снятия нагрузки частицы почвы не возвращаются к исходному положению. Это объясняется тем, что воздух, заключенный в порах, сжимается лишь на несколько процентов и не в состоянии при снятии нагрузки преодолеть силы трения между частицами и вернуть почву к начальному объему. Деформация, связанная со смещением демпфера и сжатием второй пружины, определяется выражением:

$$\sigma = E_2 \varepsilon_2 + \eta \dot{\varepsilon}_2, \quad (2)$$

где E_2 – модуль упругости пружины 2;

$\dot{\varepsilon}_2$ – скорость распространения деформации;

η – коэффициент вязкости.

Связь между напряжением и деформацией в любой момент времени для обобщенной модели будет иметь вид:

$$\mu \varepsilon + \dot{\varepsilon} = \frac{\dot{\sigma}}{E_d} + \frac{\mu \sigma}{E_c}, \quad (3)$$

где $\dot{\sigma}$ – скорость распространения напряжения;

$$E_c = \frac{E_d E_2}{E_d + E_2} \text{ – статический модуль упругости;}$$

$$\mu = \frac{E_d E_c}{(E_d - E_c) \eta} \text{ – параметр вязкости.}$$

При взаимодействии сельскохозяйственного деформатора с почвой как обобщенной вязко-упругой средой (рис.) нагрузка, действующая на деформатор, может изменяться по закону:

$$Q(t) = P + G(t), \quad (4)$$

где $G(t) = P_0 \sin \omega t$;

P – статическая (постоянная) нагрузка;

$G(t)$ – динамическая составляющая нагрузки, образованная дисбалансами вращающихся узлов машин и колебательным движением орудий.

Целью наших исследований явилось изучение влияния динамической составляющей нагрузки $G(t)$ на деформацию почвы, так как этот вопрос мало изучен. В зоне контакта деформатора с почвой нагрузка может задаваться двумя способами:

– синусоидальной, меняющейся по закону:

$$\sigma = 0 \text{ при } t \leq 0; \quad (5)$$

$$\sigma = \sigma_m \sin \omega t \text{ при } 0 \leq t \leq \infty,$$

– ударная:

$$\sigma = \sigma_m (1 - t/\Theta) \text{ при } 0 \leq t \leq \Theta; \quad (6)$$

$$\sigma = 0 \text{ при } 0 \geq t, t \geq \Theta.$$

Особый интерес представляет случай ударной нагрузки на почву, который имеет место при движении по неоднородной (каменистой) почве.

В этом случае из соотношений (6) и (3), аналогично [2], можно получить уравнение, определяющее изменение деформации:

$$\dot{\varepsilon} + \mu \varepsilon + Bt + D = 0, \quad (7)$$

$$\text{где } B = \frac{\mu \sigma_m}{\Theta E_c}; \quad D = \frac{\sigma_m}{E_d \Theta} \left(1 - \frac{E_d}{E_c} \mu \Theta\right).$$

Интегрируя это уравнение при начальном условии

$$\varepsilon(0) = \frac{\sigma_m}{E_d}, \text{ найдем}$$

$$\varepsilon(t) = -\frac{D}{\mu} - \frac{B}{\mu^2} (\mu t - 1) + M e^{-\mu t}, \quad (8)$$

$$\text{где } M = \frac{\sigma_m}{E_d} + \frac{D}{\mu} - \frac{B}{\mu^2}.$$

Зная начальные характеристики почвы (плотность, вязкость, динамический и статический модули упругости), а также законы, по которым изменяется прикладываемая нагрузка, по формуле (8) можно найти деформацию почвы, а следовательно, и приращение уплотнения от динамической составляющей нагрузки.

Для подтверждения данной теории нами были проведены опыты по определению плотности почвы от статической и ударной нагрузки. По методу Качинского был определен состав почвы (табл. 1).

Таблица 1.

Хрящ, %	Гравий, %	Песок, %			Пыль, %	Физгли- на, %
		крупный	средний	мелкий		
2,2	8,4	8,0	17,8	18,5	30,2	14,9

Данная почва относится к дерново-подзолистой супесчаной. На приборе Литвинова П-10 С были определены статический модуль упругости $E_c = 7 \times 10^5$ Па и ко-

эффект вязкости $\eta = 8,5 \times 10^3$ Па·с при влажности почвы 12–17%. Динамический модуль упругости определен по формуле, предложенной Ульяновым Н.А. [4,5]:

$$E_d = E_c(1 + \xi v^{1/2}), \quad (9)$$

где v – скорость движения деформатора, $v = 15$ км/ч;
 $\xi = 0,09$ – $0,11$ для связного грунта и $0,06$ – $0,08$ для несвязного.

$$E_d = 7 \times 10^5 \times (1 + 0,1 \times 15^{1/2}) = 9,7 \times 10^5 \text{ Па.}$$

Исследованиями многих ученых доказано, что отклонение плотности почвы от оптимальной ($1,1$ – $1,35$ г/см³) на $0,1$ – $0,3$ г/см³ приводит к снижению урожая на 20–40%. По данным И.Б.Ревута, при увеличении плотности мощного тяжелосуглинистого чернозема с $1,0$ до $1,6$ г/см³ содержание пор размерами более 60 мкм уменьшается с 18,3% до 1,1%. В процессе уплотнения почвы уменьшается не только общий объем пор, но, что особенно важно, и их размер. Уменьшение размера пор приводит к тому, что корневые волоски не могут расти, если поры почвы по размеру меньше 10 мкм. Поры менее 3 мкм уже недоступны микроорганизмам [3].

Для развития корневой системы растений необходим также воздух, содержание которого колеблется в зависимости от типа почвы, ее влажности и степени уплотнения. О достаточном или недостаточном режиме воздухообмена в почве можно судить по воздухопроницаемости (ВП), т.е. скорости проникновения воздуха в почву. В природных условиях проникновение воздуха происходит под влиянием атмосферного давления или воды.

Чтобы определить, как зависит ВП от статической и ударной нагрузок, были проведены опыты на приборе, представляющем собой лабораторный деформатор, состоящий из станины, штока, груза, подъемника груза, бойка и гильзы. Давление, создаваемое на почвенный образец, составило 46,5 кПа. В таблице 2 приведены результаты опытов, а также плотность почвы при ударной нагрузке, определенная расчетным путем с помощью формулы (8).

На основании проведенных исследований можно сделать некоторые выводы:

1. Предложенная реологическая модель почвы, как модель обобщенной вязко-упругой среды, наиболее точно описывает процессы, происходящие в почве при ударных нагрузках. Так, плотность почвы, найденная расчетным путем, отличается от экспериментальной плотности менее чем на 4%.

2. Взаимодействие сельскохозяйственных деформаторов с дерново-подзолистой почвой влажностью 12–17% существенно влияет на ее физико-механические свойства. Максимальное увеличение плотности почвы после однократного воздействия при данной статической нагрузке достигает $0,303$ г/см³, а при ударной – $0,436$ г/см³.

3. Воздухопроницаемость, которая является одним из главных факторов биологической активности почвы, после одного уплотняющего воздействия при статической нагрузке уменьшилась более чем в два раза и в семь раз при ударной. Следовательно, ударная нагрузка ведет к более острому воздушному голоданию почвы, чем статическая.

4. Для уменьшения уплотняющего воздействия деформаторов на почву рекомендуется выравнивание рельефа почвы, что снизит ударные нагрузки, которые ведут к агротехнической повреждаемости почвы (увеличению плотности, уменьшению пористости и воздухопроницаемости), а следовательно, и к снижению урожая на каменистых и неровных полях.

Литература

1. Ляхов Г.М., Полякова Н.И. Волны в плотных средах и нагрузки на сооружения. – М.: Недра, 1967. – 232 с.
2. Ляхов Г.М. Волны в грунтах и пористых многокомпонентных средах. – М.: Наука, 1982. – 288 с.
3. Ревут И.Б. Физика почв. – Л.: Колос, 1972. – 309 с.
4. Ульянов Н.А. Теория самоходных колесных землеройных транспортных машин. – М.: Машиностроение, 1969.
5. Ульянов Н.А. Основы теории и расчета колесного движителя землеройных машин. – М.: Машгиз, 1961. – 208 с.

Таблица 2. Зависимость физических свойств почвы от количества уплотняющих воздействий

Количество уплотняющих воздействий (к)	Нагрузка на образец							
	Статическая			Ударная				
	эксперимент. плотность, г/см ³	воздухопро- ницаемость	пористость, %	плотность, г/см ³		погреш- ность, %	воздухопро- ницаемость	пористость, %
				эксперимент.	расчетная			
W1 = 12 %								
0	1,126	2450	61,3	1,126	1,126	–	2450	61,3
1	1,372	1050	52,9	1,427	1,444	1,17	358	51,0
2	1,408	650	51,6	1,486	1,496	0,67	219	49,0
3	1,417	440	51,3	1,518	1,507	0,72	156	47,9
4	1,417	376	51,3	1,518	1,507	0,72	128	47,9
W2 = 17 %								
0	1,132	1620	62,8	1,132	1,132	–	1620	62,8
1	1,435	173	52,8	1,568	1,508	3,83	105	48,5
2	1,521	119	50,0	1,644	1,613	1,90	65	46,0
3	1,602	56	47,3	1,684	1,699	0,88	40	44,6
4	1,680	44	44,8	1,713	1,782	3,87	39	43,7
5	1,680	40	44,8	1,713	1,782	3,87	36	43,7