



УДК 631.316.22-26

С.Г. ЩУКИН, кандидат технических наук, заведующий кафедрой,
М.А. НАГАЙКА, старший преподаватель,
В.А. ГОЛОВАТЮК, доцент

Новосибирский государственный аграрный университет
e-mail: shykin.sergei@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ ВИБРАЦИОННЫМ РЫХЛИТЕЛЕМ

Обоснован прием основной безотвальной обработки почвы на глубину до 45 см для современных высокопродуктивных культур. Предложен прием интенсивного разуплотнения структуры обрабатываемой почвы направленным воздействием энергии вибрации, передаваемой рабочими органами. Сравнительная оценка поверхности поля после проходов вибрационного рыхлителя в различных режимах работы, в том числе без вибрации, показала, что использование вибрации рабочих органов позволяет достичь снижения глыбистости и гребнистости при повышении сохранения стерни. Установлено, что использование вибрации рабочих органов позволяет улучшить структуру почвы за счет интенсивного крошения крупных почвенных фракций и увеличения содержания агрономически ценных агрегатов. Определено, что повышение амплитуды колебаний рабочих органов в исследуемом диапазоне приводит к повышению эффективности использования вибрации, в то время как увеличение поступательной скорости движения показывает противоположный эффект. Установлено, что использование вибрации рабочих органов позволяет достичь снижения тягового сопротивления рыхлителя, позволяя повысить его производительность и снизить себестоимость единицы выполненной работы. Применение обработки почвы вибрационным рыхлителем превосходит другие известные приемы глубокой безотвальной обработки.

Ключевые слова: вибрационный рыхлитель, вибровозбудитель, амплитуда, тяговое сопротивление, степень крошения почвы, структура почвы.

Увеличение урожайности стеблелистовой (надземной) части растений сопровождается ростом корневой (подземной) части, что доказано учеными Корнелловского университета и Университета Аризоны, установившими между ними строгую математическую зависимость [1]. При исследовании корневой системы более 1500 гибридов озимой пшеницы выявлено углубленное залегание основной ее части (более 60 %) в слое почвы 0–100 см при максимальной глубине проникновения глубже 2,5 м [2]. Согласно другим данным, основная масса корней высокопродуктивной пшеницы залегает в слое 20–60 см [3], кукурузы – на глубине 30–60 см, хотя много мелких корней проникают на глубину 150–250 см, используя влагу и питательные вещества из нижележащих слоев [4].

Современные представления о глубине основной обработки почвы находят применение при проектировании рабочих органов, о чем свидетельствует анализ серийных орудий зарубежного и дублирующих их отечественного производства, предназначенных для работы на глубину до 45 см. Вспашка на глубину более 35 см не рассматривается в качестве альтернативы глубокому рыхлению, поскольку приводит к замещению чер-

ноземного верхнего горизонта материнской породой. Увеличение глубины основной обработки до 45 см сопряжено с рядом трудностей, в первую очередь увеличением тягового сопротивления орудий и неоднородностью структуры обрабатываемой почвы по глубине. Это связано с высокой плотностью и твердостью нижних слоев почвы. Создание технологий разуплотнения почвы на глубину до 45 см путем образования рациональной структуры корнеобитаемого слоя почвы при снижении энергетических затрат является актуальной научной проблемой.

Один из перспективных путей решения данной проблемы – установка на почвообрабатывающее орудие вибровозбудителя, преобразующего часть энергии двигателя трактора в энергию вибрации рабочих органов, расходуемую на разуплотнение структуры обрабатываемой почвы при снижении тягового сопротивления.

Цель работы – выявить закономерности изменения свойств почвы в зависимости от скорости движения рабочих органов и передаваемой ими энергии вибрации.

Объект исследования – процесс основной безотвальной обработки почвы с использованием энергии вибрации рабочих органов.

Для проведения исследований спроектирован и изготовлен экспериментальный образец вибрационного рыхлителя (ВР) с рабочей шириной захвата 1,8 м, агрегируемый с трактором Т-150К (см. рисунок).

ВР имеет три рабочих органа в виде рыхлительных лап, установленных на раме с шагом 90 см. Технические решения, реализованные на ВР, направлены на снижение энергии вибрации, передаваемой на трактор, поскольку в противном случае она негативно влияет на тракториста. Привод



Экспериментальный вибрационный рыхлитель:

1 – рыхлитель; 2 – вибровозбудитель

вибровозбудителя осуществляется от штатно установленного для работы навесной системы трактора насоса НШ-50 через гидравлические шланги гидромотором ГМШ-32-Л.

Полевые исследования ВР проводили осенью на территориях агробио-полигона Сибирского физико-технического института аграрных проблем и опытном поле Сибирского научно-исследовательского института кормов (Новосибирский район Новосибирской области). Почва опытного поля представлена выщелоченным черноземом, мощность гумусового горизонта которого от 41 до 45 см. Опытное поле в течение трех предшествующих лет засевали по технологии прямого посева яровой пшеницей без основной обработки почвы. Агротехнический фон опытного поля представлен стерней пшеницы.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

По данным исследований [5–7], наибольшее влияние на степень разуплотнения почвы при ее обработке оказывает амплитуда колебаний, зависящая от массы бегунка вибровозбудителя. При проведении полевых опытов в качестве значимых факторов выбраны масса бегунка и поступательная скорость движения глубокорыхлителя. Скорость движения МТА изменяли путем подбора передачи трансмиссии трактора, обеспечивающей прохождение зачетного участка за необходимый промежуток времени. Уровни варьирования факторов представлены в табл. 1.

При проведении опытов определяли следующие агротехнические показатели: плотность, агрегатный состав почвы, сохранение стерни, гребнистость и глыбистость поверхности поля. Определение показателей осуществляли по методикам, изложенным в ГОСТ 20915–2011 [8]. Исследования отобранных в полевых условиях образцов почвы проводили в лаборатории современных проблем экспериментальной агрохимии Новосибирского государственного аграрного университета.

Комплексную оценку структуры обработанной почвы проводили с помощью вычисления коэффициента структурности:

$$K_C = \frac{m_{0,25-10}}{m}, \quad (1)$$

где $m_{0,25-10}$ – масса фракций размером от 0,25 до 10 мм, кг; m – общая масса пробы, кг.

Таблица 1
Уровни варьирования факторов при проведении опытов

Интервал варьирования и уровни факторов	Управляемые факторы	
	Масса бегунка, кг	Скорость движения, км/ч
Нулевой уровень $x_i=0$	6,825	6
Интервал варьирования Δx_i	2,275	3
Нижний уровень $x_i= -1$	4,55	3
Верхний уровень $x_i= +1$	9,1	9
Кодирование фактора	X_1	X_2

Энергетическую оценку процесса разуплотнения почвенной структуры под воздействием энергии вибрации вычисляли в соответствии с ГОСТ Р 52777–2007 [9]. Тяговое сопротивление МТА определяли динамометром ДПУ-5-2-У2.

Экспериментальные данные статистически обработаны по общеизвестным методикам [10, 11].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследованиями вибрационного и импульсного действия рабочих органов на почву выявлено снижение тягового сопротивления вибрационных почвообрабатывающих машин [6, 7]. Нашими исследованиями на скорости 9 км/ч установлено снижение тягового сопротивления за счет вибрации рабочих органов от 28,5 до 24,4 кН (на 14,38 %).

Описывая динамическое воздействие рабочих органов на разуплотнение структуры почвы, исследователи [5–7] отмечали качественное улучшение обработки. Изменяя динамическое воздействие рабочих органов ВР на разуплотняемый почвенный горизонт путем замены бегунка массой 4,55 кг на бегунок массой 9,1 кг, достигнуто улучшение агротехнических показателей обработки почвы (табл. 2).

Изменения агротехнических показателей обработки почвы в различных режимах работы ВР согласуются с данными, полученными в лабораторных исследованиях, определивших зависимость возрастания амплитуды колебаний от увеличения массы бегунка. Увеличение амплитуды колебаний рабочих органов приводит к снижению глыбистости и гребнистости поверхности обработанной почвы, способствуя сохранению стерни. Повышение поступательной скорости движения снижает полезный эффект от динамического воздействия рабочих органов на структуру почвы, однако он всегда превосходит вариант, когда энергия вибрации не используется.

Известно, что комплексным показателем, определяющим плодородие почвы, является ее плотность. Интенсивное использование опытного поля на протяжении трех лет по технологии прямого посева привело к переуплотнению почвы от многократных проходов сельскохозяйственных машин (табл. 3). Стоит согласиться с мнением [12] о необходимости один раз в 3–4 года производить основную безотвальную обработку почвы при возде-

Таблица 2

Агротехнические показатели обработки почвы при различных режимах работы ВР

Режим работы ВР		Агротехнические показатели, %		
Масса бегунка, кг	Скорость движения, км/ч	Глыбистость	Гребнистость	Сохранение стерни
Контроль (без подключения вибровозбудителя)	9	26	21	51
4,55	9	21	20,5	56
4,55	3	14	18	68,5
9,1	9	8	11,5	81
9,1	3	3	8	92

Таблица 3

Плотность обработанной почвы при разных режимах работы ВР, г/см³

Слой, см	Контроль	Без вибрации	Масса бегунка, кг/скорость движения орудия, км/ч			
			4,55/3	4,55/9	9,1/3	9,1/9
0–10	1,38	1,195	1,15	1,16	0,94	0,99
10–20	1,41	1,20	1,16	1,18	0,97	1,05
20–30	1,42	1,19	1,12	1,16	0,96	1,03
30–40	1,35	1,17	1,08	1,10	0,94	1,00

ливании сельскохозяйственных культур по технологиям прямого посева. Это позволит снизить плотность почвы до рационального значения в 1,2 г/см³, о чем свидетельствуют полученные результаты от глубокого рыхления на глубину 45 см без использования энергии вибрации (см. табл. 3). Использование вибрации рабочих органов позволяет повысить эффективность выполнения глубокого рыхления.

Стремление накопить в почве наибольшее количество влаги за осенний и зимний периоды требует создания особых условий для доступа осадков и закрепления их в структуре почвы. Важно отметить, что накопленная в осенний период влага под воздействием низких температур, замерзая, будет увеличивать порозность почвы, выравнивая этот показатель на глубину выполненной обработки.

Для комплексной оценки структуры обработанной почвы определен коэффициент структурности (табл. 4). Увеличение его показывает улучшение структуры почвы путем увеличения в ней содержания агрономически ценных агрегатов размером 0,25–10 мм за счет крошения более крупных фракций. Наилучшая структура почвы сформировалась после использования ВР с бегунком массой 9,1 кг на скорости 3 км/ч (см. табл. 4).

Важно подчеркнуть, что в сравнении с обычным глубоким рыхлением воздействие энергии вибрации избирательно разрушает крупные почвенные фрагменты. При этом наблюдается тенденция к снижению количества пылевидных частиц (табл. 5).

Анализ агрегатного состава почвы, обработанной при разных режимах работы ВР, позволяет выделить режим обработки с бегунком массой 9,1 кг на скорости 3 км/ч как наилучший для формирования структуры почвы. Режим обработки с бегунком массой 9,1 кг на реальной технологической скорости 9 км/ч, используемой при обработке почв под полевые культуры, показывает некоторое снижение качества выполнения рабочего процесса,

Таблица 4

Коэффициент структурности обработанной почвы при разных режимах работы ВР

Слой, см	Контроль	Без вибрации	Масса бегунка, кг/скорость движения орудия, км/ч			
			4,55/3	4,55/9	9,1/3	9,1/9
0–10	0,21	0,26	0,32	0,29	0,40	0,36
10–20	0,23	0,25	0,35	0,31	0,44	0,38
20–30	0,21	0,24	0,38	0,31	0,54	0,44
30–40	0,17	0,23	0,29	0,27	0,39	0,33

Таблица 5

Агрегатный состав обработанной почвы в слое 0–40 см, %

Режим обработки ВР	Величина почвенных агрегатов, мм										
	50–100	20–50	10–20	7–10	5–7	3–5	2–3	1–2	0,5–1	0,25–0,5	Менее 0,25
Величина почвенных частиц в слое 0–40 см до прохода ВР (контроль)	41,51	24,69	12,36	4,59	3,83	2,69	4,25	4,79	0,49	0,44	0,30
Без вибрации	29,58	30,43	14,57	4,56	4,23	3,49	4,84	6,80	0,54	0,51	0,45
Масса бегунка, кг/скорость движения орудия, км/ч:											
4,55/3	16,94	27,53	21,32	6,35	5,42	4,39	6,56	9,89	0,61	0,54	0,40
4,55/9	19,43	28,51	21,51	5,57	4,92	3,88	5,88	8,77	0,53	0,51	0,43
9,1/3	8,675	26,46	19,90	8,09	6,57	4,91	8,54	15,07	0,70	0,73	0,30
9,1/9	12,41	26,53	22,51	8,00	5,62	4,20	7,31	11,62	0,67	0,69	0,38

тем не менее значительно превосходящее результат обработки без вибрации.

Совокупность достигнутых эффектов от обработки почвы ВР на различных режимах позволяет создать наилучшие условия для возделывания зерновых и зернобобовых культур, что является основой получения наибольших урожаев.

ВЫВОДЫ

1. Использование вибрационного рыхлителя для обработки почвы позволяет направленно изменять ее структуру путем варьирования величины энергии вибрации, передаваемой в почву, и скорости движения, создавая лучшие условия для развития возделываемых культур.

2. Степень разуплотнения переуплотненной под воздействием антропогенных факторов почвы увеличивается при повышении амплитуды колебаний и снижается с увеличением поступательной скорости движения рабочих органов.

3. Повышение производительности и снижение себестоимости единицы выполненной работы, вибрационного глубокорыхлителя достигнуто за счет уменьшения тягового сопротивления рабочих органов, передающих в почву энергию вибрации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Enquist B.J., Niklas K.J. Global allocation rules for patterns of biomass partitioning in seed plants [Электронный ресурс]. URL: <http://ent.arp.harvard.edu/sci/climate/journalclub/EnqNik02.pdf>
2. Thomas S. Cox. Prospects for developing perennial grain crops // Bio Science. – 2006. – Vol. 56, N 8. – P. 649–659.
3. Устименко А.С. Корневые системы и продуктивность сельскохозяйственных растений. – Киев: Урожай, 1975. – 368 с.
4. Циков В.С. Кукуруза: технология, гибриды, семена. – Днепропетровск, 2003. – 296 с.

5. **Tabatabackoloor R.** Effect of vibratory and non-vibratory subsoiling on the soil engineering properties // International Conference of Agricultural Engineering CIGR-AgEng. – Valencia, Spain, 2012. – P. 163–168.
6. **Karoonboonyanan R., Salokhe V.M., Niyamapa T., Nakashima H.** Vibration effects on the performance of a single-shank subsoiler // Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal [Электронный ресурс]: URL: <https://dspace.library.cornell.edu/bitstream/1813/10720/1/PM%2007%20018%20Salokhe%20final%2028Sept2007.pdf>
7. **Harrison H.P.** Draft, torque, and power requirements of a simple- vibratory tillage tool // Canadian agricultural engineering. – 1973. – Vol. 15, N 2. – P. 71–74.
8. **ГОСТ 20915–2011.** Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний. – М.: Стандартинформ, 2013. – 23 с.
9. **ГОСТ Р 52777–2007.** Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки. – М.: Стандартинформ, 2008. – 12 с.
10. **Спирidonov A.A** Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. – М.: Машиностроение, 1981. – 184 с.
11. **Адлер Ю.П., Макарова Е.В., Грановский Ю.В.** Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 280 с.
12. **Панов И.М., Ветохин В.И.** Физические основы механики почв. – Киев: Феникс, 2008. – 266 с.

Поступила в редакцию 07.05.2015

**S.G. SHCHUKIN, Candidate of Science in Engineering, Chair Holder,
M.A. NAGAYKA, Senior Lecturer,
V.A. GOLOVATYUK, Associate Professor**

*Novosibirsk State Agrarian University
e-mail: shykin.sergei@mail.ru*

INVESTIGATION OF THE SOIL TILLAGE PROCESS BY VIBRATORY SUBSOILER

There is substantiated a method for subsoil tillage of soil to the depth of up 45 cm to cultivate modern high-yielding agricultural crops. There is proposed a technique for intense decompaction of the soil structure by the directed impact of vibrational energy transmitted by working tools. A comparative evaluation of the field surface after passages of the vibratory subsoiler in various modes of its operation, including non-vibration mode, has shown that the use of tool's vibrations allows reducing lumpiness and ridgeness of tilled soil, while preserving stubble. It has been found that the use of tool's vibrations allows improving the soil structure due to intense crushing of large soil fractions and increasing the content of aggregates of agronomic value. It has been determined that the increase in the amplitude of tool's vibrations within the range investigated results in increased efficiency of the use of vibrations, while the increase in forward speed shows the opposite effect. It has been found that the use of tool's vibrations allows reducing tractive resistance of the subsoiler and improving its performance, thus reducing cost per unit of work done. Soil tillage with the vibratory subsoiler is superior to other well-known techniques of deep subsoil tillage.

Keywords: vibratory subsoiler, vibroexciter, amplitude, tractive resistance, soil crushing degree, soil structure.