

## ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 635.25/26:631.315.2:631.332

DOI: 10.26897/2687-1149-2021-2-9-15

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПЛОТНОСТИ ПОЧВЫ ПОСЕВНОЙ МАШИНЫ**

**ДОРОХОВ АЛЕКСЕЙ СЕМЁНОВИЧ**, член-кор. РАН, докт. техн. наук, главный научный сотрудник  
dorokhov.vim@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>

**СИБИРЁВ АЛЕКСЕЙ ВИКТОРОВИЧ**, канд. техн. наук, старший научный сотрудник  
sibirev2011@yandex.ru

**АКСЕНОВ АЛЕКСАНДР ГЕННАДЬЕВИЧ**, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник

**МОСЯКОВ МАКСИМ АЛЕКСАНДРОВИЧ**✉, канд. техн. наук, старший научный сотрудник  
Maks.Mosyakov@yandex.ru✉

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, дом 5

**Аннотация.** Исследования по разработке системы автоматического контроля прикатывающих рабочих органов направлены на установление достоверностей и аналитических зависимостей, определение качественных показателей работы в реальных условиях прикатывающих рабочих органов посевной машины, проверку закономерностей, полученных в полевых условиях и выявленных теоретическим путем. Исследования по разработке системы автоматического контроля прикатывающих рабочих органов проводились при посеве дражированных семян столовой свеклы сорта «Бордо» на посевном агрегате, состоящем из трактора марки «Беларусь-4235» и машины точного высева «Monopil S15/12». Система автоматического контроля плотности почвы включает в себя основные аппаратно-программные средства: актуаторы поддержания и заглабления прикатывающих рабочих органов, микроконтроллеры, драйвера моторов, бесконтактный ультразвуковой датчик, блок питания и датчик измерения плотности почвы. Представлены результаты исследования по определению плотности почвы при посеве семян столовой свеклы в зависимости от влажности почвы в посевном слое. Описана методика проведения исследований, отображены графические зависимости изменения плотности почвы от глубины заделки семян, получены основные статистические характеристики эксперимента. Разработаны конструктивно-технологическая и функциональная схемы прикатывающего катка с автоматической системой контроля с использованием электронно-управляемых электроцилиндров (линейных актуаторов). Установлены оптимальные параметры линейного привода прикатывающего катка: мощность – 50 Вт, питание – 12 V, ход штока – 200...600 мм, скорость – 10...45 мм/с, нагрузка – 200...900 Н. Экспериментальные исследования показали применимость представленной системы автоматического контроля плотности почвы, обеспечивающей оптимальную плотность семенного ложа 1,3...1,4 г/см<sup>3</sup>. Описанная методика может быть использована при разработке системы контроля плотности почвы при посеве семян других овощных культур.

**Ключевые слова:** прикатывающий каток, посевной слой, свекла столовая, лук, машина для посева, влажность, плотность, почва, многофакторный эксперимент.

*Работа выполнена при государственной поддержке молодых российских ученых – кандидатов наук МК-206.2020.8*

**Формат цитирования:** Дорохов А.С., Сибирёв А.В., Аксенов А.Г., Мосяков М.А. Экспериментальные исследования по разработке автоматизированной системы регулирования плотности почвы посевной машины // Агроинженерия. 2021. № 2 (102). С. 9-15. DOI: 10.26897/2687-1149-2021-2-9-15.

© Дорохов А.С., Сибирёв А.В., Аксенов А.Г., Мосяков М.А., 2021



## ORIGINAL PAPER

**EXPERIMENTAL STUDIES ON THE DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR REGULATING THE SOIL DENSITY USED IN A SEEDING MACHINE**

**ALEKSEI S. DOROKHOV**, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, DSc (Eng), chief researcher

dorokhov.vim@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>

**ALEKSEI V. SIBIRYOV**, PhD(Eng), Senior Researcher

sibirev2011@yandex.ru

**ALEKSANDR G. AKSENOV**, PhD(Eng), Leading Researcher

**MAKSIM A. MOSYAKOV**<sup>✉</sup>, PhD(Eng), Senior Researcher

Maks.Mosyakov@yandex.ru<sup>✉</sup>

Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 109428, Russian Federation, Moscow, 1<sup>st</sup> Institutskiy Proezd Str., Bld 5

**Abstract.** Research on the development of an automatic control system for the rolling-in working units is aimed at establishing the reliability and analytical relationships, determining the quality indicators of work in real conditions of the rolling-in working units of a seeding machine, and checking the patterns obtained in the field and identified theoretically. Research on the development of an automatic control system for the rolling implements was carried out when sowing dragee seeds of table beet of the Bordeaux variety with a seeding unit consisting of a Belarus-4235 tractor and a Monopil S15/12 precision seeding machine. The system for automatic control of soil density includes the main hardware and software: actuators for maintaining and deepening the rolling working units, microcontrollers, motor drivers, a non-contact ultrasonic sensor, a power supply unit and a sensor for measuring soil density. The paper presents the results of a study to determine the soil density when sowing seeds of table beet, depending on the moisture content of the soil in the sowing layer. The authors describe research methodology, provide graphical relationships between changes in soil density and the depth of seeding, and comment on the main obtained statistical characteristics of the experiment. As a result of the study, structural, technological and functional diagrams of a rolling rink with an automatic control system using electronically controlled electric cylinders (linear actuators) have been developed. The optimal parameters of the linear drive of the press roller have been established: power – 50W, power supply – 12V, rod stroke – 200...600 mm, speed – 10...45 mm/s, load – 200...900 N. Experimental studies have shown the applicability of the presented system of the automatic control of soil density, which ensures the optimum density of the seedbed of 1.3...1.4 g/cm<sup>3</sup>. The described technique can be used to develop a soil density control system when sowing seeds of other vegetable crops.

**Key words:** press roller, sowing layer, table beet, onion, sowing machine, moisture, density, soil, multifactor experiment.

*The study was carried out with the state support of young Russian scientists – PhD researchers MK-206.2020.8*

**For citation:** Dorokhov A.S., Sibiryov A.V., Aksenov A.G., Mosyakov M.A. Experimental studies on the development of an automated system for regulating the soil density used in a seeding machine. *Agricultural Engineering*, 2021; 2 (102): 9-15. (In Rus.). DOI: 10.26897/2687-1149-2021-2-9-15.

**Введение.** Получать качественную конкурентоспособную продукцию можно только при использовании современных высокопроизводительных машин, обеспечивающих совмещение технологических операций, в конструкциях которых заложены системы автоматизированного управления технологическими процессами, учёта почвенного плодородия, обеспечения экологической чистоты агроландшафтов [1-3].

В последнее время проводятся интенсивные исследования по совершенствованию средств автоматизации посевных агрегатов с целью повышения качества выполнения процесса высева, повышения точности норм высева и глубины заделки семян в почву. Однако повышение показателей качества посева семян овощных культур в различных почвенно-климатических условиях Российской Федерации невозможно обеспечить без проведения экспериментальных исследований по определению входных параметров разработки систем автоматического контроля.

**Цель исследований** – разработка и обоснование автоматизированной системы регулирования плотности почвы посевной машины с определением количественных значений физико-механических свойств посевного слоя.

**Материал и методы.** Заделка семян овощных культур осуществляется на глубину от 3 до 5 см. Для этого необходимо определить интервалы изменения плотности и влажности почвы на указанной глубине. Рассмотрим наиболее распространённый в Центральной России и Среднем Поволжье тип почвы – выщелоченный чернозем.

В результате прикатывания рыхлая почва уплотняется, восстанавливается ее капиллярность, влага из нижних слоев поднимается вверх, тем самым повышается влажность в зоне укладки семян.

Как отмечает В.Б. Ермилов [4], чем теснее лежат комочки почвы друг к другу, тем быстрее передвигается влага.

Плотное прилегание комочков наиболее просто достигается прикатыванием поля катком. Этот приём создаёт условия для быстрого передвижения воды к семенам, и тем самым обеспечивается для них более благоприятный влажный режим.

Ряд исследователей считает, что оптимальной плотностью посевного слоя почвы является 1,3...1,4 г/см<sup>3</sup> [5-7]<sup>1</sup>.

Вместе с тем над семенами почва должна быть рыхлой (без уплотнения). Как указывает Н.А. Ламан<sup>2</sup>, плотность почвы над семенами должна составлять 0,95...1,00 г/см<sup>3</sup>.

Известно, что величина плотности ( $\rho_{п}$ ) зависит от механического состава, содержания гумуса и пористости почвы, а следовательно, от ее влажности ( $W$ ), так как при ее увеличении происходит повышение массы при неизменном объеме.

Плотность почвы определяется по формуле<sup>3</sup>:

$$\rho_{п} = \frac{m_1}{V}, \quad (1)$$

где  $\rho_{п}$  – плотность почвы, г/см<sup>3</sup>;  $m_1$  – масса высушенного образца почвы, г;  $V$  – объём образца почвы, равный объёму штампа, см<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Давлетшин М.М. и др. Индустриальная технология возделывания сахарной свеклы в Башкирской АССР: Рекомендации. Уфа: Башкирский НИИСХ, 1983. 46 с.

<sup>2</sup> Алексейчук Г.Н., Ламан Н.А. Физиологическое качество семян сельскохозяйственных культур и методы его оценки. Минск: Право и экономика, 2005. 48 с.

<sup>3</sup> Горячкин В.П. Собрание сочинений: В 3-х т. / В.П. Горячкин. М.: Колос, 1968. 720 с.

Следовательно, необходимо определить функциональную зависимость плотности почвы от влажности.

Исследования по определению плотности почвы в начале, середине и в конце учётной делянки до посева и после при её соответствующей влажности проведены в 2020 г. в условиях Пензенской области на базе ИП «Бодягин В.И.».

Выбор в качестве критерия оптимизации при проведении исследований плотности почвы обусловлен состоянием оптимального уплотненного ложа на глубине посева семян 3...5 см, соответствующей значению  $\rho_{п} = 1,3...1,4$  г/см<sup>3</sup>, при которой обеспечиваются оптимальные условия прорастания семян.

Предпосевная обработка почвы – культивация на глубину до 10 см с одновременным боронованием (рис. 1).



**Рис. 1. Предпосевная обработка почвы:**  
1 – трактор Т-150 К; 2 – культиватор пассивный

**Fig. 1. Presowing soil cultivation:**  
1 – tractor T-150 K; 2 – passive cultivator

Для определения влажности почвы её разрезали вертикально на глубину 15...20 см. Взятие образцов почвы со дна борозды осуществлялось с помощью специального бура (рис. 2а). Вдавленный в почву бур проворачивался несколько раз и затем вынимался, лишняя часть почвы срезалась ножом вровень с краями стакана бура (рис. 2б).

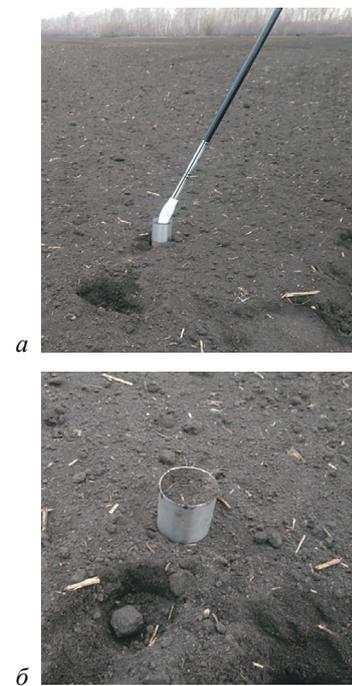
Пробу образца почвы брали с каждого горизонта, при этом стакан бура отворачивался, закрывался крышкой и перекладывался в бокс с крышкой. Взвешивание образцов производилось на электрических весах «Ohaus» с точностью  $\pm 0,02$  г. После взвешивания бокс с исследуемым образцом почвы помещали в сушильный шкаф ШСУ М, где в течение 8 ч выдерживали при температуре  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  до достижения постоянной массы<sup>4</sup>.

После этого в соответствии с методикой определения физических свойств почвы образцы подвергались контрольной сушке в течение 2 ч с последующим взвешиванием до тех пор, пока разница в весе образцов между двумя просушками не составила менее 0,05 г<sup>4</sup>.

Агрегат для посева дражированных семян столовой свеклы сорта «Бордо» состоял из трактора марки «Беларусь-4235» и машины точного высева «Monopil S15/12» (рис. 3).

Сошниковая секция посевной машины представлена бороздораскрывающим рабочим органом – двухдисковым сошником, заделывающие рабочие органы представлены прикатывающими катками (рис. 4).

<sup>4</sup> Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.



**Рис. 2. Отбор проб определения плотности:**  
а – бур; б – стакан бура

**Fig. 2. Sampling for density determination:**  
а – drill; б – drill cup



**Рис. 3. Посевной агрегат (вид сбоку):**  
1 – трактор «Беларусь – 4235»;  
2 – посевная машина «Monopil S15/12»

**Fig. 3. Seeder unit (side view):**  
1 – tractor “Belarus-4235”;  
2 – seeding machine “Monopil S15/12”



**Рис. 4. Сошниковая секция посевной машины «Monopil S15/12»:**  
1 – двухдисковый сошник; 2 – прикатывающие катки

**Fig. 4. Coulter section of the sowing machine “Monopil S15/12”:**  
1 – double-disc opener; 2 – press rollers

**Результаты и обсуждение.** Показатели влажности и плотности почвы по горизонтам приведены соответственно в таблицах 1, 2.

Зависимость плотности почвы от влажности почвы представлена на рисунке 5.

Корреляционная связь между плотностью почвы до ( $\rho_{п1}$ ) и после ( $\rho_{п2}$ ) посева в зависимости от влажности ( $W$ ) посевного слоя выражается уравнением параболических функций:

$$\begin{cases} \rho_{п1} = 0,27 + 0,11 \cdot W - 0,002 \cdot W^2, \\ \rho_{п2} = 0,95 + 0,06 \cdot W - 0,002 \cdot W^2. \end{cases} \quad (2)$$

Таблица 1

**Влажность почвы по горизонтам, %**

Table 1

**Soil moisture along the horizons, %**

Номер опыта <i>Experiment number</i>	Горизонт почвы, м / <i>Soil horizon, m</i>				
	0...0,01	0,01...0,02	0,02...0,03	0,03...0,04	0,04...0,05
1	13,4	21,6	24,4	26,4	26,2
2	17,6	22,4	26,9	26,2	26,1
3	16,2	24,3	27,3	26,3	26,4
<b>Среднее значение</b> <i>Mean value</i>	15,7	22,7	26,2	26,3	26,2

Таблица 2

**Плотность почвы по горизонтам (до посева), г/см<sup>3</sup>**

Table 2

**Soil density along the horizons (before sowing), g/cm<sup>3</sup>**

Номер опыта <i>Experiment number</i>	Горизонт почвы, м / <i>Soil horizon, m</i>				
	0...0,01	0,01...0,02	0,02...0,03	0,03...0,04	0,04...0,05
1	0,71	0,86	0,85	0,91	0,91
2	0,68	0,85	0,86	0,93	0,93
3	0,73	0,85	0,87	0,94	0,90
<b>Среднее значение</b> <i>Mean value</i>	0,70	0,85	0,86	0,92	0,91

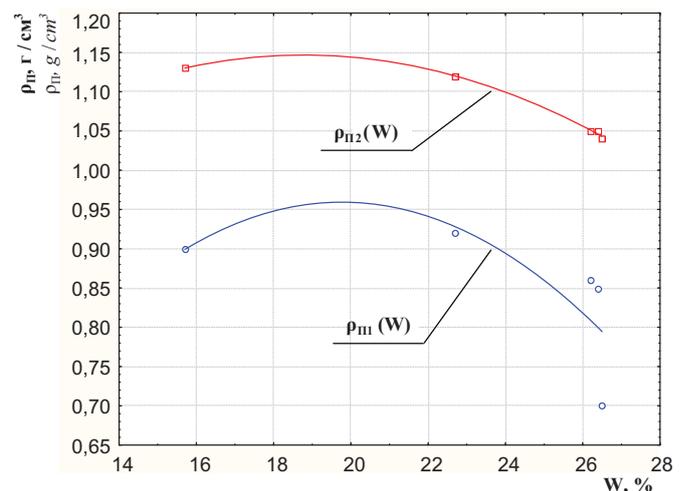
Для автоматизированного выполнения технологической операции регулирования силового воздействия прикатывающих катков на посевной слой почвы наиболее подходящим является использование электронно-управляемых электроцилиндров (линейных актуаторов), закрепленных на раме, что обеспечивается вертикальным перемещением штока электроцилиндра (рис. 6).

Для выполнения функциональной зависимости (2) необходимо, чтобы ход  $S_1$  штока 1 электроцилиндра 2 (рис. 6) обеспечивал силовое воздействие прикатывающих рабочих органов 3 на слой почвы  $\rho_{п1} = 1,3...1,4$  г/см<sup>3</sup> при изменении ее влажности  $W = 14...26\%$  в соответствии с графической зависимостью, представленной на рисунке 5.

В связи с тем, что процесс уплотнения почвенного слоя происходит после предпосевной обработки почвы, то примем допущение, что размер почвенной частицы имеет бесконечно малый диаметр, величиной которого можно пренебречь:

$$d_{к.п.} = 0. \quad (3)$$

Данное обстоятельство обусловлено тем, что для надежного защемления комков почвы между ободом прикатывающего катка и поверхностью почвы угол защемления (угол контакта прикатывающего катка с комками почвы) был меньше или равен сумме углов трения материала.

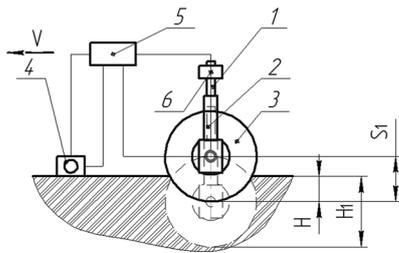


**Рис. 5. Зависимость плотности ( $\rho_{п}$ , г/см<sup>3</sup>) почвы от ее влажности ( $W$ , %):**

$\rho_{п1}$  – плотность почвы перед посевом;  
 $\rho_{п2}$  – плотность почвы после посева дражированных семян столовой свеклы сорта «Бордо»

**Fig. 5. Relationship between soil density ( $\rho_{п}$ , g/cm<sup>3</sup>) and its moisture content ( $W$ , %):**

$\rho_{п1}$  – soil density before sowing;  
 $\rho_{п2}$  – soil density after sowing coated seeds of table beet “Bordeaux”



**Рис. 6. Схема изменения вертикального перемещения прикатывающих рабочих органов посевной машины:**

- 1 – шток электроцилиндра; 2 – электроцилиндр;  
3 – прикатывающий рабочий орган;  
4 – датчик плотности почвы прецизионный;  
5 – микроконтроллер;  
6 – реле ограничения подъёма штока электроцилиндра

**Fig. 6. Diagram of the change in the vertical movement of the working units of a seeding machine:**

- 1 – electric cylinder rod; 2 – electric cylinder;  
3 – rolling-in working unit;  
4 – precision soil density sensor; 5 – microcontroller;  
6 – relay for limiting the rise of the rod of the electric cylinder

При данном условии прикатывающий рабочий орган будет эффективно подминать под себя комки почвы и раздавливать их. В противном случае прикатывающий каток толкает почвенные комки перед собой.

Для определения расстояния  $S_1$  воспользуемся рисунком 6, из которого следует, что

$$S_1 = \frac{\pi \cdot R_{\text{п.о.}} \cdot \alpha}{180^\circ \cdot H \cdot \cos(\varphi_1 + \varphi_2)} \cdot H_1, \quad (4)$$

где  $R_{\text{п.о.}}$  – радиус прикатывающего рабочего органа, м;  $H$  – глубина смятия (заделки) почвы, м;  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  – коэффициенты трения комка почвы о прикатывающий рабочий орган и почвы о почву соответственно.

Считается возможным рассматривать почвенную среду как линейно деформируемую. Однако, по мнению Е.С. Зыкина, В.И. Курдюмова, В.А. Милюткина, Ю.Я. Цапенко, Я.М. Щелокова, данное допущение справедливо при небольших величинах смятия почвы (0,03...0,04 м), поэтому зависимость между деформацией почвы и нагрузкой на каток определяется зависимостью:

$$H = \frac{\sigma}{q}, \quad (5)$$

где  $q$  – коэффициент объёмного смятия почвы, Н/м<sup>3</sup>;  $\sigma$  – напряжение смятия почвы, Н/м<sup>2</sup>.

На эксплуатационные показатели линейного актуатора влияет множество факторов, характерных для области применения.

Наиболее важными факторами для оценки и подбора линейных приводов разрабатываемого агрегата являются усилие втягивания и толкания, статическая и динамическая грузоподъёмность, скорость, длина хода, продолжительность включения и ресурс.

Две основные характеристики привода, определяющие его мощность, – это создаваемое усилие (полезная нагрузка) и скорость перемещения выходного звена (штока актуатора).

Скорость перемещения штока актуатора зависит от прилагаемой нагрузки и типа используемого двигателя.

При этом величина силы тока зависит от мощности привода. Линейные актуаторы рассчитаны на прерывистую работу. Продолжительность включения и коэффициент использования определяют максимальный период времени работы привода без остановки. Коэффициент использования определяется как количество времени работы под нагрузкой против общей продолжительности включения. Если коэффициент использования превышен, то линейный актуатор может перегреться и выйти из строя.

Допустимая для актуаторов постоянного тока нагрузка при конкретном коэффициенте использования выражается в процентах от максимальной динамической грузоподъёмности:

$$K_{\text{исп}} = \frac{N}{(N + R)} \cdot 100\%, \quad (6)$$

где  $N$  – время работы под нагрузкой, с;  $R$  – период остановки, с;  $(N + R)$  – общая продолжительность рабочего цикла, с.

Если актуатор поддержания заданного расстояния между индукторами и растениями работает по такому циклу, как: 5 сек. – работа; 5 сек. – пауза; 5 сек. – работа; 5 сек. – пауза и т.д., – то коэффициент использования для этого рабочего цикла составит:

$$K_{\text{исп}} = \frac{5 + 5}{(5 + 10) + (5 + 10)} \cdot 100\% = 33,3\%.$$

Ресурс работы актуатора зависит от нагрузки, длины хода и того, насколько часто срабатывает предохранительная муфта.

Для расчёта базового номинального ресурса  $L_H$  актуатора достаточно знать динамическую нагрузку и фактический ход штока:

$$L_H = \frac{500000 \cdot p}{S} \cdot \left( \frac{C^3}{F} \right), \quad (7)$$

где  $p$  – шаг винта, мм;  $C$  – базовая динамическая грузоподъёмность, Н;  $S$  – ход штока, мм;  $F$  – средняя кубическая нагрузка, мм.

В большинстве случаев величина нагрузки на актуаторы является непостоянной. Для подсчета эквивалентной нагрузки необходимо определить среднюю, постоянно действующую нагрузку  $F$ :

$$F = \sqrt[3]{\frac{F_1^3 \cdot S_1 + F_2^3 \cdot S_2 + F_3^3 \cdot S_3 + F_n^3 \cdot S_n}{S_1 + S_2 + S_3 + S_n}}, \quad (8)$$

где  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  – кубическая нагрузка, Н;  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  – ход штока, мм.

Таким образом, установлены оптимальные параметры линейного привода пруткового элеватора: мощность – 50 Вт, питание – 12 V, ход штока – 200...600 мм, скорость – 10...45 мм/с, нагрузка – 200...900 Н.

Электроцилиндры с вышеуказанными параметрами обеспечивают регулировку «Подъём-опускание» рабочих органов массой до 300 Н на 300 мм. Однако для программирования микроконтроллера 5 разрабатываемой системы автоматического контроля плотности почвы при посеве необходимо иметь информацию, касающуюся зависимости перемещения штока 1 электроцилиндра 2 плотности посевного слоя, образуемой прикатывающими рабочими органами 3 погружением на глубину  $H$  (рис. 6).

Таким образом, для обеспечения оптимального значения плотности почвы в посевном слое  $\rho_{п} = 1,3 \dots 1,4 \text{ г/см}^3$  в интервале влажности  $W = 14 \dots 26\%$  необходимо, чтобы силовое воздействие  $F_{ц}$  электроцилиндра 3 на прикатывающие катки 4 коррелировалось в соответствии с изменением влажности почвы, которая определяет значение плотности почвы, в соответствии с выражением (2) то есть необходимо обеспечить выполнение функциональной зависимости:

$$F_{ц} = H = f(\rho_{п}) = f(W). \quad (9)$$

Для определения данной зависимости были проведены экспериментальные исследования, методика проведения которых заключается в осуществлении взаимодействия прикатывающих катков с почвой (рис. 7) при их глубине хода от 0,01 до 0,06 м с шагом 0,01 м и образованием уплотненных борозд клиновидной формы.

Глубина погружения прикатывающих катков  $l$  в почву осуществлялась угловым перемещением кронштейна 2 крепления катков по отверстию 3 с фиксацией болтовым соединением 4.

Исследования проводились с целью определения зависимости плотности  $\rho_{п}$  почвы посевного слоя от глубины  $H$  установки прикатывающих катков.

На каждой глубине  $H$  определялась плотность почвы в соответствии с представленной выше методикой определения плотности почвы до и после прохода машины для посева.

При проведении экспериментальных исследований опытная зависимость определялась по семи точкам с 3-кратной повторностью проведения опытов в каждой точке.

Опытные данные аппроксимировались функцией:

$$\rho_{п} = 1,22 + 6,71 \cdot H - 66,07 \cdot H^2. \quad (10)$$

Результаты данных исследований представлены в таблице 3, а также в виде графической зависимости на рисунке 8.

Значение критерия Фишера  $F_1$  при 5%-ном уровне значимости для полученного уравнения равно 2,1. Расчетное значение критерия Фишера  $F = 1,97$ . Ввиду того, что  $F_1 = 2,1 > F = 1,97$ , получаем адекватную математическую модель.

Таким образом, получены результаты экспериментальных исследований по определению плотности поверхностного слоя почвы в зависимости от глубины погружения прикатывающих катков, плотности почвы по горизонтам до и после посева без изменения глубины погружения прикатывающих катков, разработаны конструктивно-технологическая и функциональная схемы прикатывающего катка с автоматической системой контроля.

Таблица 3

**Плотность поверхностного слоя почвы в зависимости от глубины погружения прикатывающих катков**

Table 3

**The density of the soil surface layer depending on the penetration depth of press rollers**

№	Глубина погружения прикатывающих катков в почву $H$ , м <i>Penetration depth of press rollers in the soil <math>H</math>, m</i>	Плотность поверхностного слоя почвы $\rho_{п}$ , г/см <sup>3</sup> <i>Density of the soil surface layer <math>\rho_{п}</math>, g/cm<sup>3</sup></i>
1	0,01	1,29
2	0,02	1,33
3	0,03	1,37
4	0,04	1,39
5	0,05	1,40
6	0,06	1,39
7	$\sigma$	0,030678

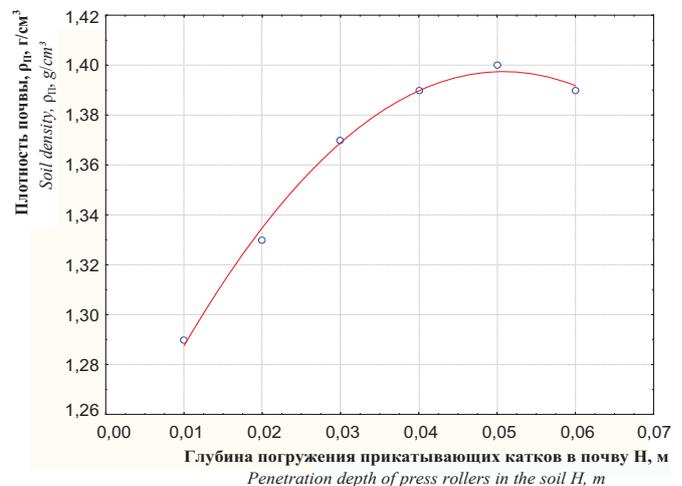


**Рис. 7. Изменение глубины погружения прикатывающих катков в почву:**

- 1 – прикатывающий каток; 2 – кронштейн крепления;
- 3 – отверстие угловое; 4 – соединение болтовое

**Fig. 7. Changing the penetration depth of press rollers in the soil:**

- 1 – press roller; 2 – mounting bracket;
- 3 – corner hole; 4 – bolt-joint



**Рис. 8. Экспериментальные данные по определению плотности поверхностного слоя почвы**

**Fig. 8. Experimental data for determining the density of the soil surface layer**

## Выводы

1. Система автоматического контроля плотности почвы позволяет обеспечить на глубине посева семян (3...5 см) оптимальную плотность семенного ложа  $\rho_{\text{п}} = 1,3 \dots 1,4 \text{ г/см}^3$ .
2. Экспериментальные исследования при посеве семян столовой свеклы сорта «Бордо» показали применимость

## Библиографический список

1. Алдошин Н.В. Моделирование качества выполнения механизированных работ // Горячкинские чтения: Сборник докладов 1-й Международной научно-практической конференции. 2013. С. 6-13.
2. Башкирцев В.И., Алдошин Н.В. Обеспечение качества механизированных работ при эксплуатации сельскохозяйственной техники. М.: ФГБОУ ДПО РИАМА, 2017. 96 с.
3. Лобачевский Я.П. Машинная технология производства лука: Монография / Я.П. Лобачевский, П.А. Емельянов, А.Г. Аксенов и др. М.: ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2016. 168 с.
4. Ермилов В.Б. Мелиоративные приемы повышения урожайности многолетних трав и плодородия почвы при залужении лиманов Заволжья: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Саратов, 1997. 23 с.
5. Зыкин Е.С., Курдюмов В.И., Ерошкин А.В. Исследование процесса формирования вторичного гребня почвы при уходе за посевами пропашных культур // Наука в центральной России. 2016. № 1 (19). С. 29-37.
6. Егорченков А.И., Сигута А.И. Влияние формы корнеобитаемого слоя на рост корней сои на маломощных переувлажняющихся почвах // Земледелие. 1971. № 11. С. 25-29.
7. Гайдуков В.А., Улахович В.Е. Влияние конструктивных параметров прикатывающего катка на плотность почвы семенного ложа // Актуальные проблемы механизации сельскохозяйственного производства. Ч. 1. Горки, 2001. С. 51-54.

## Критерии авторства

Дорохов А.С., Сибирёв А.В., Аксенов А.Г., Мосяков М.А. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели эксперимент и подготовили рукопись. Дорохов А.С., Сибирёв А.В., Аксенов А.Г., Мосяков М.А. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 04.10.2020 г.

Одобрена после рецензирования 12.03.2021 г.

Принята к публикации 15.03.2021 г.

представленной системы автоматического контроля плотности почвы.

3. Алгоритм получения экспериментальных данных для данной системы может быть использован для аналогичных исследований по разработке системы для контроля плотности почвы при посеве семян других овощных культур: лука, моркови, укропа, огурцов, томата и др.

## References

1. Aldoshin N.V. Modelirovanie kachestva vypolneniya mekhanizirovannykh работ [Modeling the quality of mechanized operations]. *Goryachkinskie chteniya: Sbornik dokladov 1-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, 2013: 6-13. (In Rus.)
2. Bashkirtsev V.I., Aldoshin N.V. Obespechenie kachestva mekhanizirovannykh работ pri ekspluatatsii sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Assuring the quality of mechanized operations performed by agricultural machinery]. Moscow, FGBOU DPO RIAMA, 2017: 96. (In Rus.)
3. Lobachevskiy Ya.P., Emel'yanov P.A., Aksenov A.G. et al. Mashinnaya tekhnologiya proizvodstva luka: Monografiya [Machine technology for onion production: Monograph]. Moscow, FGBNU FNATS VIM, 2016: 168. (In Rus.)
4. Ermilov V.B. Meliorativnie priemy povysheniya urozhaynosti mnogoletnikh trav i plodorodiya pochvy pri zaluzhenii limanov Zavolzh'ya: Avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk [Reclamation techniques for increasing the yield of perennial grasses and soil fertility during the grasslanding of estuaries of the Trans-Volga region: Self-review of PhD (Ag) thesis]. Saratov, 1997: 23. (In Rus.)
5. Zykin E.S., Kurdyumov V.I., Eroshkin A.V. Issledovanie protsessa formirovaniya vtorichnogo grebnya pochvy pri ukhode za posevami propashnykh kul'tur [Study of the formation of a secondary soil ridge when cultivating row crops]. *Nauka v tsentral'noy Rossii*, 2016; 1 (19): 29-37. (In Rus.)
6. Egorchenkov A.I., Siguta A.I. Vliyanie formy korneobitaемого sloya na rost korney soi na malomoshchnykh pereuvlazhnyayushchikhsya pochvakh [Influence of the shape of the root layer on the growth of soybean roots on thin waterlogged soils]. *Zemledelie*, 1971; 11: 25-29. (In Rus.)
7. Gaydukov V.A., Ulakhovich V.E. Vliyanie konstruktivnykh parametrov prikatyvayushchego katka na plotnost' pochvy semennogo lozha [Influence of the roller design parameters on the soil density of a seed bed]. *Aktual'nye problemy mekhanizatsii sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva. Part 1*. Gorki, 2001: 51-54. (In Rus.)

## Contribution

A.S. Dorokhov, A.V. Sibiriyov, A.G. Aksenov, M.A. Mosyakov performed theoretical studies, and based on the results obtained, generalized the results and wrote a manuscript. A.S. Dorokhov, A.V. Sibiriyov, A.G. Aksenov, M.A. Mosyakov have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

## Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received 04.10.2020

Approved after reviewing 12.03.2021

Accepted for publication 15.03.2021