

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, РАСТЕНИЕВОДСТВО

Научная статья

УДК 631.3-1/9:631.67:633.34

doi: 10.31774/2712-9357-2022-12-3-193-209

Теоретические исследования жесткости пружины разработанной секции сеялки при посеве семян сои на орошении

Виталий Алексеевич Цепляев¹, Абдулвагаб Магомедович Магомедов²,
Алексей Николаевич Цепляев³

^{1, 2}Волгоградский государственный аграрный университет, Волгоград,

Российская Федерация

³Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия,
Волгоград, Российская Федерация

¹volgau@volgau.com

²vagabmagomedov@mail.ru

³can_volgau@mail.ru

Аннотация. Цель: совершенствование агротехнологии возделывания сельскохозяйственных культур на орошаемых землях путем разработки секций сеялки для посева сои с одновременным внесением гранул гидрогеля, способного аккумулировать влагу из почвы и отдавать растениям в засушливый период. Внесение гранул гидрогеля способствует снижению риска гибели растений в засушливых условиях, а также увеличивает межполивной период. **Материалы и методы.** Использованы общепринятые методы, и выполнены теоретические и натурные исследования влияния жесткости пружины на устойчивость хода ползовидного сошника разработанной секции сеялки. **Результаты.** Изготовленные устройства секций к сеялке позволяют при посеве сои одновременно вносить гранулы гидрогеля, обогащенные влагой, и способствуют снижению риска гибели растений в засушливых условиях, а также увеличивают межполивной период. Обеспечение постоянной глубины посева семян и внесения гранул регулируется колебанием ползовидного сошника в продольно-вертикальной плоскости при выполнении операции путем изменения натяжения пружины секции сошника. Степень натяжения пружины обеспечивает устойчивое положение всей системы и, соответственно, постоянную глубину посева семян и внесения гидрогеля. Было получено уравнение для расчета жесткости пружины, применяемой в конструкции. **Выводы.** В результате теоретических исследований получено уравнение необходимого натяжения пружины с жесткостью в диапазоне от 50 до 60 Н/см, при котором обеспечивается выполнение технологического процесса и соблюдение агротехнологических требований при посеве сои и внесении гидрогеля с учетом плотности почвы, через реакцию сопротивления, а также геометрические параметры сошника.

Ключевые слова: секция сеялки, посев на орошении, глубина посева, глубина внесения, гранулы гидрогеля, сошник, жесткость пружины, посев сои

Для цитирования: Цепляев В. А., Магомедов А. М., Цепляев А. Н. Теоретические исследования жесткости пружины разработанной секции сеялки при посеве семян сои на орошении // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 3. С. 193–209. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-3-193-209>.

GENERAL AGRICULTURE, CROP SCIENCE

Original article

Theoretical studies of spring stiffness of the developed seeder unit when sowing soybean seeds under irrigation

Vitaly A. Tseplyaev¹, Abdulvagab M. Magomedov², Aleksey N. Tseplyaev³

^{1, 2}Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russian Federation

³All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture, Volgograd, Russian Federation

¹volgau@volgau.com

²vagabmagomedov@mail.ru

³can_volgau@mail.ru

Abstract. Purpose: the improvement of the agricultural technology of crop farming on irrigated lands by developing seeder units for soybeans sowing with the simultaneous application of hydrogel granules that can accumulate moisture from soil and give it to plants during the dry period. The hydrogel granules application helps to reduce the risk of plant death under arid conditions, and also increases the inter-irrigation period. **Materials and methods.** Generally accepted methods were used, and theoretical and field studies of the influence of spring stiffness on the stability of the runner coulter of the developed unit of the seeder were carried out. **Results.** The manufactured units for the seeder allow to introduce simultaneously hydrogel granules enriched with moisture, and help reduce the risk of plant death in dry conditions, when sowing soybeans and also increase the inter-irrigation period. Ensuring a constant depth of sowing seeds and applying granules is regulated by the fluctuation of the skid-shaped coulter in the longitudinal-vertical position during the operation by changing the spring tension of the opener unit. The degree of spring tension ensures a stable position of the entire system and, accordingly, a constant depth of sowing seeds and hydrogel application. An equation for spring stiffness calculation used in the structure was obtained. **Conclusions.** As a result of theoretical studies, an equation for the required spring tension with a stiffness in the range from 50 to 60 N/cm was obtained, which ensures the implementation of the technological process and compliance with agro-technological requirements when sowing soybeans and applying hydrogel, taking into account soil density, through the reaction of resistance, as well as the geometric parameters of the coulter.

Keywords: seeder unit, sowing under irrigation, sowing depth, application depth, hydrogel granules, coulter, spring stiffness, soybean sowing

For citation: Tseplyaev V. A., Magomedov A. M., Tseplyaev A. N. Theoretical studies of spring stiffness of the developed seeder unit when sowing soybean seeds under irrigation. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2022;12(3):193–209. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-3-193-209>.

Введение. Получение высокого урожая возделываемой сельскохозяйственной культуры возможно только при сочетании всех необходимых для роста и развития факторов, одним из которых является обеспечение растения влагой в достаточном количестве [1]. При недостатке влаги в почве процессы роста и развития замедляются, а при ее острой нехватке растение может погибнуть [2, 3]. Повышенная концентрация удобрений в почве

при недостаточной влагообеспеченности может привести к замедленной динамике развития корневой системы растения.

Соя – однолетняя бобовая сельскохозяйственная культура, главным преимуществом которой является выращивание на любом типе почвы [4]. Соя – влаголюбивая и светолубивая культура, поэтому участки поля, на которых выращивается соя, должны быть хорошо освещены. Основным фактором, влияющим на урожайность сои, является влага [5]. При недостаточном поливе происходит снижение уровня хлорофилла, что в свою очередь приводит к снижению таких параметров, как скорость фотосинтеза, скорость испарения, и коэффициента использования воды [6]. Дефицит влаги вызывает у сои стресс, что приводит к осыпанию бобов и увяданию самого растения, так как бобы не могут должным образом усвоить сахарозу. Даже небольшое снижение влажности почвы оказывает отрицательное влияние на растение и в последующем существенно снижает урожайность [7]. Общий объем воды для выращивания сои составляет не менее 3000 м³/га [8].

Применение орошения позволяет обеспечить растение достаточным количеством влаги и тем самым увеличить урожайность. Существуют различные виды систем орошения, обладающие определенными преимуществами и недостатками. Важную роль при применении орошения играет водообеспеченность и водоотдача [9]. Исследования проводились при капельном орошении на землях ВолГАУ при использовании дождевальная машины ВНИИОЗ. Применение гранул гидрогеля при возделывании сельскохозяйственных культур на орошении – весьма актуальный и своевременный прием, особенно в условиях сухого земледелия [10]. Гидрогель является водосорбирующим сополимером, позволяющим накапливать влагу при ее избытке, а в последующем подпитывать корневую систему растений [11, 12]. Гранулы гидрогеля впитывают влагу и разбухают. При этом взаимодействие растения с гранулами заключается в том, что при внесении гидрогеля в поч-

ву корни растения будут стремиться к источнику влаги, накопленной гранулами, «пронизывать» гранулы и подпитываться влагой.

Кроме того, гранулы гидрогеля способствуют регулированию влажности почвы: при перенасыщении влагой почвы они будут впитывать излишнюю влагу, что благотворно скажется на культурах, для которых нежелателен избыток влаги. Накопление в гранулах снижает испаряемость влаги, способствуя сохранению ее в слоях почвы, значимых для корневой системы растений.

Однако лучшее использование сополимеров корневой системой растений может быть при их обогащении жидкими удобрениями [13]. Использование гранул гидрогеля с выращиванием сои на орошении позволяет снизить расход воды, увеличить межполивной период и способствует получению высокого урожая (до 8 т/га) [14]. Этот прием снижает затраты труда при выращивании сельскохозяйственных культур на орошении [15].

Глубина посева семян напрямую влияет на урожайность культуры. В конструкции сеялки предусмотрена предварительная регулировка глубины посева семян. Однако вследствие неровностей рельефа поля и физико-механических свойств почвы показатель глубины в ходе работы изменяется. В результате семена могут быть расположены как выше, так и ниже требуемой для культуры определенной глубины посева. При нарушении агротехнологических требований семена могут располагаться в верхнем сухом слое почвы и не дать всходов. При глубокой заделке всходы семян будут ослабленными и легче поддаются негативному влиянию сорняков [16].

Нами была разработана секция сеялки для посева семян сои на орошении одновременно с внесением обогащенных гранул гидрогеля. В разработанной конструкции имеется модернизированный полозовидный сошник с двумя установленными пятами для посева семян и внесения гранул. Пята для внесения гранул имеет возможность дополнительной регулировки по глубине внесения относительно пяты для посева семян и жестко закреп-

ляется фиксирующими болтами. Ее располагают ниже уровня заделки семян для использования обогащенного, насыщенного влагой гидрогеля корнями растений [17].

Для проведения производственных испытаний разработанные секции были установлены на сеялку УПС-8 (рисунок 1).



Рисунок 1 – Общий вид сеялки УПС-8 с установленными на ней двумя разработанными секциями (автор фото А. М. Магомедов)

Figure 1 – General view of the UPS-8 seeder with two developed units installed on it (photo by A. M. Magomedov)

Пружина, расчет жесткости которой представлен в статье, изображена на рисунке 2.

Цель исследований – совершенствование агротехнологии возделывания сельскохозяйственных культур на орошаемых землях путем разработки секций сеялки для посева сои с одновременным внесением гранул гидрогеля, способного аккумулировать влагу из почвы и отдавать растениям в засушливый период.

Материалы и методы. Выполнены теоретические и натурные исследования влияния жесткости пружины на устойчивость хода полозovidного

сошника разработанной секции сеялки с использованием общепринятых методик.

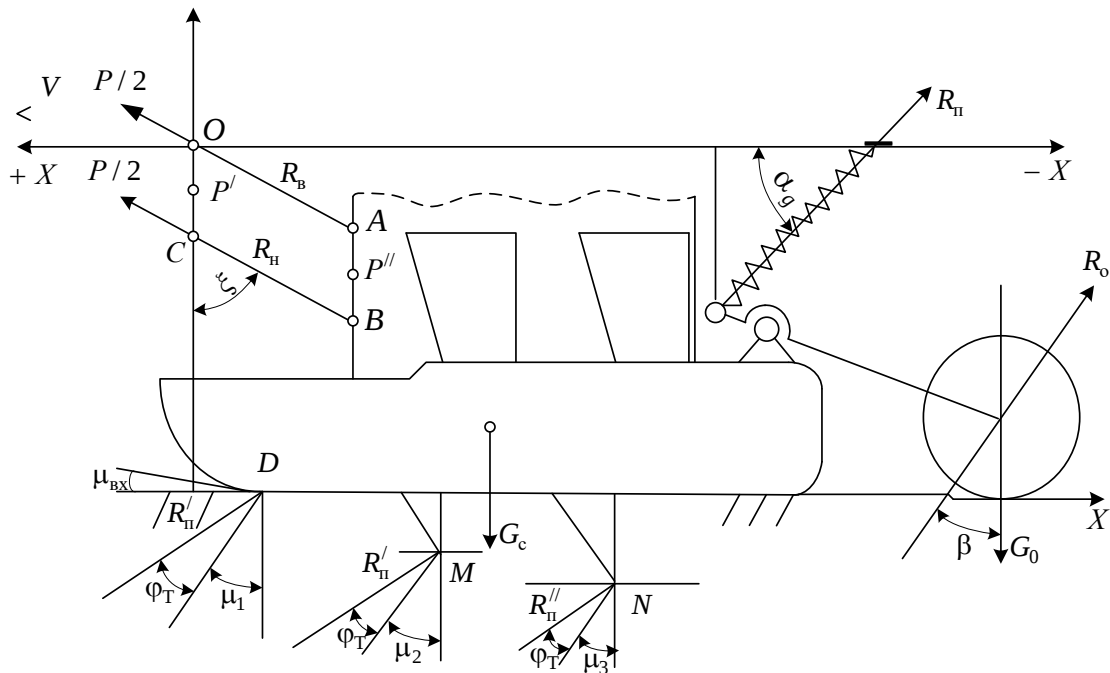


Рисунок 2 – Общий вид конструкции пружины для устойчивого хода сошника (автор фото А. М. Магомедов)

Figure 2 – General view of spring design for a coulter stable running (photo by A. M. Magomedov)

Одним из агротехнологических требований к сеялкам является одинаковая и соответствующая требованиям глубина посева семян и соответственно заделки гранул [18]. Для обеспечения устойчивого хода сошника разработанной секции при работе в конструкции сеялки предусмотрена пружина, обеспечивающая соответствующее равномерное заглубление. При работе сеялки возникают колебания в продольно-вертикальной плоскости. Следует учитывать, что секция сеялки с полозовидным сошником со встроенными в него двумя пятнами крепится к раме сеялки с помощью параллелограммного крепления [19]. Такое крепление обеспечивает заданную глубину посева семян, заделки гидрогеля, а также устойчивое движение секции в продольно-вертикальной плоскости [20, 21].

Результаты и обсуждения. Рассмотрим схему секции сеялки с сошником, оборудованным двумя пятнами, смонтированным на секцию сеялки, закрепленную на раме сеялки, параллелограммным механизмом, изображенную на рисунке 3.



ξ – угол наклона звена, град; μ_1, μ_2, μ_3 – углы входа пят сошника и его лезвия в почву, град; ϕ_T – углы трения лезвия и пят сошника о почву, град; $P = \frac{P}{2} + \frac{P}{2}$ – суммарная сила тяги в верхнем и нижнем звеньях, Н; β – угол смятия почвы уплотнительным катком при перекачивании, град; G_c – сила тяжести сошника, Н; P_n – сила от действия пружины, Н; G_0 – сила тяжести уплотнителя, Н; R_n, R_n', R_n'' – реакции со стороны почвы: на лезвие сошника, пату для семян и гидрогеля соответственно, Н; R_0 – реакция сопротивления со стороны почвы на опорный каток, Н; R_n, R_b – реакции в звеньях нижнего и верхнего параллелограмма, Н; α_g – угол установки демпфера (пружины), град; P', P'' – полюса; μ_{BX} – угол вхождения сошника в почву, град

ξ – the unit tilt angle, degrees; μ_1, μ_2, μ_3 – angles of coulter toe and its blade entry into the soil, degrees; ϕ_T – angles of friction of the blade and coulter toe on the soil, degrees;

$P = \frac{P}{2} + \frac{P}{2}$ – the total traction force in the upper and lower sections; β – the angle of soil crushing by the compacting roller during rolling, degrees; G_c – coulter gravity, N;

P_n – force from the spring action, N; G_0 – gravity force of the compactor, N; R_n, R_n', R_n'' – reactions from the soil: to the coulter blade, to the toe for seeds and hydrogel, respectively; R_0 – resistance reaction from the soil to the compacting roller; R_n, R_b – reactions in sections lower and upper parallelogram, N; α_g – damper (spring) installation angle, degrees;

P', P'' – poles; μ_{BX} – angle of coulter entry into soil, degrees

Рисунок 3 – Схема сил, действующих на детали сошника при его установившейся работе

Figure 3 – Scheme of forces acting on the coulter details by its continuous running

Расположим оси координат, как показано на рисунке 3. Это необходимо для определения положения пяты, образующей бороздку под гидрогель, когда сошник поворачивается в шарнирах параллелограмма (т. $ABCD$), а точки DMN поворачиваются вокруг полюсов P' и P'' . При этом теоретическое положение т. N должно находиться не выше уровня т. M . Это условие гарантирует выполнение технологического процесса посева семян с гидрогелем с учетом того, что глубина посева семян должна быть меньше, чем глубина внесения гидрогеля.

Составим уравнение проекции сил на оси OX и OY с условием, что система рассматривается при установившемся движении:

$$\begin{aligned} \sum OX &= 0, \\ P \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - \xi\right) - R_{\pi} \cdot \cos\left[\frac{\pi}{2} - (\mu_1 + \varphi_T)\right] - R'_{\pi} \cdot \cos\left[\frac{\pi}{2} - (\mu_2 + \varphi_T)\right] - \\ &- R''_{\pi} \cdot \cos\left[\frac{\pi}{2} - (\mu_2 + \varphi_T)\right] + P_{\pi} \cdot \cos \alpha_g + R_o \cdot \sin \alpha_g - R_o \cdot \sin \beta, \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \sum OY &= 0, \\ P \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} - \xi\right) + R_{\pi} \cdot \sin\left[\frac{\pi}{2} - (\mu_1 + \varphi_T)\right] + R'_{\pi} \cdot \sin\left[\frac{\pi}{2} - (\mu_2 + \varphi_T)\right] + \\ &+ R''_{\pi} \cdot \sin\left[\frac{\pi}{2} - (\mu_2 + \varphi_T)\right] + P_{\pi} \cdot \cos \alpha_g + R_o \cdot \cos \beta_g - G_c - G_0. \end{aligned} \quad (2)$$

Кроме этого следует учитывать, что насыщение гидрогеля происходит за счет почвенной влаги, атмосферных осадков и полива, а последующая передача влаги корням роста возможна только в том случае, если семя и гидрогель находятся во влажном слое почвы. Поэтому глубина посева семян должна быть больше глубины сухого слоя. На практике она значительно (в 1,5–2,0 раза) больше него, что способствует подаче влаги к развивающимся корням растений.

Известно, что заданную глубину посева обеспечивает опорный двухплечий рычаг и шарнир, связанный с сошником и пружиной, работающей

на растяжение. Усилие натяжения пружины необходимо определить, учитывая проекции всех сил.

Из уравнения (1) найдем значение R_o – реакции почвы на опорный каток:

$$R_o = \frac{P \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - \xi\right) - R_{\pi} \cdot \cos\left[\frac{\pi}{2} - (\mu_1 + \varphi_T)\right] - R'_{\pi} \cdot \cos\left[\frac{\pi}{2} - (\mu_2 + \varphi_T)\right]}{\sin \beta} - \frac{R''_{\pi} \cdot \cos\left[\frac{\pi}{2} - (\mu_2 + \varphi_T)\right] + P_{\pi} \cdot \sin \alpha_g - R_o \cdot \sin \beta}{\sin \beta}.$$

Из уравнения (2) определим то же значение R_o :

$$R_o = \frac{-P \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} - \xi\right) - R_{\pi} \cdot \sin\left[\frac{\pi}{2} - (\mu_1 + \varphi_T)\right] - R'_{\pi} \cdot \sin\left[\frac{\pi}{2} - (\mu_2 + \varphi_T)\right]}{\sin \beta} - \frac{R''_{\pi} \cdot \sin\left[\frac{\pi}{2} - (\mu_2 + \varphi_T)\right] + P_{\pi} \cdot \cos \alpha_g - R_o \cdot \cos \beta + G_c + G_0}{\sin \beta}.$$

Приравняем одинаковые значения R_o . При этом следует учесть, что величина реакций почвы на заостренные лезвия сошника будет существенно ниже значений R'_{π} и R''_{π} , которые возникают от действия почвы не только на лезвие, но и на пяты сошника. Тогда примем, что $P_{\pi} = 0$. Отсюда следует:

$$\frac{-(R'_{\pi} + R''_{\pi}) \cdot \cos\left[\frac{\pi}{2} - (\mu_2 + \varphi_T)\right] + P \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - \xi\right)}{\sin \beta} - \frac{P \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} - \xi\right) + (R'_{\pi} + R''_{\pi}) \cdot \sin\left[\frac{\pi}{2} - (\mu_2 + \varphi_T)\right] + P_{\pi} \cdot \cos \alpha_g - G_g - G_0}{\sin \beta} = 0.$$

Определим усилие пружины:

$$P_{\pi} \cdot (\cos \alpha_g - \sin \alpha_g) =$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(R'_n + R''_n) \cdot \sin\left[\frac{\pi}{2} - (\mu_2 + \varphi_T)\right] - (R'_n + R''_n) \cdot \cos\left[\frac{\pi}{2} - (\mu_2 + \varphi_T)\right]}{\sin \beta} - \\
 &\quad - \frac{P \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - \xi\right) + G_c + G_0 - P \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} - \xi\right)}{\sin \beta}, \\
 P_n &= \frac{(R'_n + R''_n) \cdot \left\{ \sin\left[\frac{\pi}{2} - (\mu_2 + \varphi_T)\right] - \cos\left[\frac{\pi}{2} - (\mu_2 + \varphi_T)\right] \right\} - P \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - \xi\right)}{\sin \beta \cdot (\cos \alpha_g - \sin \alpha_g)} + \\
 &\quad + \frac{G_c + G_0 + P \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} - \xi\right)}{\sin \beta \cdot (\cos \alpha_g - \sin \alpha_g)}.
 \end{aligned}$$

Проведем тригонометрические преобразования и получим уравнение следующего вида:

$$\begin{aligned}
 P_n &= \frac{(R'_n + R''_n) \cdot \left\{ \cos\left[\frac{\pi}{2} - (\mu_2 + \varphi_T)\right] - \sin\left[\frac{\pi}{2} - (\mu_2 + \varphi_T)\right] \right\} - P \cdot \sin \xi}{\sin \beta \cdot (\cos \alpha_g - \sin \alpha_g)} + \\
 &\quad + \frac{G_c + G_0 + P \cdot \cos \xi}{\sin \beta \cdot (\cos \alpha_g - \sin \alpha_g)}.
 \end{aligned}$$

Известно, что усилие пружины P_b зависит от ее жесткости:

$$P_b = C_n \cdot \Delta_p,$$

где C_n – жесткость пружины, Н/м;

Δ_p – величина сжатия (растяжения) пружины.

Тогда жесткость пружины запишется в виде:

$$\begin{aligned}
 C_n &= \frac{(R'_n + R''_n) \cdot \{\cos(\mu_2 + \varphi_T) - \sin(\mu_2 + \varphi_T)\} - P \cdot \sin \xi}{\Delta_p \cdot \sin \beta \cdot (\cos \alpha_g - \sin \alpha_g)} + \\
 &\quad + \frac{G_c + G_0 + P \cdot \cos \xi}{\Delta_p \cdot \sin \beta \cdot (\cos \alpha_g - \sin \alpha_g)}.
 \end{aligned}$$

В полученном выражении необходимо учесть соотношение плеч дву-

плечевого звена катка, а для упрощения полученного результата примем некоторые условия:

- $G_c + G_0 = G_E$ – суммарное значение веса секции;
- $R'_\pi + R''_\pi = 2R'_\pi$, $R'_{\text{поч}} = \frac{R'_\pi + R''_\pi}{2}$ – сопротивление почвы;
- $\mu_2 + \varphi_T = \mu_\varphi$ – суммарный угол, учитывающий угол трения лезвия

пят о почву и угол входа лезвия в почву, град;

- $\frac{l_\pi}{l_k} = k_l$ – соотношение плеч, где l_π – плечо от шарнира опоры

до точки крепления пружины; l_k – плечо от шарнира опоры до катка;

В конечном виде жесткость пружины равна:

$$C_\pi = \frac{2R'_{\text{поч}}(\cos \mu_\varphi - \sin \mu_\varphi) - P \sin \xi + G_c + P \cos \xi}{k_l \Delta_p \cdot \sin \xi \cdot (\cos \alpha_g - \sin \alpha_g)}.$$

Полученное выражение вполне применимо для расчета пружины для установившегося движения секции. Однако экспериментальные исследования, проведенные на опытном участке УНПЦ «Горная Поляна», показали, что скорость движения агрегата существенно влияет на вертикальные колебания разработанной секции сеялки. Результаты исследований представлены на графике, изображенном на рисунке 4.

На графике определены среднеквадратичные отклонения сошника секции сеялки в зависимости от жесткости пружины и скорости движения машины. При малой жесткости (до 40 Н/см) колебания сошника, судя по среднеквадратичным отклонениям, находятся в диапазоне 0,01–0,025, и особенно они существенны до 10 Н/см. Скорость агрегата существенно увеличивает колебания, и при ее росте в 3 раза колебания также увеличиваются в 3–3,5 раза. Однако при повышении жесткости до 80–100 Н/см наблюдается подъем сошника, т. е. его вес становится недостаточным для преодоления усилия пружины. Следовательно, оптимальной можно считать жесткость

в диапазоне 50–60 Н/см. Она обеспечивает выполнение технологического процесса и соблюдение агротехнологических требований при посеве сои.

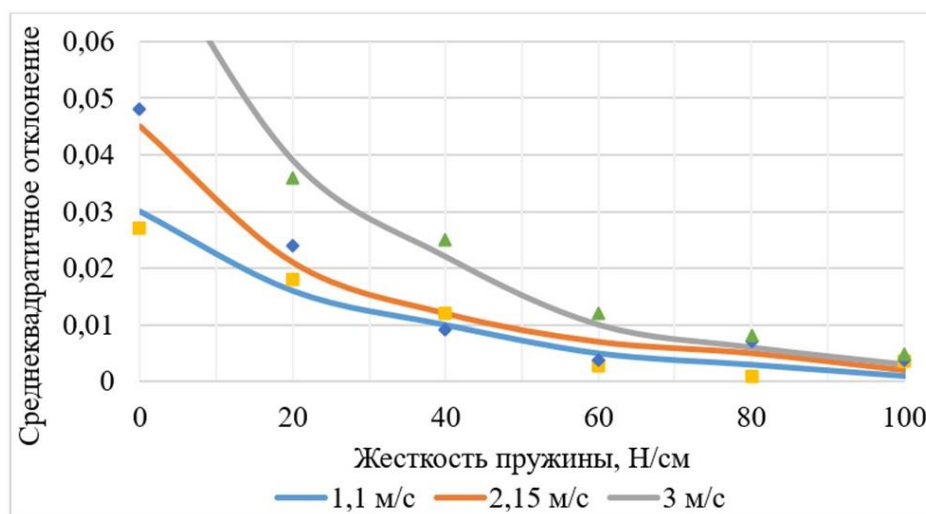


Рисунок 4 – График влияния жесткости пружины на устойчивость хода сошника
Figure 4 – Diagram of spring stiffness impact on the stability of the coulter running

Выводы. Получено уравнение для расчета жесткости пружины, применяемой в конструкции разработанной секции сеялки. Оно свидетельствует о том, что жесткость пружины зависит от удельного сопротивления почвы, глубины образования посевной бороздки и глубины внесения гидрогеля. Указанные факторы входят в формулу в виде сопротивления почвы $R'_{\text{поч}}$. Условно принято, что сила эта сосредоточенная, однако $R'_{\text{поч}} = q \cdot a$, где q – удельное сопротивление почвы на единицу глубины, Н/м; a – глубина бороздок, м. Если в полученную формулу подставить действительные значения входящих в нее составляющих, то можно определить фактическую жесткость пружины для идеальных (теоретических) условий работы сошника при установившемся движении. Однако при проведении лабораторных и производственных испытаний секции в результате постоянно изменяющегося сопротивления почвы и рельефа ее поверхности жесткость пружины существенно меняется и влияет на равномерность хода сошника по глубине в зависимости от скорости машины. Оптимальной может считаться жесткость 50–60 Н/см.

Список источников

1. Бородычев В. В., Дедова Э. Б., Дедов А. А. Параметры водного режима капельного орошения при возделывании арбуза в аридных условиях // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2017. № 1(45). С. 218–225.
2. Бородычев В. В., Лытов М. Н. Проблемы оптимального водообеспечения сои в условиях орошения // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 2(54). С. 39–49. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-02-3.
3. Жидков В. М., Захаров В. В. Режимы орошения картофеля при капельном поливе на светло-каштановых почвах Волгоградской области // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2009. № 2(14). С. 22–26.
4. Лапшова А. Г. Орошение сои в условиях сухостепной зоны Поволжья // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2016. № 4(64). С. 125–129.
5. Возделывание сои на богаре в условиях Ростовской области: рекомендации / А. В. Алабушев [и др.]; Всерос. науч.-исслед. ин-т зерновых культур им. И. Г. Калиненко. Ростов н/Д.: Книга, 2009. 24 с.
6. Мелихов В. В., Лобойко В. Ф., Ушакова Е. В. Режим капельного орошения сои в Волго-Донском междуречье // Интеграция науки и производства – стратегия устойчивого развития АПК России в ВТО: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию Победы в Сталингр. битве. Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2013. С. 358–360.
7. Кулыгин В. А. Влияние элементов технологии на продуктивность и водопотребление тыквы в условиях орошения // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2014. № 4(16). С. 37–48. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=748> (дата обращения: 01.05.2022).
8. Балакай Г. Т., Селицкий С. А. Урожайность сортов сои при поливе дождеванием и системами капельного орошения в условиях Ростовской области // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2019. № 3(35). С. 80–97. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1002> (дата обращения: 01.05.2022). DOI: 10.31774/2222-1816-2019-3-80-97.
9. Пешкова В. О., Кижаяева В. Е. Ресурсосберегающая технология возделывания экологически чистого зерна сои на орошении // Инновации природообустройства и защиты окружающей среды: материалы I Нац. науч.-практ. конф. с междунар. участием, г. Саратов, 23–24 янв. 2019 г. Саратов: КУБиК, 2019. С. 581–585.
10. Advanced nanomaterials in agriculture under a changing climate: The way to the future? / A. Ioannou, G. Gohari, P. Papaphilippou, S. Panahirad, A. Akbari, M. R. Dadpour, T. Krasia-Christoforou, V. Fotopoulos // Environmental and Experimental Botany. 2020. № 176. 104048. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2020.104048.
11. Агафонов О. М., Ревенко В. Ю. Возможности полимерного гидрогеля как накопителя почвенной влаги в зоне неустойчивого увлажнения Краснодарского края // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2017. № 10. С. 35–38.
12. Nosevich M. Increasing yield of oil flax by improving technological process of sowing seeds together with hydrogel granules // 19th International Scientific Conference Engineering for Rural Development. 2020, 20–22 May. Vol. 19. Jelgava, 2020. 161507. P. 826–832. DOI: 10.22616/ERDev.2020.19.TF193.
13. Стрельников В. Н., Будников В. И., Синкин В. В. Полимерный гидрогель в технологии орошения // Аграрная наука. 2007. № 10. С. 18–19.
14. Продуктивность сортов сои при различных режимах орошения / В. В. Толоконников, Г. П. Канцер, Т. С. Кошкарлова, Г. О. Чамурлиев // Вестник Российского уни-

верситета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2020. Т. 15, № 4. С. 343–352. <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2020-15-4-343-352>.

15. Влияние орошения, удобрения и фактора сорта на урожайность сои в условиях Нижнего Поволжья / В. В. Толоконников, С. С. Мухаметханова, Г. П. Канцер, Л. В. Вронская // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 3(63). С. 95–104. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-03-09.

16. Технология возделывания сои на орошении в условиях Марксовского района Саратовской области / В. Б. Нарушев, Т. И. Павлова, М. С. Усов, Д. Е. Лабурцев, А. А. Гомзяков // Вавиловские чтения – 2018: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 131-й годовщине со дня рождения акад. Н. И. Вавилова, г. Саратов, 28–29 нояб. 2018 г. Саратов: Саратовский ГАУ, 2018. С. 191–192.

17. Цепляев А. Н., Цепляев В. А., Магомедов А. М. Разработка и исследование секции сеялки для посева семян овощных и бахчевых культур одновременно с гидрогелем // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 1(61). С. 380–389. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-36.

18. Кокошин С. Н., Киргинцев Б. О., Ташланов В. И. Математическое исследование взаимодействия сошника с почвой // Агропродовольственная политика России. 2017. № 7(67). С. 85–90.

19. Цепляев А. Н., Беляков А. В. Математическая модель изменения колебаний сошника с параллелограммной подвеской // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2007. № 2(6). С. 89–95.

20. Ларюшин Н. П., Бричков С. В., Кирюхина Т. А. Влияние жесткости пружины и рабочей скорости сеялки на работу сошника с заделывающим устройством // Ресурсоберегающие технологии и технические средства для производства продукции растениеводства и животноводства: сб. ст. VII Междунар. науч.-практ. конф., г. Пенза, 14–15 февр. 2022 г. Пенза: Пензенский ГАУ, 2022. С. 66–68.

21. Шевченко А. П., Бегунов М. А. Моделирование колебательной системы сошник – почва // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2016. № 2(22). С. 227–234.

References

1. Borodychev V.V., Dedova E.B., Dedov A.A., 2017. *Parametry vodnogo rezhima kapel'nogo orosheniya pri vozdeleyanii arbuza v aridnykh usloviyakh* [Parameters of the water regime of drip irrigation during the cultivation of watermelon under arid conditions]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Bulletin of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education], no. 1(45), pp. 218–225. (In Russian).

2. Borodychev V.V., Lytov M.N., 2019. *Problemy optimal'nogo vodoobespecheniya soi v usloviyakh orosheniya* [Problems of optimal water supply of soybeans under irrigation]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Bulletin of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education], no. 2(54), pp. 39–49, DOI: 10.32786/2071-9485-2019-02-3. (In Russian).

3. Zhidkov V.M., Zakharov V.V., 2009. *Rezhimy orosheniya kartofelya pri kapel'nom polive na svetlo-kashtanovykh pochvakh Volgogradskoy oblasti* [Irrigation regimes of potatoes with drip irrigation on light chestnut soils of Volgograd region]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Bulletin of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education], no. 2(14), pp. 22–26. (In Russian).

4. Lapshova A.G., 2016. *Oroshenie soi v usloviyakh sukhostepnoy zony Povolzh'ya* [Soybean irrigation under the conditions of Volga dry steppe zone]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 4(64), pp. 125-129. (In Russian).

5. Alabushev A.V. [et al.], 2009. *Vozdelyvanie soi na bogare v usloviyakh Rostovskoy oblasti: rekomendatsii* [Cultivation of soybeans on dry land in Rostov region: recommendations]. All-Russian Scientific Research Institute of Grain Crops named after I. G. Kalinenko, Rostov-on-Don, Book Publ., 24 p. (In Russian).

6. Melikhov V.V., Loboiko V.F., Ushakova E.V., 2013. *Rezhim kapel'nogo orosheniya soi v Volgo-Donskom mezhdurech'e* [Soybean drip irrigation regime in the Volga-Don interfluvium]. *Integratsiya nauki i proizvodstva – strategiya ustoychivogo razvitiya APK Rossii v VTO: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 70-letiyu Pobedy v Stalingradskoy bitve* [Integration of Science and Production – a Strategy for Sustainable Development of Agro-Industrial Complex of Russia in the WTO: Proc. of Scientific-Practical Conference, Dedicated to the 70th Anniversary of the Victory in Stalingrad Battle]. Volgograd, Volgograd State Agrarian University, pp. 358-360. (In Russian).

7. Kulygin V.A., 2014. [Effect of technology elements on productivity and water consumption of pumpkin under irrigation]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 4(16), pp. 37-48, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=748> [accessed 01.05.2022]. (In Russian).

8. Balakai G.T., Selitsky S.A., 2019. [Soybean varieties yield by sprinkling and drip irrigation in Rostov region]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, no. 3(35), pp. 80-97, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1002> [accessed 01.05.2022], DOI: 10.31774/2222-1816-2019-3-80-97. (In Russian).

9. Peshkova V.O., Kizhaeva V.E., 2019. *Resursosberegayushchaya tekhnologiya vozdevlyvaniya ekologicheskogo chistogo zerna soi na oroshenii* [Resource-saving technology of cultivation of environmentally friendly soybean grain under irrigation]. *Innovatsii prirodobustroystva i zashchity okruzhayushchey sredy: materialy I Natsionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Innovations in Environmental Management and Environmental Protection: Proc. of the I National Scientific-Practical Conference with International Participation]. Saratov, KUBiK, pp. 581-585. (In Russian).

10. Ioannou A., Gohari G., Papaphilippou P., Panahirad S., Akbari A., Dadpour M.R., Krasia-Christoforou T., Fotopoulos V., 2020. Advanced nanomaterials in agriculture under a changing climate: The way to the future? *Environmental and Experimental Botany*, no. 176, 104048, DOI: 10.1016/j.envexpbot.2020.104048.

11. Agafonov O.M., Revenko V.Yu., 2017. *Vozmozhnosti polimernogo gidrogelya kak nakopitelya pochvennoy vlagi v zone neustoychivogo uvlazhneniya Krasnodarskogo kraya* [Possibilities of polymer hydrogel as a soil moisture storage in the zone of unstable moistening in Krasnodar Territory]. *Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk* [International Journal of Humanities and Natural Sciences], no. 10, pp. 35-38. (In Russian).

12. Nosevich M., 2020. Increasing yield of oil flax by improving technological process of sowing seeds together with hydrogel granules. The 19th International Scientific Conference Engineering for Rural Development. Jelgava, vol. 19, 161507, pp. 826-832, DOI: 10.22616/ERDev.2020.19.TF193.

13. Strelnikov V.N., Budnikov V.I., Sinkin V.V., 2007. *Polimernyy gidrogel' v tekhnologii orosheniya* [Polymeric hydrogel in irrigation technology]. *Agrarnaya nauka* [Agricultural Science], no. 10, pp. 18-19. (In Russian).

14. Tolokonnikov V.V., Kantser G.P., Koshkarova T.S., Chamurliiev G.O., 2020. *Produktivnost' sortov soi pri razlichnykh rezhimakh orosheniya* [Productivity of soybean varieties under different irrigation regimes]. *Vestnik Rossiyskogo universiteta družby narodov. Ser-*

iya: *Agronomiya i zhivotnovodstvo* [Bull. of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Agronomy and Animal Husbandry], vol. 15, no. 4, pp. 343-352, <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2020-15-4-343-352>. (In Russian).

15. Tolokonnikov V.V., Mukhametkhanova S.S., Kantser G.P., Vronskaya L.V., 2021. *Vliyanie orosheniya, udobreniya i faktora sorta na urozhaynost' soi v usloviyakh Nizhnego Povolzh'ya* [The influence of irrigation, fertilizer and variety factor on soybean yield in the Lower Volga region]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Bulletin of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education], no. 3(63), pp. 95-104, DOI: 10.32786/2071-9485-2021-03-09. (In Russian).

16. Narushev V.B., Pavlova T.I., Usov M.S., Laburtsev D.E., Gomzyakov A.A., 2018. *Tekhnologiya vozdel'yvaniya soi na oroshenii v usloviyakh Markovskogo rayona Saratovskoy oblasti* [Soybean cultivation technology in Marxovsky district Saratov region]. *Vavilovskie chteniya – 2018: sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 131-y godovshchine so dnya rozhdeniya akad. N. I. Vavilova* [Vavilov Readings – 2018: Proc. of International Scientific-Practical Conference, Dedicated to the 131st Anniversary of birthday of Academician N. I. Vavilov]. Saratov, Saratov State Agrarian University Publ., pp. 191-192. (In Russian).

17. Tseplyaev A.N., Tseplyaev V.A., Magomedov A.M., 2021. *Razrabotka i issledovanie seksii seyalki dlya poseva semyan ovoshchnykh i bakhchevykh kul'tur odnovremennno s gidrogelem* [Development and research of a seeder section for sowing seeds of vegetable and melon crops simultaneously with hydrogel]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Bulletin of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education], no. 1(61), pp. 380-389, DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-36. (In Russian).

18. Kokoshin S.N., Kirgintsev B.O., Tashlanov V.I., 2017. *Matematicheskoe issledovanie vzaimodeystviya soshnika s pochvoy* [Mathematical study of coulter-soil interaction]. *Agroproduktivnost' i politika Rossii* [Agro-Food Policy of Russia], no. 7(67), pp. 85-90. (In Russian).

19. Tseplyaev A.N., Belyakov A.V., 2007. *Matematicheskaya model' izmeneniya kolebaniy soshnika s parallelogrammnoy podveskoy* [Mathematical model of shovel fluctuations with parallelogram lavariere]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Bulletin of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education], no. 2(6), pp. 89-95. (In Russian).

20. Laryushin N.P., Brichkov S.V., Kiryukhina T.A., 2022. *Vliyanie zhestkosti pruzhiny i rabochey skorosti seyalki na rabotu soshnika s zadelyvayushchim ustroystvom* [Influence of spring stiffness and working speed of a seeder on the operation of a coulter with a closing device]. *Resursosberegayushchie tekhnologii i tekhnicheskie sredstva dlya proizvodstva produktov rastenievodstva i zhivotnovodstva: sbornik statey VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Resource-Saving Technologies and Technical Means for Production of Crop and Livestock Products: Proc. of the VII International Scientific-Practical Conference]. Penza, Penza GAU, pp. 66-68. (In Russian).

21. Shevchenko A.P., Begunov M.A., 2016. *Modelirovanie kolebatel'noy sistemy soshnik – pochva* [Modeling of oscillatory system “Coulter – soil”]. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Omsk State Agrarian University], no. 2(22), pp. 227-234. (In Russian).

Информация об авторах

В. А. Цепляев – ректор, доцент, кандидат технических наук, доцент;
А. М. Магомедов – аспирант;

А. Н. Цепляев – ведущий научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук, профессор.

Information about the authors

V. A. Tseplyaev – Rector, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

A. M. Magomedov – Postgraduate Student;

A. N. Tseplyaev – Leading Researcher, Doctor of Agricultural Sciences, Professor.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 19.07.2022; одобрена после рецензирования 08.08.2022; принята к публикации 09.08.2022.

The article was submitted 19.07.2022; approved after reviewing 08.08.2022; accepted for publication 09.08.2022.