

МРНТИ 68.85.29

УДК 631.31

<https://doi.org/10.52269/SRDG2611180>

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ЩЕЛЕРЕЗА

Полищук Ю.В. – кандидат технических наук, заведующий лабораторией механизации животноводства, Костанайский филиал ТОО «Научно-производственный центр агроинженерии», г. Костанай, Республика Казахстан.

Дерепаскин А. И. – доктор технических наук, главный научный сотрудник, Костанайский филиал ТОО «Научно-производственный центр агроинженерии», г. Костанай, Республика Казахстан.

Комаров А.П.* – магистр сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, Костанайский филиал ТОО «Научно-производственный центр агроинженерии», г. Костанай, Республика Казахстан.

Лаптев Н. В. – магистр сельского хозяйства, научный сотрудник, Костанайский филиал ТОО «Научно-производственный центр агроинженерии», г. Костанай, Республика Казахстан.

Практика показывает, что почвы в Республике Казахстан неоднородны по физико-механическим свойствам. В засушливый период твердость, на отдельных участках, может достигать 10-12 МПа, так же в некоторых регионах республики в почвах встречаются горные породы (каменистые почвы). Эти особенности существенно влияют на надежность конструкции рабочих органов щелевателей. В конструкции щелерезов применяются срезные болты, пружинные и гидравлические компенсаторы нагрузки. Эти технические новинки обеспечивают сохранность рабочих органов. Существующие аналоги имеют высокую стоимость приобретения, также значительно затратны и запасные части. Таким образом, сельскому хозяйству Республики Казахстан необходим недорогой и надежный щелеватель почвы для обработки переуплотненных и каменистых фонов, что определяет актуальность цели данного исследования – работу по созданию такого щелевателя почвы. В статье приводится обоснование параметров пружинного механизма, определение максимально допустимого усилия пружины (критическое усилие), усилие срабатывания срезного болта и его диаметр. Методика исследований в аналитической части основывается на применении основных положений теоретической механики, сопротивления материалов и прикладной математики, в экспериментальной – на применении метода тензометрирования лабораторно-полевой установки при определении тягового сопротивления и методов измерений, регламентируемых нормативной документацией, при определении агротехнических показателей. По результатам проведенных исследований теоретически обоснованы параметры предохранительного устройства щелереза, на основании использования лабораторно-полевой установки по агротехническим показателям и тяговому сопротивлению щелереза экспериментально доказана способность конструкции выполнять технологический процесс с требуемым качеством.

Ключевые слова: стержневые фоны, щелевание, щелерез, обоснование параметров, предохранительное устройство, лабораторно-полевые исследования, техническое задание.

КЕСКІШТІҢ ҚАУІПСІЗДІК ҚҰРЫЛҒЫСЫНЫҢ ПАРАМЕТРЛЕРІН НЕГІЗДЕУ

Полищук Ю.В. – техника ғылымдарының кандидаты, Агротехника ғылыми-өндірістік орталығы Қостанай филиалы мал шаруашылығын механикаландыру зертханасының меңгерушісі, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Дерепаскин А.И. – техника ғылымдарының докторы, бас ғылыми қызметкер, Агротехника ғылыми-өндірістік орталығының Қостанай филиалы, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Комаров А.П.* – ауыл шаруашылығы ғылымдарының магистрі, ғылыми қызметкер, Агротехника ғылыми-өндірістік орталығының Қостанай филиалы, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Лаптев Н.В. – ауыл шаруашылығы магистрі, ғылыми қызметкер, Агротехника ғылыми-өндірістік орталығының Қостанай филиалы, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Тәжірибе көрсеткендей, Қазақстан Республикасындағы топырақтар физикалық-механикалық қасиеттері бойынша әр түрлі болады. Құрғақ кезеңде топырақтың қаттылығы кейбір аудандарда 10-12 МПа жетуі мүмкін. Сонымен қатар, республиканың кейбір аймақтарында топырақта жыныстар (тас топырақтар) кездеседі. Бұл сипаттамалар параплоттық қопсытқыштардың конструкциясының сенімділігіне айтарлықтай әсер етеді. Кескіштердің конструкциясы кескіш болттарды, серіппелі жүктеме компенсаторларын және гидравликалық жүктеме компенсаторларын пайдаланады. Бұл технологиялық жетістіктер жұмыс бөлшектерінің қауіпсіздігін қамтамасыз етеді. Қолданыстағы ұқсас машиналарды сатып алу қымбат және айтарлықтай қосалқы бөлшектерді қажет етеді. Сондықтан Қазақстан Республикасының ауыл шаруашылығы тығыздалған және

тасты топырақтарды өңдеу үшін қымбат емес және сенімді топырақ ротаторын қажет етеді. Мұндай топырақ ротаторын жасау бойынша зерттеулер шұғыл болып табылады. (Зерттеу мақсаты). Серіппе механизмінің параметрлерін негіздеу, максималды рұқсат етілген серіппе күшін (критикалық күшті), кесу болтының іске қосу күшін және оның диаметрін анықтау. (Материалдар мен тәсілдер). Аналитикалық бөлімдегі зерттеу әдістемесі теориялық механиканың, материалдардың беріктігінің және қолданбалы математиканың іргелі принциптерін қолдануға негізделген, тәжірибелік – сызбаға тәзімділікті анықтауда зертханалық-әдістік қондырғының тензометрлік әдісін және агротехникалық көрсеткіштерді анықтауда нормативтік құжаттамамен реттелетін өлшеу әдістерін қолдану бойынша. (Нәтижелер мен пікірталас). Жүргізілген зерттеулердің нәтижелері бойынша саңылау кескіштің қауіпсіздік құрылғысының параметрлері теориялық негізделді. Тәжірибе жүзінде агротехникалық көрсеткіштер мен саңылау кескіштің тартуға тәзімділігі бойынша зертханалық-далалық қондырғыны пайдалана отырып, құрылымның технологиялық процесті қажетті сапада орындау мүмкіндігі анықталды.

Түйінді сөздер: саман фондары, кесу, кескіш, параметрлерді негіздеу, қауіпсіздік құрылғысы, зертханалық және далалық зерттеулер, техникалық тапсырма.

JUSTIFICATION OF THE PARAMETERS OF THE SAFETY DEVICE OF THE SLITTER

Polishchuk Yu.V. – Candidate of Technical Sciences, Head of the Livestock Production Engineering Laboratory, Kostanay Branch of “Research Institute of Agricultural Engineering” LLP, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Derepaskin A.I. – Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, Kostanay Branch of “Research Institute of Agricultural Engineering” LLP, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Komarov A.P. – Master of Agricultural Sciences, Researcher, Kostanay Branch of “Research Institute of Agricultural Engineering” LLP, Kostanay, Republic of Kazakhstan.*

Laptev N.V. – Master of Agriculture, Researcher, Kostanay Branch of “Research Institute of Agricultural Engineering” LLP, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Experience shows that soils in the Republic of Kazakhstan vary in their physical and mechanical properties. During drought seasons, soil strength in some areas can reach 10-12 MPa. Furthermore, in some regions of the republic, soils contain rock (stony soils). These characteristics significantly affect the reliability of the design of para ploughs. The design of the slitters utilizes shear bolts, spring-loaded load compensators, and hydraulic load compensators. These technical innovations ensure the safety of the working parts. Existing equivalents are expensive to purchase and require significant spare parts. Thus, the agriculture of the Republic of Kazakhstan requires an inexpensive and reliable soil slitter for the treatment of extra condensed and stony soils, which determines the relevance of the objective of this study—namely, the development of such a soil slitter. The article presents the substantiation of the parameters of the spring mechanism, the determination of the maximum allowable spring force (critical force), the activation force of the shear bolt, and its diameter. The research methodology in the analytical part is based on the application of fundamental principles of theoretical mechanics, strength of materials, and applied mathematics, while the experimental part relies on the use of strain-gauge measurement of a laboratory-field setup to determine draft resistance, as well as measurement methods regulated by normative documentation to assess agrotechnical indicators. Based on the results of the conducted studies, the parameters of the safety device of the slitter were theoretically substantiated, and the ability of the design to perform the technological process with the required quality was experimentally confirmed through laboratory-field testing in terms of agrotechnical performance and draft resistance.

Key words: stubble-covered soil, slitting, slitter, justification of parameters, safety device, laboratory and field research, technical specifications.

Введение

В Казахстане при производстве зерновых культур применяются три технологии возделывания: традиционная, минимальная и нулевая. По минимальной и нулевой технологиям возделывается порядка 12 млн. га посевных площадей, что составляет около 70% от всей посевной площади [1, с. 9].

Применение минимальной и нулевой технологий предполагает отказ от каких-либо обработок почвы, кроме прямого посева анкерным сошником при нулевой технологии и проход стрельчатой лапы одновременно с посевом при технологии минимальной обработки почвы. В настоящее время основную обработку применяют на 20-25% стерневого фона. Необработанные стерневые фоны интенсивно накапливают зимние осадки в виде снега, при этом очень плохо впитывают талые воды, особенно на холмистой местности. Необходимо учитывать фактор стока талых вод при интенсивном снегонакоплении. Опыт показывает, что сток талых вод во многом зависит от условий влажности почвы перед уходом в зиму. В случае сухой или влажной почвы при замерзании сток соответственно уменьшается или увеличивается. Это предопределяет эффективность осеннего рыхления почвы [2, с. 16]. В некоторых хозяйствах Костанайской области, которые ранее занимались возделыванием зерновых культур по традиционной технологии, а последние 5-6 лет применяют минимальную и нулевую технологии,

заметили, что на их полях появились лиманы и их площади с каждым годом увеличиваются, а посевные площади уменьшаются. Специалисты хозяйств считают, что связано это с тем, что почва уплотнилась, на полях остается высокая стерня до 25-30 см и дополнительные кулисы из стерни после прохода очесывающих жаток высотой 40-50 см, это позволяет накопить определенное количество достаточно плотного снега. При наступлении теплых дней снег начинает интенсивно таять, при этом почва плотная и сухая или влажная и замерзшая, по этой причине талые воды стекают в низины на полях, образуя лиманы.

Для поддержания корнеобитаемого слоя в оптимальном состоянии, способном накопить максимальное количество талых вод, требуется проведение разноглубинных механических обработок. Правильный выбор технологии обработки почв в конкретном поле севооборота является важным резервом повышения урожайности зерновых и кормовых культур. Такие обработки регулируют плотность почвы, обеспечивают лучшее поглощение атмосферных и талых вод, обеспечивают создание на поверхности поля ветроустойчивого мульчирующего слоя [3, с. 17; 4, с. 59; 4, с. 59; 5, с. 1241; 6, с. 85; 7, с. 62; 8, с. 225].

Практика показывает, что щелевание это наиболее перспективная технологическая операция глубокой обработки почвы. Щелевание почвы применяется для полосной обработки стерневых и пропашных фонов, предназначено для восстановления водного и воздушного баланса нижних слоев почвы при твердости обрабатываемого слоя до 5 МПа. Щелевание почвы отличается от чизелевания тем, что щелевание это полосная обработка стерневых полей, между смежными проходами рабочих органов остаются полосы со стерней и измельченными растительными остатками. Такое последовательное чередование обработанных полос и стерни с мульчей способствует не только накоплению влаги, но и её сохранению к началу посева [9, с. 52; 10, с. 131; 11, с. 1478; 12, с. 1417; 13, с. 16; 14, с. 122; 15, с. 16; 16, с. 321; 17, с. 227]. Исходные требования: на технологическую операцию щелевание почвы рекомендуют выбирать глубину обработки в пределах 25-40 см. Расстояние между щелями, в зависимости от условий, может изменяться от 70 до 300 см. При этом отклонение от заданной глубины обработки не должно превышать $\pm 1,5-2,0$ см. Ширина разрыхленной полосы должна быть не более 50 см, а ширина щели не более 50 мм. Гребнистость по краям щелей, при глубине обработки 30 см, должна быть не более 8 см, при глубине обработки 40 см – не более 10 см. сохранность стерни должна быть не менее 90%. Эти показатели могут быть достигнуты при твердости почвы не более 3,5 МПа и влажности 18-26% [18, с.10].

В результате на такой поверхности поля зимой хорошо накапливается снег, а весной при таянии снега обеспечивается проникновение талых вод в нижние горизонты. Запасы влаги в почве после щелевания в 2,0 раза выше, чем на необработанной стерне, и в 1,2-1,4 раза выше, чем на глубокой плоскорезной и поверхностной плоскорезной обработках соответственно. При этом на щелевании почвы производительность агрегата увеличивается, а удельный расход топлива уменьшается в 1,3 раза по сравнению с глубокой плоскорезной обработкой.

В настоящее время на рынке Республики Казахстан предлагаются различные машины для щелевания почв мировых флагманов сельскохозяйственного машиностроения, таких как «Case», «Zone-Builder» фирмы Unverferth и «Till-Ripper», фирмы John Deere (США), «Salford» (Канада). Также имеется техника российского производства такая, как щелеватель навесной ЩН-3,8, глубокорыхлитель щелерез ГЩ-4М, щелерез навесной ЩНБ-5,4 и плоскорез-щелеватель комбинированный ПЩК-6,8.

Однако основными недостатками машин дальнего зарубежья является высокая первоначальная стоимость их приобретения и значительные затраты на запасные части, необходимые в процессе эксплуатации, а также низкое качество выполнения работ на переуплотненных почвах.

На сегодняшний день стоимость щелевателя «Zone-Builder-110» фирмы «Unverferth», к тракторам тягового класса 6-8, на рынке Казахстана составляет 18000-21000 тыс. тенге.

Решение существующих проблем нами видится в совершенствовании технологической схемы существующих щелевателей почвы и разработке отечественного щелевателя к тракторам тягового класса 6. Предлагаемое к разработке орудие позволит качественно выполнять технологический процесс, а стоимость его будет 1,4-1,8 раза ниже зарубежных аналогов.

Цель исследований. Обоснование параметров пружинного механизма, определение максимально допустимого усилия пружины (критическое усилие), усилие срабатывания срезного болта и его диаметр.

Задачи исследований

- обоснование актуальности выполнения исследований;
- проведение теоретического обоснования параметров предохранительного устройства щелереза;
- проведение экспериментальных исследований по проверке и уточнению теоретически обоснованных параметров, их влияние на агротехнические и энергетические показатели щелереза.

Материалы и методы

Методика исследований в аналитической части основывается на применении основных положений теоретической механики, сопротивлении материалов и прикладной математики, в экспериментальной – на применении метода тензометрирования лабораторно-полевой установки при определении тягового сопротивления и методов измерений, регламентируемых нормативной документацией,

при определении агротехнических показателей. Оценка достоверности полученных величин проведена с использованием методов математической статистики.

Результаты и обсуждение

Поломки, возникающие при работе почвообрабатывающих машин, могут быть вызваны несоответствием прочности машины условиям работы, а также наездом одного из рабочих органов машины на скрытое в почве препятствие. Увеличение общей прочности машины предотвращает ее поломку при обработке тяжелых почв, не содержащих камней, но не исключает поломок при обработке почв, засоренных крупными камнями. Поэтому для обработки каменистых почв применяют машины, снабженные предохранителями, которые выключают из работы машину или один её рабочий орган при возникновении аварийной нагрузки. При срабатывании предохранителя и выглубления из почвы рабочих органов машины для обхода препятствия на поле появляются огрехи. Для создания нормальных условий работы машины необходимо убирать камни из почвы. Однако эта работа весьма трудоемка и не может быть выполнена в полном объеме. В горных же районах, где имеются выходы скальных пород на дневную поверхность, полное освобождение почвы от камней невозможно. Но при обработке почв, не засоренных камнями, часто возникают поломки и деформации машин из-за наличия в почве толстых корней деревьев и т.д. [19, с. 28].

Анализ существующих орудий показал, что более простая и эффективная схема предохранительного устройства сочетает пружинный предохранитель и срезной палец. В таком сочетании обеспечиваются максимально эффективные условия работы и надежности конструкции рабочего органа.

До наезда щелереза на препятствие рабочий орган должен сохранять неизменное положение и соприкасаться с упором. После наезда на препятствие рабочий орган возвращается под действием силы пружины и веса G , преодолевая сопротивление силы P , и силу трения в шарнире O . Это будет обеспечено если момент равнодействующей реактивных сопротивлений сил P относительно точки O будет меньше суммы моментов сил F и G , препятствующих отклонению стойки относительно этой же точки, на основании расчетной схемы (рисунок 1) получаем уравнение моментов (1, 2):

$$\Sigma M_0 = 0; -P \cdot h + F \cdot L + G \cdot a - N \cdot L = 0, \tag{1}$$

$$F \cdot L = P \cdot h - G \cdot a + N \cdot L, \tag{2}$$

- где F – упругая сила, создаваемая пружиной;
 G – вес стойки;
 N – реакция упора;
 P – горизонтальное усилие на рабочем органе создаваемая силой сопротивления почвы;
 h – высота стойки от носка рабочего органа до шарнира,
 L , и l – плечи сил F , G , N .

Решая это уравнение относительно силы пружины F , находим предварительное натяжение пружины (3):

$$F = \frac{P \cdot h + N \cdot l - G \cdot a}{L}, \tag{3}$$

Также полагая, что реакция упора $N=0$ и учитывая момент силы G , получаем следующее выражение:

$$F = \frac{P \cdot h - G \cdot a}{L}, \tag{4}$$

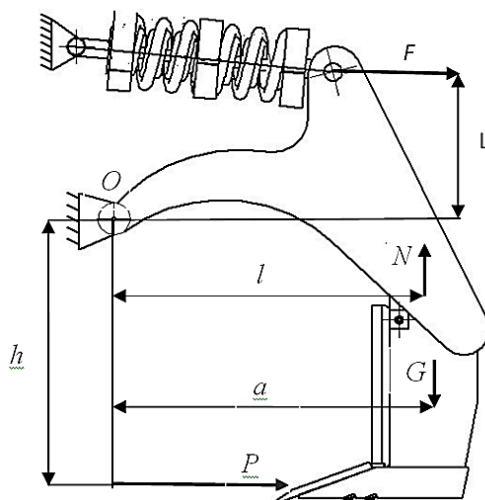


Рисунок 1 – Схема предохранительного устройства щелереза для каменистых почв

Для проведения расчетов по формуле 4, были приняты следующие значения:

Плечо h – равно значению высоты стойки – 761 мм; плечо, a – силы G – 860 мм; вес стойки G принимаем 0,85 кН; нагрузка P – приложенная к стойке равна от 2 до 22 кН. Направление силы P не всегда бывает горизонтальным, тем не менее при расчете предохранителей ее принимают направленной параллельно дну борозды и приложенной к носку рабочего органа [20, с. 32; 21, с. 30]. Для определения плеча пружины L – были выбраны интервал от 200 до 600 мм с интервалом 100 мм.

Существующие пружинные предохранители глубокорыхлителей зарубежных фирм John Deere, Salford, Kuhn, обеспечивают усилие пружины 15-20 кН [22, с. 575]. Для качественного выполнения технологического процесса проведения щелевания в условиях Северного Казахстана, где помимо встречающихся в почве камней, твердость почвы в период проведения щелевания в осеннее время может достигать 9 МПа. Поэтому при проектировании пружинного предохранителя для каменистых почв в условиях Северного Казахстана принимаем усилие при рабочей деформации 25 кН, которое обеспечит надежность конструкции орудия и качество технологического процесса щелевание.

В соответствии с зависимостью 4 было определено плечо L пружинного предохранителя щелевателя для каменистых почв, оно равно 500 мм (рисунок 2). Для выбранной конструктивной схемы предохранительного устройства при нормальных условиях работы, сила, действующая на пружину F , определена по выражению 4.

Анализ рисунка 3 показал, что с увеличением горизонтального усилия на рабочий орган (щелерез) сила сопротивления пружины возрастает в 1,4 раз. При нагрузке на рабочий орган в 10 кН сила сопротивления пружины составляет 14 кН, при нагрузке в 15 кН сопротивление пружины составит 21 кН. С нагрузкой в 20 кН сила сопротивления пружины составит 28 кН.

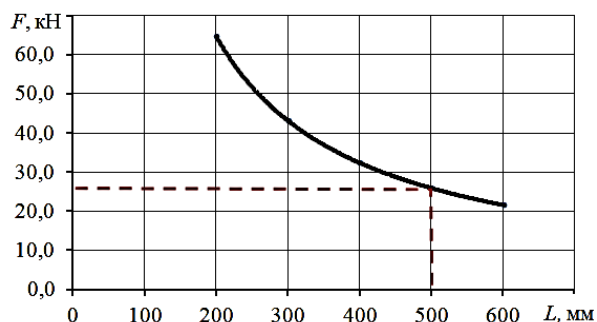


Рисунок 2 – Влияние длины плеча L на силу сопротивления пружины F , при силе действующей на рабочий орган P – 20 кН

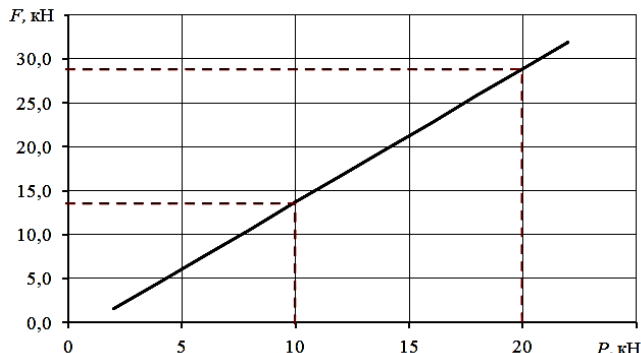


Рисунок 3 – Влияние приложенной горизонтальной силы к рабочему органу на силу сопротивления пружины

Дальнейшее увеличение нагрузки на рабочий орган приведет к критической ситуации, выходу из строя предохранительного механизма. Поэтому было принято решение определить критическое усилие пружины в 28 кН при нагрузке на стойку рабочего органа 20 кН. Свыше критического усилия пружины в 28 кН, произойдет срабатывание срезного болта и рабочий орган выглубиться из почвы, предотвратив его изгиб или излом.

По найденным значениям усилия пружины и учитывая конструкцию предохранительного механизма, размещаем на рабочем органе четыре пружины две наружные и две внутренние. Внешняя пружина, рассчитанная на $F_1 = 22,0$ кН, жёсткость $C=323$ Н/мм, число витков $n = 5$ шт., максимальная деформация пружины $S = 70$ мм, наружный диаметр $D_1=200$ мм, диаметр проволоки $d = 30$ мм, длина пружины $X_1=250$ мм. Внутренняя пружина, рассчитанная на $F_2 = 14,8$ кН, жёсткость $C = 214$ Н/мм, число витков $n = 5$ шт., максимальная деформация пружины $S = 70$ мм, наружный диаметр $D_1 = 132$ мм, диаметр проволоки $d = 25$ мм, длина пружины $X_2 = 250$ мм.

Если две пружины соединить последовательно, то по третьему закону Ньютона пружины между собой будут взаимодействовать с одинаковыми по модулю силами: $F_1 = F_2$. Общее удлинение системы пружин будет определяться по выражению (5):

$$X = X_1 + X_2, \tag{5}$$

тогда общую жесткость C получим из равенства (6):

$$\frac{F}{C} = \frac{F}{C_1} + \frac{F}{C_2}, \tag{6}$$

так как, по выражению (7)

$$X = \frac{F}{C}, \tag{7}$$

Получим (8):

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \text{ или } C = \frac{C_1 \cdot C_2}{(C_1 + C_2)}, \tag{8}$$

Если две пружины соединены параллельно, то действующая сила будет складываться. То есть, если на каждую пружину действует сила, то общая сила будет равна сумме этих сил (9):

$$F = F_1 + F_2, \tag{9}$$

Общее удлинение системы пружин будет составлять (10):

$$X = X_1 = X_2, \tag{10}$$

тогда общую жесткость C получим из равенства (11):

$$C = \frac{F}{C} = \frac{(F_1 + F_2)}{C} = \frac{F_1}{C_1} + \frac{F_2}{C_2} = C_1 + C_2, \tag{11}$$

Из этого следует, что необходимо обеспечить максимальную жесткость пружины и ход сжатия, то на предохранительном устройстве необходимо разместить две пружины в ряд, причем две пружины меньшего диаметра, будут располагаться внутри двух пружинах большего диаметра. Жесткость пружин в такой конструкции будет составлять $C = 269$ Н/мм, ход пружины составит 140 мм.

При наезде на препятствие (камень) значение силы P , действующей на рабочий орган увеличивается, и рабочий орган начнет, отклоняться назад. После схода препятствия с рабочего органа он возвращается в исходное положение за счет силы действия пружины. Для того чтобы рабочий орган в нормальных, заданных почвенных условиях не отклонялся необходимо произвести регулировку пружины. На данном устройстве будет предусмотрена регулировка сжатия пружины с помощью винтового механизма.

Изменение длины пружины λ под действием внешней силы, определяем по формуле (12):

$$\lambda = \frac{F}{C} \tag{12}$$

где C – жесткость пружины Н/мм.

Тогда силу F , можно определить по выражению (13):

$$F = \lambda C \tag{13}$$

Для регулировки устойчивости хода рабочего органа в заданных условиях получена зависимость влияния изменения длины пружины (сжатие) на силу её сопротивления (рисунок 4).

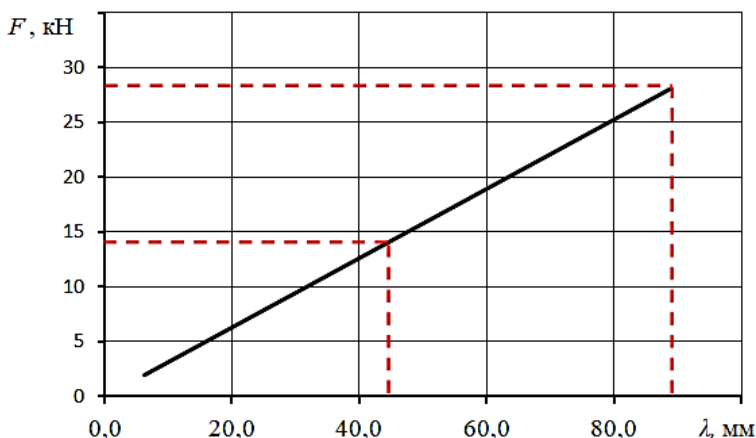


Рисунок 4 – Влияние изменения длины пружины на силу её сопротивления

Анализ полученной зависимости показал, что изменение длины пружины (сжатие) на 20 мм от свободного состояния, создает силу сопротивления пружины 5,4 кН, при сжатии пружины на 40 мм сила сопротивления пружины составляет 14,1 кН и т.д. В случае если сила, приложенная к стойке щелереза P , превысит регулируемое значение силы сопротивления пружины F , стойка щелереза начнет отклоняться в сторону действия силы P .

Для расчета срезного болта, согласно схеме (рисунок 5), запишем уравнение равенства моментов удерживающих сил в соединении и рабочего момента от действия сил сопротивления почвы (14):

$$\Sigma M_O = 0; Q \cdot L_{пл} - P \cdot L_p = 0, \tag{14}$$

отсюда Q равно (15):

$$Q = \frac{P \cdot L_p}{L_{пл}} \tag{15}$$

где P – усилие приложенное к стойке щелереза, Н;
 L_p – плечо приложения рабочей силы, мм;
 L_{пл} – плечо момента удерживающих сил в соединении, мм;
 Q – усилие в болтовом соединении, Н.

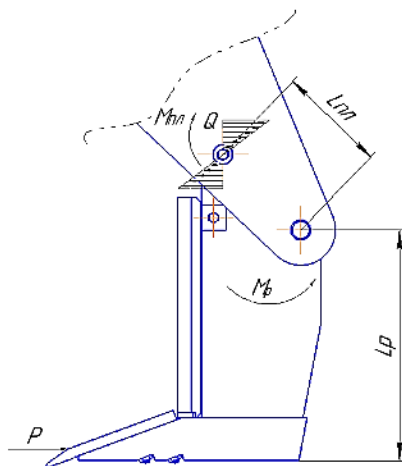


Рисунок 5 – Рабочий орган со срезным болтом

Запишем условие прочности болтового соединения (16):

$$P \cdot L_p \leq Q \cdot L_{пл}, \tag{16}$$

Задавшись, конструктивно, параметром удерживающего плеча L_{пл}, определим усилие в болтовом соединении (17):

$$Q \geq \frac{P \cdot L_p}{L_{пл}}, \tag{17}$$

Из условия прочности болтового соединения [23, с. 123], с учетом того, что момент может перераспределиться в центр одного из болтов соединения, напряжение среза определится (18):

$$\tau_{ср} = \frac{4 \cdot n \cdot Q}{\pi \cdot d^2 \cdot k} \leq [\tau_{ср}], \tag{18}$$

где n – коэффициент безопасности соединения (предварительно принимаем n = 0,9); k – число плоскостей среза в соединении (k = 2); [τ] – допускаемое напряжение материала на срез для стали Ст 45 (τ_{ср} = 125), Н/мм² [24, с. 86].

На рисунке 6 представлены результаты расчетов. Установлено, что для работы срезного болта при силе P действующей на стойку щелереза равной 19-21 кН, диаметр срезного болта должен составлять 14-16 мм изготовленного из стали Ст 45.

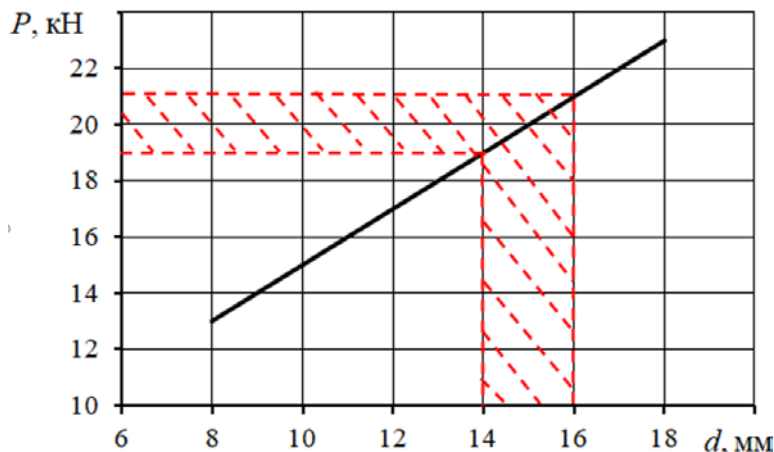


Рисунок 6 – Влияние усилия, приложенного к стойке щелереза на диаметр срезного болта

Для проверки адекватности результатов теоретических расчетов был поставлен ряд экспериментов. Лабораторно-полевые исследования проводились на полях КХ «Журжа», Костанайской области в период с 10 по 20 сентября текущего года, на поле после укоса зерновых колосовых.

В период выполнения работ на глубине обработки 0-30 см, средние показатели составляли: твердость почвы 4,4 МПа, влажность – 20,2 %, объемный вес – 1,48 г/см³. Лабораторно-полевые исследования проводились с использованием лабораторно-полевой установки, представленной на рисунке 7.



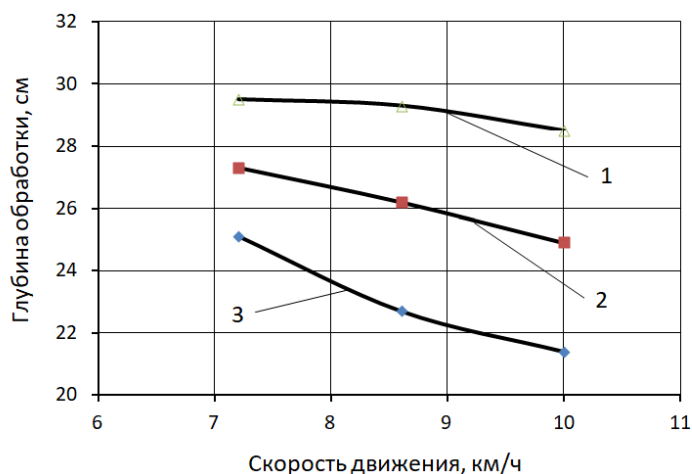
а

б

а – вид сзади сбоку; б – вид в работе.

Рисунок 7 – Лабораторно-полевая установка

Устойчивость хода рабочих органов по глубине обработки является одним из значимых показателей энергоемкости и качества выполнения технологического процесса [25, с. 139]. В связи с этим в процессе проведения лабораторно-полевых исследований предохранительного устройства проводились изменения настройки пружин. На первом этапе лабораторно-полевых исследований пружины предохранительного устройства находились в свободном состоянии. На втором и третьем этапах в соответствии с рисунком 4 пружина была поджата на 20 и 40 мм соответственно. При этом согласно проведенным расчетам, сила сопротивления пружины составит 1,0; 4,0 кН и 10,0 кН, а нагрузка на стойку щелереза составляла 1,0; 4,0 и 8,0 кН соответственно. Как при этом работает механизм предохранительного устройства, определяли по глубине обработки и тяговому сопротивлению. Перед началом исследований произвели регулировку глубины хода рабочего органа, настроили на глубину 30 см. Скорость движения агрегата (трактор К-701 + лабораторно-полевая установка) составляла – 7,2; 8,6 и 10,0 км/ч. Результаты исследований влияния сопротивления пружины на устойчивость рабочего органа (щелереза) по глубине обработки показали (рисунок 8), что с увеличением скорости движения глубина обработки уменьшается.



1 – сопротивление пружины - 10,0 кН; 2 – сопротивление пружины - 4,0 кН; 3 – сопротивление пружины - 1,0 кН

Рисунок 8 – Влияние скорости движения агрегата и силы сопротивления пружины предохранительного устройства на глубину обработки

При сопротивлении пружины в 1,0 кН или 100 кг, глубина обработки снизилась от 4 до 9 см в зависимости от скорости движения, при этом среднее квадратическое отклонение от заданной глубины находилось в пределах 6,0-7,6 см. Коэффициент вариации находится в пределах 23,7-33,5%. При сопротивлении пружины в 4,0 кН или 400 кг глубина обработки снизилась на 2,5 см, а общее снижение от установочной глубины составило 5,5 см. При этом среднее квадратическое отклонение от заданной глубины находилось в пределах 4,0-6,0 см. Коэффициент вариации находится в пределах 14,6-26,2%. Наиболее устойчивое движение по глубине обработки показал вариант, где пружина была отрегулирована на сопротивление в 10,0 кН или 1000 кг. Глубина обработки в данных условиях снизилась на 1,3 см, а общее снижение от установочной глубины составило 1,5 см. Среднее квадратическое отклонение от заданной глубины находилось в пределах 1,1-1,4 см. Коэффициент вариации находится в пределах 3,8-4,8%.

Была проведена оценка агротехнических показателей при настройке предохранительного устройства на сопротивление 10 кН.

Результаты оценки агротехнических показателей приведены в таблице 1. Увеличение скорости движения с 7,2 до 10,0 км/ч приводит к увеличению неравномерности по глубине обработки с 1,2 до 1,4 см. Полученные данные не превышают требования нормативной документации (НД). С увеличением скорости движения увеличиваются такие показатели, как ширина щели (с 4,3 до 6,8 см), ширина разрыхленной полосы (с 41 до 67 см), гребнистость поверхности поля (с 4,2 до 8,8 см), количество стерни на поверхности поля снижается (с 78% до 62%). Забивание рабочих органов в период проведения работ не происходило.

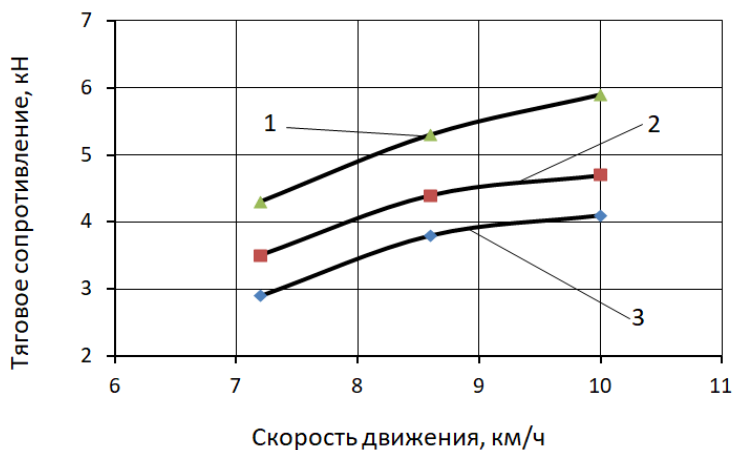
Таблица 1 – Агротехнические показатели предохранительного устройства щелереза

Показатели	Значение показателей			
	По НД	По данным испытаний		
Скорость движения агрегата, км/ч	6,0-9,0	7,2	8,6	10,0
Глубина обработки щелерезом: - средняя, см - стандартное отклонение, ± см	до 35,0 не более 1,5	29,5 1,2	29,3 1,3	28,3 1,4
Ширина щели, см	не более 5,0	4,3	4,8	6,8
Ширина разрыхленной полосы, см	не более 50	41	46	67
Гребнистость поверхности поля, см	не более 8,0	4,2	5,7	8,8
Сохранность стерни, %	не менее 90	78	75	62
Забивание и залипание рабочих органов	не должно быть	нет	нет	нет

Анализ полученных значений агротехнических показателей позволяет сделать вывод, что щелерез с разработанным предохранительным устройством выполняет технологический процесс с качеством, соответствующим агротехническим требованиям (НД) на скоростях движения 7,2 и 8,6 км/ч. Увеличение скорости движения до 10 км/ч способствует увеличению значений показателей таких, как ширина разрыхленной полосы – 67 см, ширина щели – 6,8 см и гребнистость поверхности поля – 8,8 см. Значения этих показателей превышают нормативные требования (НД). А показатель сохранности стерни (не менее 90 %) не обеспечивается на всех скоростных режимах.

Определение влияния скорости движения агрегата и силы сопротивления пружины предохранительного устройства на тяговое сопротивление щелереза показало, что с увеличением скорости движения и силы сопротивления пружины предохранительного устройства тяговое сопротивление увеличивается, результаты исследований представлены на рисунке 9. Полученные зависимости показывают, что с увеличением скорости движения тяговое сопротивление растет. С увеличением силы сопротивления пружины предохранительного устройства тяговое сопротивление щелереза увеличивается. К увеличению тягового сопротивления приводит стабилизация хода рабочих органов (щелерезов) по глубине обработки. Чем меньше отклонение рабочего органа от заданной глубины, тем выше тяговое сопротивление.

Таким образом, установлено, что в данных почвенных условиях настройка предохранительного устройства, обеспечивающее силу сопротивления пружины равной 10,0 кН, обеспечивает устойчивость хода рабочих органов по глубине обработки, среднее квадратическое отклонение от заданной глубины обработки не превышает 1,5 см. Проведенные эксперименты подтверждают верность теоретического обоснования параметров предохранительного устройства.



1 – сопротивление пружины – 10,0 кН; 2 – сопротивление пружины – 4,0 кН; 3 – сопротивление пружины – 1,0 кН

Рисунок 9 – Влияние скорости движения агрегата и силы сопротивления пружины предохранительного устройства на тяговое сопротивление щелереза

Заключение

Обоснованы параметры предохранительного устройства. Проведенные расчеты показали, что с увеличением горизонтального усилия на рабочий орган (щелерез) сила сопротивления пружины возрастает, чем выше нагрузка на щелерез, тем выше сопротивление пружин.

Результаты экспериментальных исследований показали, в данных почвенных условиях, наиболее устойчивое движение по глубине обработки показал вариант, где пружина была отрегулирована на сопротивление в 10,0 кН или 1000 кг. Глубина обработки в данных условиях снизилась на 1,3 см, а общее снижение от установочной глубины составило 1,5 см. Среднее квадратическое отклонение от заданной глубины находилось в пределах 1,1-1,4 см. Коэффициент вариации находится в пределах 3,8-4,8%.

С увеличением силы сопротивления пружины предохранительного устройства тяговое сопротивление щелереза увеличивается. К увеличению тягового сопротивления приводит стабилизация хода рабочих органов (щелерезов) по глубине обработки. Чем меньше отклонение рабочего органа от заданной глубины, тем выше тяговое сопротивление. Полученные результаты экспериментов подтверждают верность теоретического обоснования параметров предохранительного устройства.

Информация о финансировании

Данное исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета промышленности Министерства промышленности и строительства Республики Казахстан (проект № BR23992516).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кененбаев, С.Б. Проблемы и приоритеты научного обеспечения ресурсосберегающего земледелия в Казахстане [Текст] / С.Б. Кененбаев // Диверсификация растениеводства и No-Till как основа сберегающего земледелия и продовольственной безопасности. Сб. докладов международной конференции, посвященной 20-летию независимости Республики Казахстан, 23-24 июня 2011 г. – Астана-Шортанды, – 2011. – С. 9–16.
2. Сулейменов, М.К. Основы ресурсосберегающей системы земледелия в Северном Казахстане – плодосмен и нулевая или минимальная обработка почвы [Текст] / М.К. Сулейменов // Диверсификация растениеводства и No-Till как основа сберегающего земледелия и продовольственной безопасности. Сб. докладов международной конференции, посвященной 20-летию независимости Республики Казахстан, 23-24 июня 2011 – г. Астана-Шортанды, – 2011. – С. 16–26.
3. Lou S. Current Knowledge and Future Directions for Improving Subsoiling Quality and Reducing Energy Consumption in Conservation Fields [Текст] / S. Lou; J. He; H. Li; Q. Wang; C. Lu; W. Liu; P. Liu; Z. Zhang; H. Li // Agriculture, – 2021, 11, 575. – 17 p. <https://doi.org/10.3390/agriculture11070575>.
4. Yunxia Wang. Optimized design and field experiment of a staggered vibrating subsoiler for conservation tillage [Текст] / Wang Yunxia, N Osman Abdalla, Zhang Dongxing, Yang Li, Cui Tao, Zhong Xiangjun // Int J Agric & Biol Eng. January, – 2019. Vol. 12 No.1. – PP. 59–65.
5. Hussain Th. Tahir. Evaluation of the subsoiler tine designed and manufactured locally and its effect on some power indicators and corn yield [Текст] / Th. Tahir Hussain, H. Jeejo Nazat. // Plant Archives Vol. 19, Supplement 1, – 2019, – pp. 1241–1248. ISSN:0972-5210.
6. Odey Simon Ogbeche. Development and performance evaluation of instrumented subsoilers in breaking soil hard-pan [Текст] / Ogbeche Odey Simon, Idowu Manuwa Seth, Theophilus Ewetumo //

AgricEngInt: CIGR Journal Open access at <http://www.cigrjournal.org>. December, – 2018. Vol. 20, – No. 3. – pp. 85–96.

7. **Ordenez-Morales K.D. Effect of Tillage Systems on Physical Properties of a Clay Loam Soil under Oats** [Текст] / K.D. Ordenez-Morales; M. Cadena-Zapata; A. Zermeno-Gonzalez; S. Campos-Magana // *Agriculture* – 2019, 9, – p. 62.

8. **Haruna S.I. Influence of Cover Crop, Tillage, and Crop Rotation Management on Soil Nutrients** [Текст] / S.I. Haruna; N.V. Nkongolo // *Agriculture* – 2020, 10, – p. 225.

9. **Poehlitz, J., Ruecknagel, J., Schlueter, S., Vogel, H.J., & Christen, O. Computed tomography as an extension of classical methods in the analysis of soil compaction, exemplified on samples from two tillage treatments and at two moisture tensions** [Текст] / J. Poehlitz; J. Ruecknagel; S. Schlueter; H.J. Vogel; O. Christen // *Geoderma*. 346, – 2019, – pp. 52–62. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.03.023>.

10. **Singh k. Sub-soiling improves productivity and economic returns of cotton-wheat cropping system** [Текст] / k. Singh; O.P. Choudhary; H.P. Singh; A. Singh; S.K. Mishra // *Soil & Tillage Research*, 189, – 2019, – P.P. 131–139. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.01.013>.

11. **Ashish Kumar Kerketta. Development of Subsoiler Suitable for Chhattisgarh Plain** [Текст] / Kumar Kerketta Ashish; B.P. Mishra; Ch. Swapnil // *Int. J. Pure App. Biosci.* 6 (1), – 2018. – pp. 1478–1485. ISSN: 2320 – 7051. DOI: <http://dx.doi.org/10.18782/2320-7051.6373>.

12. **Xu X. Parameter Optimization and Test for the Pulse-Type Gas Explosion Subsoiler** [Текст] / X. Xu; P. Jing; Q. Yao; W. Chen; H. Meng; X. Li; J. Qi; H. Peng // *Agriculture* – 2024, 14, – 1417. <https://doi.org/10.3390/agriculture14081417>.

13. **Kondratiuk A. Substantiation of the Use of a Flexible Chain-Type Subsoiler for Improving the Agrotechnological Properties of Soil** [Текст] / A. Kondratiuk; E. Šarauski; B. Sheludchenko; S. Kukharets; A. Jasinskas; P. Zabrodskiy; V. Shubenko // *Sustainability* – 2024, 16, – 5355. <https://doi.org/10.3390/su16135355>.

14. **Халилов, М.Б. Щелевание как эффективный ресурсосберегающий прием обработки почвы** [Текст] / М.Б. Халилов; З.А. Исаев; К.М. Алибулатов; З.М. Загидов; Л.Г. Далгатова, А.З. Джамбулатова // *Проблемы развития АПК региона*. – 2021. – № 1 (45). – С. 122–127.

15. **Вишняков, В.А. Агроэкономическая и энергетическая оценка эффективности щелевания почвы как мелиоративного приема в паровом поле на Алтае** [Текст] / В.А. Вишняков; А.П. Дробышев // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. – 2022. – № 5 (211). – С. 16–20. DOI: 10.53083/1996-4277-2022-211-5-16-20.

16. **Дубенок, Н.Н. Техника и технология щелевания мелиорируемых почв** [Текст] / Н.Н. Дубенок; А.Е. Новиков; Т.Г. Константинова; М.И. Филимонов // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. – 2022. – № 2 (66). – С. 321–328. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-02-40.

17. **Гуляев, М.В. Влияние последствия объемного щелевания в сочетании с обработками почвы на урожайности пшеницы** [Текст] / М.В. Гуляев // В сборнике: *Повышение эффективности использования и экологической безопасности земель сельскохозяйственного назначения в условиях мелиорации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, ВНИИМЗ, посвященной 50-летию освоения Нечерноземной зоны*. – Тверь, 2024. – С. 227–232.

18. **Анискин, В.И. Исходные требования на базовые машинные технологические операции в растениеводстве** [Текст] / В.И. Анискин, А.А. Артюшин // *Министерство сельского хозяйства российской федерации*. Москва, – 2005. – 270 с.

19. **Панов, И.М. Исследование работы и методика проектирования пружинных предохранителей культиваторов** [Текст] // *Научные труды ВИСХОМ*, выпуск 33. Москва – 1962. – С. 28–73.

20. **Синеоков, Г.Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин** [Текст] / Г.Н. Синеоков, И.Н. Панов // *Машиностроение*. – 1977, – 322 с.

21. **Шило, И.Н. Механический предохранитель рабочего органа машины для обработки почвы** [Текст] / И.Н. Шило, Н.Н. Романюк, В.А. Агейчик // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. – 2014. – №1, – С. 30–33.

22. **Jin He. Current knowledge and future directions for improving subsoiling quality and reducing energy consumption in conservation fields** [Текст] / Jin He, Hongwen Li, Caiyun Lu // *Agriculture*, – 2021, – №11, – pp. 575.

23. **Федосьев, В.И. Сопротивление материалов**. [Текст] / В.И. Федосьев // – 8-е изд., стереотип. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, – 1979. – 560 с.

24. **Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя** [Текст] / В.И. Анурьев // Т. 1 – М.: Машиностроение. – 1979. – 86 с.

25. **Lou Shangyi. Design and test evaluation of the subsoiler equipped with tillage depth monitoring and control subsoiling assemblies** [Текст] / Shangyi Lou; Jin He; Hongwen Li; Qingjie Wang; Caiyun Lu; Yihang Wu; Peng Liu; Hui Li. // *INMATEH – Agricultural Engineering*. Vol. 65, No. 3 / – 2021, – pp. 139–152. <https://doi.org/10.35633/inmateh-65-15>.

REFERENCES:

1. **Kenenbaev S.B. Problemy' i priority' nauchnogo obespecheniya resursosberegayushhego zemledeliya v Kazahstane** [Problems and priorities of scientific support for resource-saving agriculture in Kazakhstan]. *Diversifikaciya rastenievodstva i No-Till kak osnova sberegayushhego zemledeliya i prodovol'stvennoj bezopasnosti. Sbornik dokladov mezhdunarodnoj konferencii, posvyashhennoj 20-letiyu nezavisimosti Respubliki Kazahstan*, June 23-24, 2011, Astana-Shortandy, 2011, pp. 9–16. (In Russian)
2. **Sulejmenov M.K. Osnovy' resursosberegayushhej sistemy' zemledeliya v Severnom Kazahstane – plodosmen i nulevaya ili minimal'naya obrabotka pochvy'** [The foundations of a resource-saving farming system in Northern Kazakhstan are crop rotation and zero or minimum tillage]. *Diversifikaciya rastenievodstva i No-Till kak osnova sberegayushhego zemledeliya i prodovol'stvennoj bezopasnosti. Sbornik dokladov mezhdunarodnoj konferencii, posvyashhennoj 20-letiyu nezavisimosti Respubliki Kazahstan*, June 23-24, 2011, Astana-Shortandy, 2011, pp. 16–26. (In Russian)
3. **Lou S., J He., Li H., et al. Current knowledge and future directions for improving subsoiling quality and reducing energy consumption in conservation fields.** *Agriculture*, 2021, vol. 11, iss. 7, art. 575. <https://doi.org/10.3390/agriculture11070575>.
4. **Wang Yunxia, Abdalla N. Osman, Zhang Dongxing. Optimized design and field experiment of a staggered vibrating subsoiler for conservation tillage.** *Int J Agric & Biol Eng*, 2019, vol. 12, no.1, pp. 59–65.
5. **Hussain Th. Tahir, H. Jeejo Nazat. Evaluation of the subsoiler tine designed and manufactured locally and its effect on some power indicators and corn yield.** *Plant Archives*, 2019, vol. 19, supp. 1, pp. 1241–1248. ISSN:0972-5210.
6. **Odey Simon Ogbeche, Seth, Idowu Manuwa, Ewetumo Theophilus. Development and performance evaluation of instrumented subsoilers in breaking soil hard-pan.** *CIGR Journal*, 2018, vol. 20, No. 3, pp. 85–96.
7. **Ordenez-Morales K.D. Cadena-Zapata M., Zermeno-Gonzalez, A., Campos-Magana S. Effect of Tillage Systems on Physical Properties of a Clay Loam Soil under Oats.** *Agriculture*, 2019, vol. 9, iss. 3, art. 62.
8. **Haruna S.I., Nkongolo N.V. Influence of Cover Crop, Tillage, and Crop Rotation Management on Soil Nutrients.** *Agriculture*, 2020, vol. 10, iss. 6, art. 225.
9. **Poehlitz J., Ruecknagel J., Schlueter S., Vogel H.J., & Christen O. Computed tomography as an extension of classical methods in the analysis of soil compaction, exemplified on samples from two tillage treatments and at two moisture tensions.** *Geoderma*, vol. 346, pp. 52–62. DOI: 10.1016/j.geoderma.2019.03.023.
10. **Singh k., Choudhary O.P., Singh H.P., Singh A., Mishra S.K. Sub-soiling improves productivity and economic returns of cotton-wheat cropping system.** *Soil & Tillage Research*, vol. 189, 2019, pp. 131–139. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.01.013>.
11. **Ashish Kumar Kerketta, B.P. Mishra, Swapnil Ch. Development of Subsoiler Suitable for Chhattisgarh Plain.** *Int. J. Pure App. Biosci.*, 2018, 6 (1), pp. 1478–1485.
12. **Xu X., Jing P., Yao Q., et al. Parameter Optimization and Test for the Pulse-Type Gas Explosion Subsoiler.** *Agriculture*, 2024, vol. 14, iss. 8, art. 1417. <https://doi.org/10.3390/agriculture14081417>.
13. **Kondratiuk A., Šarauskius E., Sheludchenko B., et al. Substantiation of the Use of a Flexible Chain-Type Subsoiler for Improving the Agrotechnological Properties of Soil.** *Sustainability*, 2024, vol. 16, iss. 13, art. 5355. <https://doi.org/10.3390/su16135355>.
14. **Halilov M.B. Shhelevanie kak e'ffektivny'j resursosberegayushhij priem obrabotki pochvy'** [Slitting as an effective resource-saving method of soil cultivation]. *Problemy' razvitiya APK regiona*, 2021, no. 1 (45), pp. 122–127. (In Russian)
15. **Vishnyakov V.A. Agroe'konomicheskaya i e'nergeticheskaya ocenka e'ffektivnosti shhelevaniya pochvy' kak meliorativnogo priema v parovom pole na Altae** [Agroeconomic and energy assessment of the efficiency of soil slitting as a melioration technique in a fallow field in Altai]. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2022, no. 5 (211), pp. 16–20. DOI: 10.53083/1996-4277-2022-211-5-16-20. (In Russian)
16. **Dubenok N.N. Tehnika i tehnologiya shhelevaniya melioriruemy' pochv** [Technique and technology of slitting reclaimed soils]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vy'sshee professional'noe obrazovanie*, 2022, no. 2 (66), pp. 321–328. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-02-40. (In Russian)
17. **Gulyaev, M.V. Vliyanie posledejstviya ob"emnogo shhelevaniya v sochetanii s obrabotkami pochvy' na urozhajnost' pshenicy'** [The effect of the aftereffects of volumetric slitting in combination with tillage on wheat yield]. *V sbornike: Povy'shenie e'ffektivnosti ispol'zovaniya i e'kologicheskoy bezopasnosti zemel' sel'skohozyajstvennogo naznacheniya v usloviyah melioracii. VNIIMZ, posvyashhennoj 50-letiyu osvoeniya Nechernozemnoj zony'*, Tver, 2024, pp. 227–232. (In Russian)
18. **Aniskin V.I. Ishodny'e trebovaniya na bazovy'e mashinny'e tehnologicheskie operacii v rastenievodstve** [Initial requirements for basic machine technological operations in plant growing]. *Ministerstvo sel'skogo hozyajstva rossijskoj federacii*, Moscow, 2005, 270 p. (In Russian)

19. **Panov I.M. Issledovanie raboty' i metodika proektirovaniya pruzhinny'h predohranitelej kul'tivatorov** [Research of operation and design methodology of spring safety devices for cultivators]. *Nauchny'e trudy' VISHOM*, 1962, iss. 33, Moscow, pp. 28–73. (In Russian)
20. **Sineokov, G.N. Teoriya i raschet pochvoobrabatyvayushih mashin** [Theory and calculation of tillage machines]. *Mashinostroenie*, 1977, 322 p. (In Russian)
21. **Shilo I.N. Mehanicheskij predohranitel' rabocheho organa mashiny' dlya obrabotki pochvy'** [Mechanical safety device of the working element of a soil cultivation machine]. *Sel'skohozyajstvenny'e mashiny' i tehnologii*, 2014, no. 1, pp. 30–33. (In Russian)
22. **Jin He, Li Hongwen, Lu Caiyun. Current knowledge and future directions for improving subsoiling quality and reducing energy consumption in conservation fields.** *Agriculture*, 2021, no. 11, iss.7, art. 575.
23. **Fedosev V.I. Soprotivlenie materialov** [Strength of materials]. Moscow, Nauka, Glavnaya redakciya fiziko-matematicheskoy literatury', 1979, 560 p. (In Russian)
24. **Anurev V.I. Spravochnik konstruktora-mashinostroytelya** [Handbook of the mechanical engineer-designer]. Vol. 1, Moscow, Mashinostroenie, 1979, 86 p. (In Russian)
25. **Lou Shangyi, He Jin, Li Hongwen, et al. Design and test evaluation of the subsoiler equipped with tillage depth monitoring and control subsoiling assemblies.** *INMATEH – Agricultural Engineering*, 2021, vol. 65, no. 3, pp. 139–152. <https://doi.org/10.35633/inmateh-65-15>.

Сведения об авторах:

Полищук Юрий Владимирович – кандидат технических наук, заведующий лабораторией механизации животноводства, Костанайский филиал ТОО «Научно-производственный центр агроинженерии», Республика Казахстан, 110011, г. Костанай, пр. Абая, 34, тел.: 8(7142)558146, e-mail: y.polishchuk.62@mail.ru.

Дерепаскин Алексей Иванович – доктор технических наук, Костанайский филиал ТОО «Научно-производственный центр агроинженерии», Республика Казахстан, 110011, г. Костанай, пр. Абая, 34, тел.: 8(7142)558146, e-mail: celinnii@rambler.ru.

Комаров Артем Павлович – магистр сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, Костанайский филиал ТОО «Научно-производственный центр агроинженерии», Республика Казахстан, 110011, г. Костанай, пр. Абая, 34, тел.: 8(7142)558146, e-mail: komarov.artem.pavlovich@mail.ru.*

Лаптев Николай Владимирович – магистр сельского хозяйства, Костанайский филиал ТОО «Научно-производственный центр агроинженерии», Республика Казахстан, 110011, г. Костанай, пр. Абая, 34, тел.: 8(7142)558146, celinnii@rambler.ru.

Полищук Юрий Владимирович – техника ғылымдарының кандидаты, мал шаруашылығын механикаландыру зертханасының меңгерушісі, «Агроинженерия» ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС Қостанай филиалы, Қазақстан Республикасы, 110011, Қостанай қ., Абай даңғ, 34, телефон 8(7142)558146, e-mail: y.polishchuk.62@mail.ru.

Дерепаскин Алексей Иванович – техника ғылымдарының докторы, «Агроинженерия ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС Қостанай филиалы, Қазақстан Республикасы, 110011, Қостанай қ., Абай даңғ, 34, телефон. 8(7142)558146, celinnii@rambler.ru.

Комаров Артем Павлович – ауыл шаруашылығы ғылымдарының магистрі, бас ғылыми қызметкер, ғылыми қызметкер, «Агроинженерия ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС Қостанай филиалының Қазақстан Республикасы, 110011, Қостанай қ., Абай даңғ, 34, телефон 8 (7142) 558146, e-mail: komarov.artem.pavlovich@mail.ru.*

Лаптев Николай Владимирович – ауыл шаруашылығы магистрі, ғылыми қызметкер, «Агроинженерия» ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС Қостанай филиалы, Қазақстан Республикасы, 110011, Қостанай қ., Абай даңғ, 34, тел.: 8 (7142) 558146, e-mail: celinnii@mail.ru.

Polishchuk Yuriy Vladimirovich – Candidate of Technical Sciences, Head of the Livestock Production Engineering Laboratory, Kostanay Branch of “Research Institute of Agricultural Engineering” LLP, Republic of Kazakhstan, 110011, Kostanay, 34 Abai Ave., tel.: 8(7142)558146, e-mail: y.polishchuk.62@mail.ru.

Derepaskin Aleksey Ivanovich – Doctor of Technical Sciences, Kostanay Branch of “Research Institute of Agricultural Engineering” LLP, Republic of Kazakhstan, 110011, Kostanay, 34 Abai Ave., tel.: 8(7142)558146, e-mail: celinnii@rambler.ru.

Komarov Artyom Pavlovich – Master of Agricultural Sciences, Researcher, Kostanay branch of Scientific and Production Center of Agroengineering LLP, Republic of Kazakhstan, 110011, Kostanay, 34 Abai Ave., tel.: 8(7142)558146, e-mail: komarov.artem.pavlovich@mail.ru.*

Laptev Nikolay Vladimirovich – Master of Agricultural Sciences, Researcher, Kostanay Branch of “Research Institute of Agricultural Engineering” LLP, Republic of Kazakhstan, 110011, Kostanay, 34 Abai Ave., tel.: 8(7142)558146, e-mail: celinnii@mail.ru.