

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЩЕЛЕВАТЕЛЯ ДЛЯ ОСЕННЕЙ ОБРАБОТКИ СТЕРНЕВЫХ ФОНОВ К ТРАКТОРАМ ТЯГОВОГО КЛАССА 8

SUBSTANTIATION OF RATIONAL CONSTRUCTIVE PARAMETERS OF THE CHISEL SUBSOILER FOR AUTUMN TILLAGE OF STUBBLE FIELD TO TRACTORS OF THE 8 DRAWBAR CATEGORY

Ю.В. ПОЛИЩУК¹, к.т.н.
А.И. ДЕРЕПАСКИН¹, д.т.н.
Н.В. ЛАПТЕВ¹
А.П. КОМАРОВ²

¹ Костанайский филиал «Научно-производственный центр агроинженерии», Костанай, Казахстан

² Костанайский государственный университет имени А. Байтурсынова, Костанай, Казахстан, y.polishchuk.62@mail.ru

YU.V. POLISHCHUK¹, PhD in Engineering
A.I. DEREPAKIN¹, DSc in Engineering
N.V. LAPTEV¹
A.P. KOMAROV²

¹ Kostanay branch of Scientific Production Center of Agricultural Engineering, Kostanay, Kazakhstan

² Kostanay State University named after A. Baitursynov, Kostanay, Kazakhstan, y.polishchuk.62@mail.ru

В статье представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований по обоснованию рационального расстояния от точки соединения орудия с трактором до оси вращения опорных колес и расстояния от оси симметрии рамы в горизонтальной плоскости до точки соединения с рамой в вертикальной плоскости. Теоретическими исследованиями установлено, что устойчивость хода рабочих органов при выполнении технологического процесса щелевания почвы (твердость почвы не менее 6 МПа) будет обеспечиваться при расстоянии от точки соединения орудия с трактором до оси вращения опорных колес, равном 4,3–5,3 м. Расстояние от оси симметрии рамы в горизонтальной плоскости до точки соединения с рамой должно находиться в пределах 0–300 мм. При проведении экспериментальных исследований состояние почвы на глубине обработки 0–30 см соответствовало следующим средним показателям: твердость почвы 4,8 МПа, влажность 16,3 %, объемный вес 1,39 г/см³. Испытания в производственных условиях проводились на скоростях движения 7,2; 8,9 и 10,0 км/ч. Глубина обработки щелерезами составила 28,5–29,7 см, дисковыми рабочими органами 8,8–9,5 см. Производительность агрегата, при ширине захвата орудия 8,8 м и скорости движения 8,9 км/ч, за один час основного времени составляла 7,8 га, тяговое сопротивление – 82,3 кН. Часовой расход топлива составил 76,2 кг, при этом на один гектар расходуется 9,7 кг. Мощность, потребляемая на преодоление тягового сопротивления орудия, – 203,5 кВт. Устойчивость выполнения технологического процесса по глубине обработки и тяговому сопротивлению говорит об обоснованности выбранных конструктивных параметров щелевателя для осенней обработки стерневых фондов.

Ключевые слова: рациональное расстояние, координаты расположения, щелевание почвы, агротехнические, энергетические показатели.

The article presents the results of theoretical and experimental studies to substantiate a rational distance from the point of connection of the implement with the tractor to the axis of rotation of the support wheels and the distance from the axis of symmetry of the frame in the horizontal plane to the point of connection of the hitch with the frame in the vertical plane. Theoretical studies have established that the stability of the working bodies during the process of soil sowing (soil hardness of at least 6 MPa) will be provided at a distance from the point of connection of the implement with the tractor to the axis of rotation of the support wheels equal to 4.3–5.3 m. The distance from the axis of symmetry of the frame in the horizontal plane to the point of connection of the hitch with the frame should be in the range 0–300 mm. During experimental studies, the state of the soil at a processing depth of 0–30 cm corresponded to the following average indicators: soil hardness 4.8 MPa, humidity 16.3 %, bulk density 1.39 g/cm³. The tests in the farm conditions were carried out at the travel speeds of 7.2, 8.9 and 10.0 km/h. The depth of tillage with the chisel was 28.5–29.7 cm, with the disc tillage tools 8.8–9.5 cm. At the working width of 8.8 m and travel speed of 8.9 km/h the working capacity of the aggregate per 1 hour of the basic time is 7.8 ha, draught resistance is 82.3 kN. The fuel consumption per hour was 76.2 kg, while 9.7 kg is consumed per hectare. The power consumed to overcome the draught resistance of the implement is 203.5 kW. The stability of the technological process in terms of tilling depth and draught resistance indicates the validity of the selected constructive parameters of the chisel subsoiler for autumn tillage of stubble field.

Keywords: rational distance, location coordinates, soil chiselling, agrotechnical, energy indices.

Введение

Зимние осадки, после таяния снега, плохо впитываются в необработанный поверхностный слой из-за его переуплотнения. Талые воды стекают и собираются в понижениях, образуют озера, чаще всего прямо на полях. Предотвратить образование озер и обеспечить интенсивное накопление и сохранение влаги зимних осадков на полях можно за счет щелевания почв на глубину 30–35 см. При этом на поверхности поля остается 80–90 % стерни и разрыхленные полосы шириной 45–55 см, способствующие накоплению влаги в почве. Данный агротехнический прием позволяет не только накопить, но и сохранить почвенную влагу за счет наличия на поверхности поля растительных остатков, предотвратить возникновение водной эрозии и повысить урожайность сельскохозяйственных культур на 25–30 %.

В настоящее время на рынке предлагаются различные машины мировых флагманов сельскохозяйственного машиностроения, таких как Case, Zone-Builder фирмы Unverferth и Till-Ripper, фирмы John Deere (США), Salford (Канада). Основными недостатками машин дальнего зарубежья является высокая первоначальная стоимость их приобретения и значительные затраты на запасные части необходимые в процессе эксплуатации.

Цель исследований

Разработать эффективное техническое средство для щелевания почвы на стерневых, пропашных, паровых фонах и старовозрастных многолетних травах, обеспечивающее повышение производительности с выполнением требований по качеству обработки.

Материалы и методы

Правильное расположение опорных колес на раме орудия обеспечивает качественное выполнение технологического процесса и минимальное тяговое сопротивление. Рациональные координаты расположения опорных колес и расстояние от рамы орудия до точки соединения со сницей в вертикальной плоскости обосновывались методом математического моделирования на расчетной схеме орудия. Известно, что почвообрабатывающий агрегат представляет собой сложную динамическую систему с множеством наложенных на него внешних и внутренних связей. При составлении математической модели рабочего про-

цесса почвообрабатывающего орудия учесть это множество связей не представляется возможным, поэтому реальное орудие заменяется упрощенной схемой, учитывающей основные факторы, которые оказывают наибольшее влияние на выходные показатели. Пользуясь законами освобождения от связей, заменяют их реакциями. Тогда несвободная материальная система рассматривается как система свободная, движущаяся под действием активных сил и реакций связи.

В зависимости от технологического назначения орудия используют соответствующие критерии оценки оптимизации параметров при математическом моделировании. Для почвообрабатывающих орудий, предназначенных для глубокого рыхления почвы, критериями оптимизации параметров при математическом моделировании принимается минимум тягового сопротивления при достаточной устойчивости хода по глубине обработки [1, 2, 3].

Для упрощения математической модели приняты следующие основные допущения:

- сумма элементарных сил, действующих на рабочий орган со стороны почвы, представлена в виде горизонтальной и вертикальной составляющих;
- при перемещении орудия по полю опорные колеса перемещаются по неровностям без отрыва;
- масса орудия сосредоточена в его центре масс;
- сила сопротивления рабочих органов по ширине захвата орудия меняется незначительно;
- агрегат движется прямолинейно и равномерно.

С учетом принятых допущений можно представить, что орудие под действием активных сил, включающих горизонтальную и вертикальную составляющие силы тяги и силы тяжести орудия, а также реакций связи, представленных горизонтальными и вертикальными составляющими реакций на опорных колесах, прорезных дисках, щелерезах и прикапывающих катках, копирует неровности поверхности поля и поворачивается на некоторый угол относительно точки прицепа *A*. Примем за начало координат точку *A* и, спроектировав на координатные оси *X* и *Z* активные силы и силы реакции связи, а также взяв моменты относительно точки *A*, получим систему уравнений равновесия орудия:

$$\begin{aligned} \Sigma F_X &= 0, \\ \Sigma F_Z &= 0, \\ \Sigma M_A &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Расчетная схема орудия представлена на рис. 1.

Проекция сил на ось X позволит получить уравнение равновесия для составляющих тягового сопротивления:

$$\Sigma F_X = -P_X + Q_X + R_{Xd} + R_{Xщ} + R_{Xк} = 0, \quad (2)$$

где Q_X – сопротивление опорных колес перекачиванию, кН; P_X – горизонтальная составляющая тягового сопротивления орудия для щелевания почвы, кН; R_{Xd} , $R_{Xщ}$, $R_{Xк}$ – горизонтальные составляющие реакции почвы, действующие на дисковый нож, щелерез, прикатывающий каток, кН.

Проекция сил на ось Z дает выражение:

$$\Sigma F_Z = P_Z + R_{Zд} + Q_Z - G - R_{Zщ} + R_{Zк} = 0, \quad (3)$$

где G – вес орудия, кН; P_Z – вертикальная составляющая тягового сопротивления орудия для щелевания почвы, кН; $R_{Zд}$, R_Z , $R_{Zщ}$, $R_{Zк}$ – вертикальные составляющие реакции почвы, действующие на дисковый нож, опорные колеса, щелерез и прикатывающий каток, кН.

Сумма моментов относительно точки вращения A будет иметь вид:

$$\begin{aligned} \Sigma M_A &= -R_{Zд} \delta_d Z_d - R_{Zд} X_d - Q_Z \mu_0 Z_Q - Q_Z X_Q + \\ &+ GX_G - R_{Xщ} Z_{щ} + R_{Xщ} \delta_{щ} X_{щ} - \\ &- R_{Zк} \mu_k Z_k - R_{Zк} X_k = 0, \end{aligned} \quad (4)$$

где X_d , X_G , X_Q , $X_{щ}$, X_k , Z_d , Z_Q , $Z_{щ}$, Z_k – координаты расположения рабочих органов, центра тяжести орудия и опорных колес относительно точки вращения A .

Составляющие реакции почвы на опорные колеса Q_X и Q_Z , реакции почвы на прикатывающий каток $R_{Xк}$, а также проекции сопротивления почвы на вертикальную ось щелерезов $R_{Zщ}$ и прорезных дисков R_{Xd} представим через их составляющие:

$$Q_X = \mu_0 Q_Z, R_{Xк} = \mu_k R_{Zк}, R_{Zщ} = \delta_{щ} R_{Xщ},$$

$$R_{Xd} = \delta_d R_{Zд}, \quad (5)$$

где μ_k , μ_0 – коэффициенты сопротивления перекачиванию прикатывающего катка и опорных колес (0,25; 0,15); $\delta_{щ}$, δ_d – коэффициенты пропорциональности, соответственно, для щелереза и прорезного диска (0,5; 1,2).

Преобразуя выражение (4), заменяем неизвестные реакции их составляющими из выражений (5) и получаем выражение (6) для определения вертикальной нагрузки на опорное колесо прицепного щелевателя.

$$Q_Z = \frac{-R_{Zд} \delta_d Z_d - R_{Zд} X_d + GX_G - R_{Xщ} Z_{щ} + R_{Xщ} \delta_{щ} X_{щ} - R_{Zк} \mu_k Z_k - R_{Zк} X_k}{\mu_0 Z_Q + X_Q}. \quad (6)$$

При проведении производственных испытаний экспериментальный образец щелевателя для осенней обработки стерневых фонов к тракторам тягового класса 8 фактические значения условий испытаний определены в соответствии с требованиями ГОСТ 20915 [5]. Агротехническая оценка проводилась в соответствии с требованиями ГОСТ 33736 [6]. Энергетическая оценка проводилась в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52777 [7]. Полученные данные экспериментальных исследований обработаны методом математической статистики [8] с использованием компьютерной программы Excel.

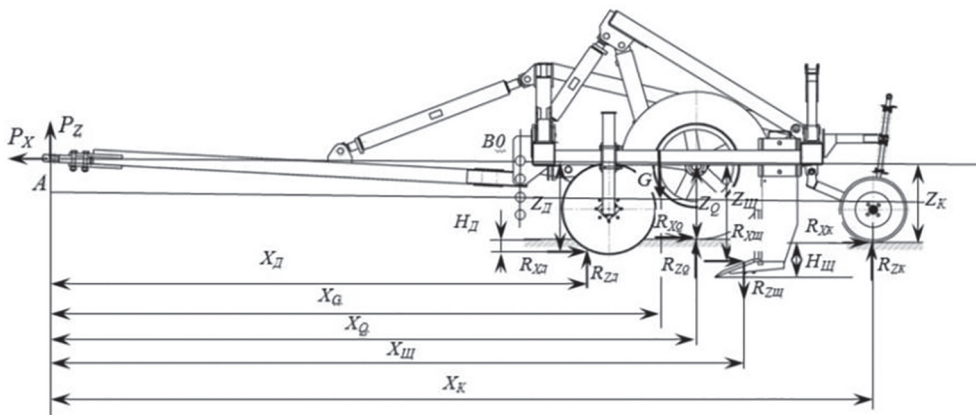


Рис. 1. Расчетная схема прицепного щелевателя

Результаты и обсуждение

В 2015–2017 гг. в Костанайском филиале «КазНИИМЭСХ» была проведена НИР и разработан экспериментальный образец щелевателя для осенней обработки стерневых фонов к тракторам тягового класса 8.

Проведены расчеты по выражению (6). Изменялось расстояние от оси вращения опорных колес до точки *A* соединения орудия с трактором в пределах от 4,0 до 7,6 м с шагом 1,2 м. Далее изменялось положение точек соединения рамы орудия со сницей в вертикальной плоскости. Сницю соединяли с рамой орудия в четырех точках (четыре варианта В0; В1; В2; В3) от 0 до 300 мм с шагом 100 мм. Первый вариант, – когда точка соединения сниця и рамы лежит на оси симметрии рамы в горизонтальной плоскости, то есть расстояние равно нулю. Далее сницю опускали вниз на 100, 200 и 300 мм, при этом для каждого положения сниця изменялось положение опорных колес. Определялось влияние положения опорных колес и точки соединения сниця с рамой орудия на вертикальную нагрузку на опорное колесо и изменение тягового сопротивления. Результаты проведенных расчетов представлены на рис. 2 и 3.

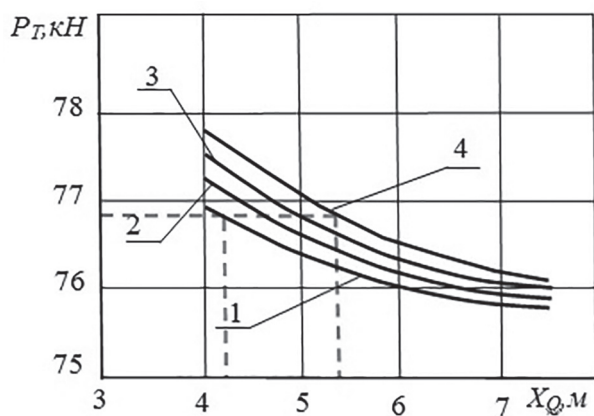


Рис. 2. Влияние на вертикальную нагрузку на опорные колеса расстояния от точки соединения орудия с трактором до оси вращения опорных колес и расстояния от оси симметрии рамы в горизонтальной плоскости до точки соединения сниця с рамой:
1 – 0 мм; 2 – 100 мм; 3 – 200 мм; 4 – 300 мм

Установлено, что с увеличением расстояния от точки *A* соединения орудия с трактором до оси вращения опорных колес вертикальная нагрузка на опорное колесо и тяговое сопротивление прицепного щелевателя снижаются.

При расстоянии от точки соединения орудия с трактором до оси вращения опорных колес, равном 4,0 м, и условии, что точка соединения сниця с рамой расположена на оси симметрии рамы в горизонтальной плоскости, вертикальная нагрузка на опорное колесо составила 4,3 кН, при этом тяговое сопротивление достигало 76,9 кН. Увеличение расстояния до 7,6 м способствовало снижению вертикальной нагрузки на опорное колесо до 2,1 кН, а тяговое сопротивление уменьшилось до 75,7 кН. Увеличение расстояния от оси симметрии рамы в горизонтальной плоскости до точки соединения сниця с рамой до 300 мм, с шагом 100 мм способствовало увеличению вертикальной нагрузки на опорное колесо до 6,0 кН, при этом тяговое сопротивление достигало 77,8 кН.

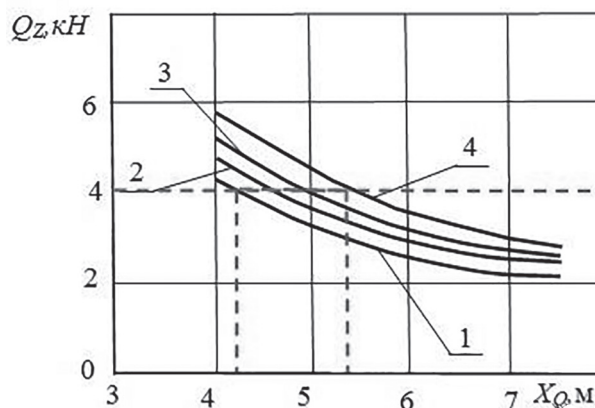


Рис. 3. Влияние на тяговое сопротивление щелевателя расстояния от точки соединения орудия с трактором до оси вращения опорных колес и расстояния от оси симметрии рамы в горизонтальной плоскости до точки соединения сниця с рамой:
1 – 0 мм; 2 – 100 мм; 3 – 200 мм; 4 – 300 мм

Увеличение расстояния до 7,6 м способствовало снижению вертикальной нагрузки на опорное колесо до 3,0 кН, а тяговое сопротивление уменьшилось до 76,1 кН. Устойчивость хода прицепного щелевателя по глубине обработки зависит от усилия, с которым орудие действует на опорные колеса. Исследованиями [4] установлено, что вертикальная нагрузка на одно опорное колесо должно быть не менее 4 кН, при этом обеспечивается устойчивое движение почвообрабатывающих орудий по глубине обработки.

Таким образом, устойчивость хода рабочих органов при выполнении технологического процесса щелевания почвы (твердость

почвы не менее 6 МПа) будет обеспечиваться при расстоянии от точки *A* соединения орудия с трактором до оси вращения опорных колес равном 4,3–5,3 м. При этом расстояние от оси симметрии рамы в горизонтальной плоскости до точки соединения с ницей с рамой должно находиться в пределах 0–300 мм.

По результатам теоретических исследований была разработана чертежная документация на экспериментальный образец щелевателя для осенней обработки стерневых фонов к тракторам тягового класса 8. В чертежной документации расстояние от точки соединения орудия с трактором до оси вращения опорных колес было принято равным $4,4 \pm 0,05$ м, а расстояние от оси симметрии рамы в горизонтальной плоскости до точки соединения с ницей с рамой в вертикальной плоскости – равным 150 ± 10 мм.

Производственные испытания экспериментального образца щелевателя для осенней обработки стерневых фонов проводились в КХ «Жазахай» (Костанайская обл.) на поле после уборки зерновых колосовых. В период выполнения работ на глубине обработки 0–30 см средние показатели составляли: твердость почвы 4,8 МПа, влажность – 16,3 %, объемный вес – $1,39 \text{ г/см}^3$. Перед началом проведения испытаний экспериментального образца были проведены работы по настройке и регулировке глубины хода дисковых рабочих органов и щелерезов, силы воздействия катка на почву и расположения рамы орудия относительно поверхности поля. Экспериментальный образец прицепного щелевателя для осенней обработки стерневых фонов в агрегате с трактором тягового класса 8 представлен на рис. 4.

Конструктивно-технологическая схема щелевателя для осенней обработки стерневых

фонов включает последовательное расположение дискового рабочего органа, щелереза и прикатывающего катка. Технологический процесс выполняется следующим образом. Дисковый рабочий орган разрезает почву, растительные и пожнивные остатки на глубину до 12 см, щелерез рыхлит почву на глубину до 30 см и образует щель, прикатывающий каток разрушает почвенные комки, частично заполняет щель почвой и выравнивает обработанную поверхность.

При проведении испытаний в производственных условиях проверялось влияние технологических и конструктивных параметров (в том числе расположение опорных колес и соединение с ницей с рамой орудия) на агротехнические и энергетические показатели и их соответствие исходным требованиям (ИТ).

Испытания в производственных условиях проводились на скоростях движения 7,2; 8,9 и 10,0 км/ч. Глубина обработки щелерезом составила 28,5–29,7 см, дисковым рабочим органами – 8,8–9,5 см. Результаты оценки агротехнических и энергетических показателей приведены в таблице.

Увеличение скорости движения с 7,2 до 10,0 км/ч приводит к увеличению неравномерности по глубине обработки с 1,0 до 1,4 см. Полученные данные не превышают требования нормативной документации (ИТ) [9]. С увеличением скорости движения возрастают такие показатели, как ширина щели (с 4,0 до 5,9 см), ширина разрыхленной полосы (с 41 до 62 см), гребнистость поверхности поля (с 4,5 до 8,7 см), количество стерни на поверхности поля снижается (с 81 до 60 %).

Анализ полученных значений функциональных показателей позволяет сделать вывод, что экспериментальный образец прицепного

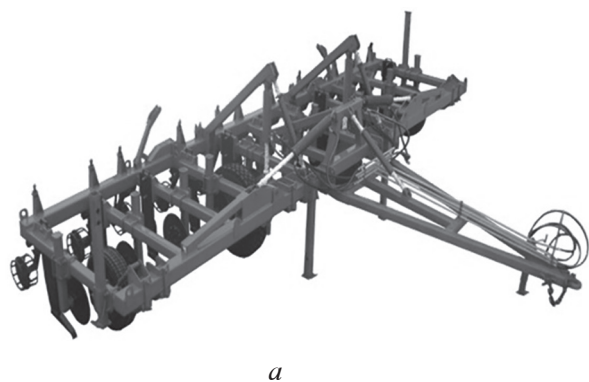


Рис. 4. Экспериментальный образец щелевателя для осенней обработки стерневых фонов: а – вид спереди сбоку; б – в агрегате с трактором Case 535, вид в работе

Агротехнические и энергетические показатели экспериментального образца прицепного щелевателя для осенней обработки стерневых фонов

Показатель	Значение показателя			
	по НД	опыт 1	опыт 2	опыт 3
Агротехнические показатели				
Скорость движения агрегата, км/ч	6,0–9,0	7,2	8,9	10,0
Рабочая ширина захвата, м	8,8	8,8	8,8	8,8
Глубина обработки щелерезом:				
– средняя, см	до 35,0	29,7	29,2	28,5
– стандартное отклонение, ± см	не более 1,5	1,1	1,2	1,4
Ширина щели, см	не более 5,0	4,0	4,7	6,9
Ширина разрыхленной полосы, см	не более 50	41	46	62
Гребнистость поверхности поля, см	не более 8,0	4,5	5,7	8,7
Сохранность стерни, %	не менее 90	81	75	60
Энергетические показатели				
Производительность по основному врем., га/ч	5,3–7,9	6,3	7,8	8,8
Расход топлива за время основной работы, кг/ч	не более 88	67,4	76,2	87,1
Тяговое сопротивление машины, кН	70,0–100,0	78,7	82,3	93,5
Мощность, потребляемая с/х машиной, кВт	133,0–250,0	157,4	203,5	261,8

щелевателя для осенней обработки стерневых фонов выполняет технологический процесс с качеством, соответствующим агротехническим требованиям (НД) на скоростях движения 7,2–8,9 км/ч. Увеличение скорости движения до 10 км/ч способствует увеличению значений показателей, таких как ширина разрыхленной полосы – 62 см, ширина щели – 6,9 см, гребнистость поверхности поля – 8,7 см. Значения этих показатели превышают нормативные требования (ИТ). А показатель сохранности стерни (не менее 90 %) не обеспечивается на всех скоростных режимах.

Энергетическая оценка экспериментального образца проводилась одновременно с определением агротехнических показателей. Установлено, что производительность агрегата при ширине захвата орудия 8,8 м и скорости движения 8,9 км/ч за один час основного времени составляла 7,8 га, тяговое сопротивление – 82,3 кН. Часовой расход топлива составил 76,2 кг, при этом на один гектар расходуется 9,7 кг. Мощность, потребляемая на преодоление тягового сопротивления орудия, – 203,5 кВт, при этом удельные затраты энергии в агрегате с трактором Case 535 – 93,9 МДж/га.

Заключение

По результатам теоретических исследований установлено, что устойчивость хода рабочих органов при щелевании почвы (твердость почвы

не менее 6 МПа) обеспечивается при расстоянии от точки соединения орудия с трактором до оси вращения опорных колес, равном 4,3–5,3 м. При этом расстояние от оси симметрии рамы в горизонтальной плоскости до точки соединения с ницей с рамой должно находиться в пределах 0–300 мм в вертикальной плоскости.

На основании результатов теоретических исследований разработана чертежная документация и изготовлен экспериментальный образец щелевателя для осенней обработки стерневых фонов к тракторам тягового класса 8. Проведены экспериментальные исследования.

При проведении экспериментальных исследований скорость движения агрегата составляла 7,2; 8,9 и 10,0 км/ч. Глубина обработки щелерезом находилась в пределах 28,5–29,7 см, дисковым рабочим органом – 8,8–9,5 см. При этом неравномерность по глубине обработки находилась в пределах 1,0–1,4 см.

Установлено, что на скорости движения до 8,9 км/ч экспериментальный образец щелевателя устойчиво по глубине обработки выполняет технологический процесс, при этом тяговое сопротивление находится в допустимых пределах и не перегружает трактор. Устойчивость выполнения технологического процесса по глубине обработки и тяговому сопротивлению говорит об обоснованности выбранных конструктивных параметров щелевателя для осенней обработки стерневых фонов.

Литература

1. Кухта В.С. Исследование универсального широкозахватного почвообрабатывающего орудия // Почвообрабатывающие машины и динамика агрегатов. Тр. ЧИМЭСХ. Челябинск, 1986. С. 57–73.
2. Галкин В.Г., Любимов А.И., Рахимов Р.С., Шульгин И.Г. Уравнения движения широкозахватных почвообрабатывающих орудий // Почвообрабатывающие машины и динамика сельскохозяйственных агрегатов. Тр. ЧИМЭСХ. Челябинск, 1977. Вып. 128. С. 96–104.
3. Рахимов Р.С., Буряков А.С., Хлызов Н.Т., Блау В.Ю. Обоснование местоположения колес и ширины захвата модуля плоскореза // Почвообрабатывающие машины и динамика агрегатов. Тр. ЧИМЭСХ. Челябинск, 1979. С. 18–25.
4. Бурченко П.Н. Основные технологические параметры почвообрабатывающих машин нового поколения // Теория и расчет почвообрабатывающих машин. Тр. ВИМ. Москва, 1989. Т. 120. С. 12–43.
5. ГОСТ 20915-2011. Сельскохозяйственная техника. Методы определения условий испытаний. М.: ФГУП Стандартиформ, 2013. 28 с.
6. ГОСТ 33736-2016 Техника сельскохозяйственная. Машины для глубокой обработки почвы. Методы испытаний. М.: ФГУП «Стандартиформ», 2017. 39 с.
7. ГОСТ Р 52777-2007. Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки. М.: ФГУП Стандартиформ, 2007. 7 с.
8. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
9. Анискин В.И., Артюшин А.А. Исходные требования на базовые машинные технологические операции в растениеводстве // Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. М., 2005. С. 38–41.

References

1. Kukhta V.S. Investigation of the universal wide-level soil tillage implement // Soil tillage machines and dynamics of aggregates. Tr. CHIMESKH. Chelyabinsk, 1986, pp. 57–73.
2. Galkin V.G., Lyubimov A.I., Rakhimov R.S., Shulgin I.G. Equations of motion of wide-level soil tillage implement // Soil tillage machines and dynamics of aggregates. Tr. CHIMESH. Chelyabinsk, 1977. Ed. 128, pp. 96–104.
3. Rakhimov R.S., Buryakov A.S., Khlyzov N.T., Blau V.Yu. Justification of the location of the wheels and width of the module of the subsurface sweep cultivator // Soil tillage machines and dynamics of aggregates. Tr. CHIMESKH. Chelyabinsk, 1979, pp. 18–25.
4. Burchenko P.N. The main technological parameters of the soil tillage machines of a new generation // Theory and calculation of the soil tillage machines. Tr. Vim. M., 1989. T. 120, pp. 12–43.
5. GOST 20915-2011. Agricultural machinery. Procedure for determines test conditions. M.: FSUE Standardinform, 2013. 28 p.
6. GOST 33736-2016 Agricultural machinery. Machines for the deep tillage. Test methods. – Enter. 2018-01-01. – M.: Federal State Unitary Enterprise «Standardinform», 2017. 39 p.
7. GOST R 52777-2007. Agricultural machinery. Methods of power estimation. M.: FSUE Standardinform, 2007. 7 p.
8. Dospechov B.A. Metodika polevogo opyta [Methodology of the field test]. Moscow: Agropromizdat Publ., 1985. 351 p.
9. Aniskin V.I., Artyushin A.A. Initial requirements for basic machine technological operations in crop production // Ministry of Agriculture of the Russian Federation. Moscow, 2005, pp. 38–41.