

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОЧВЫ ПРИ ГЛУБОКОЙ БЕЗОТВАЛЬНОЙ ОБРАБОТКЕ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА

DETERMINATION OF THE SPECIFIC SOIL RESISTANCE USING DEEP SUBSURFACE TILLAGE IN CONDITIONS OF NORTHERN KAZAKHSTAN

А.Н. КУБАЕВ

Костанайский Государственный Университет
им. А. Байтурсынова, Костанай, Республика Казахстан,
kuvaevanthon@yandex.ru

A.N. KUVAYEV

A.Baitursynov Kostanay State University, Kostanay,
the Republic of Kazakhstan, kuvaevanthon@yandex.ru

В статье предложена методика для определения удельного сопротивления почвы и представлены результаты проведенных исследований. Одним из основных лимитирующих факторов при определении ширины захвата почвообрабатывающего орудия является удельное сопротивление почвы. Данный показатель является количественной характеристикой трудоемкости обработки почвы, поэтому при проектировании новой техники необходимо иметь достоверные данные о его значении. Представленные в научной литературе сведения о величине удельного сопротивления почвы имеют усредненный характер и не учитывают параметров почвообрабатывающих рабочих органов. В этой связи определение удельного сопротивления почвы для рабочих органов с известными параметрами является актуальной темой научного исследования.

Цель исследований – определение величины удельного сопротивления почвы для почвообрабатывающих рабочих органов с известными параметрами. Методика исследований состоит из экспериментального определения общего тягового сопротивления почвообрабатывающего орудия и дальнейшей математической обработки полученных экспериментальных данных на основании рациональной формулы В.П. Горячкина. Для проведения экспериментальных исследований была разработана лабораторная установка, конструкция которой позволяет исключить влияние ее собственного веса на тяговое сопротивление, возникающее при трении элементов рабочего органа о почву. Установлено, что для рассматриваемых почв, которые являются типичными для Северного Казахстана, удельное сопротивление почвы составляет $k = 45908 \text{ Н/м}^2$. Полученный коэффициент вариации $v < 10 \%$ говорит о незначительной изменчивости рассматриваемого вариационного ряда. Следовательно, полученное удельное сопротивление почвы имеет достоверное значение. Результаты исследований будут использованы при обосновании ширины захвата почвообрабатывающего орудия с рассматриваемыми рабочими органами.

Ключевые слова: ширина захвата, общее тяговое сопротивление, удельное сопротивление почвы, глубокая обработка почвы, плоскорежущий рабочий орган, лабораторная установка, Северный Казахстан, экспериментальные исследования, рациональная формула В.П. Горячкина.

The paper proposes a method for determining specific soil resistance and presents the results of the conducted research. One of the main limiting factors in determining the working width of the tillage implement is specific soil resistance. This indicator is a quantitative characteristic of the labor intensity of soil tillage. Therefore, when designing new machinery, it is necessary to have reliable data on its value. The data presented in the scientific literature on the value of specific soil resistance are average and do not take into account the parameters of tillage working tools. Therefore, the determination of specific soil resistance for working tools with known parameters is the current topic of scientific research. The purpose of the research is to determine the value of specific soil resistance for working tools with known parameters. The research method consists of the experimental determination of the total draft resistance of the tillage implement and further mathematical processing of the experimental data obtained on the basis of the rational formula of V.P. Goryachkin. To conduct experimental research, a laboratory unit was developed, the design of which eliminates the impact of its weight on the draft resistance, arising from the friction between the parts of the working tool and soil. It was found that for the soils under consideration, which are typical for Northern Kazakhstan, the specific soil resistance is $k = 45908 \text{ N/m}^2$. The obtained coefficient of variation $v < 10 \%$ indicates a slight change in the considered variation. Therefore, the obtained value of the specific soil resistance is reliable. The results obtained will be used to substantiate the working width of the tillage implement with the working tools under consideration.

Keywords: working width, total draft resistance, specific soil resistance, deep tillage, sweep tillage tool, laboratory unit, Northern Kazakhstan, experimental research, V.P. Goryachkin rational formula.

Введение

В настоящее время обязательным элементом многих технологий, применяемых в сельском хозяйстве, является глубокая механическая обработка почвы. Для регионов, почвы которых подвержены ветровой эрозии, таких как Северный Казахстан [1], – это глубокая безотвальная обработка [2].

Востребованность данной технологической операции объясняется необходимостью периодического разуплотнения почвенного слоя, особенно на почвах с тяжелым механическим составом и низким содержанием гумуса, что также характерно для Северного Казахстана [3]. С другой стороны из всех технологических операций глубокая обработка является наиболее энергоемкой. Так, в странах ЕАЭС ежегодно на почвообработку расходуются не менее 40 % всех энергетических затрат и не менее 25 % трудовых затрат [4]. Учитывая данное обстоятельство, выбор технических средств для механизации данной операции должен быть научно обоснован.

В соответствии с теорией В.П. Горячкина [5] общее тяговое сопротивление почвообрабатывающего орудия ($P_{\text{тяг}}$, Н) состоит из трех компонентов и описывается следующей математической моделью:

$$P_{\text{тяг}} = P_1 + P_2 + P_3 = G \cdot f + k \cdot a \cdot B_p + \rho \cdot a \cdot B_p \cdot V_p^2, \quad (1)$$

где P_1 – сопротивление, возникающее при трении почвообрабатывающей машины о почву, Н; P_2 – сопротивление, возникающее при разрушении почвенного слоя, Н; P_3 – сопротивление, возникающее при перемещении почвенного слоя, Н; G – общий вес почвообрабатывающего орудия, Н; f – коэффициент трения почвы; k – удельное сопротивление почвы, Н/м²; a – глубина обработки, м; B_p – ширина захвата почвообрабатывающего орудия, м; ρ – плотность почвы, кг/м³; V_p – поступательная скорость движения почвообрабатывающего орудия, м/с.

Достоверность данной математической модели была неоднократно подтверждена результатами теоретических и экспериментальных исследований [6–9].

Структура общего тягового сопротивления почвообрабатывающего орудия для глубокой обработки почвы на ограниченном агротехническими требованиями интервале скорости до 10 км/ч [10] будет иметь следующий вид (рис. 1).

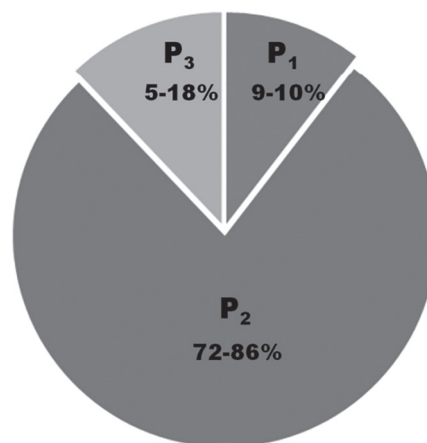


Рис. 1. Структура общего тягового сопротивления почвообрабатывающего орудия

Как видно из рис. 1, не менее 70 % от общего тягового сопротивления приходится на сопротивление, возникающее при деформации и разрушении почвенного слоя P_2 . Сопротивление P_2 в соответствии с формулой (2) представляет функциональную зависимость от удельного сопротивления почвы (показатель трудности обработки почвы), глубины обработки и ширины захвата:

$$P_2 = f(k, a, B_p), \quad (2)$$

Следовательно, три указанных параметра будут оказывать наибольшее влияние на значение общего тягового сопротивления почвообрабатывающего орудия.

Данное утверждение находит подтверждение в работах других исследователей. Например, исследователями из Sari Agricultural and Natural Resources University [11] установлено, что перечисленные показатели оказывают наибольшее влияние на тяговое сопротивление почвообрабатывающего орудия.

Удельное сопротивление почвы зависит не только от ее физико-механических свойств (влажность, плотность, твердость, механический состав и др.), повлиять на которые достаточно сложно либо невозможно, но и от параметров рабочего органа [12]. Глубина обработки, также как и скорость движения, имеет очень узкий предел варьирования, который зависит от агротехнических требований. Глубокая обработка почвы должна проводиться на глубину, превышающую глубину залегания плужной подошвы не менее чем на 5 см. В условиях Северного Казахстана наибольший эффект от глубокой обработки почвы достигается при глубине $a = 0,25-0,27$ м [13]. Ширина захвата в этом случае остается именно

тем параметром, которым можно регулировать величину тягового сопротивления почвообрабатывающего орудия в зависимости от тяговых возможностей энергетического средства. С другой стороны, чрезмерное уменьшение ширины захвата почвообрабатывающего орудия негативно скажется на его производительности, удельных энергетических затратах и, как следствие, экономической эффективности, поскольку между этими параметрами имеется прямая зависимость.

Следовательно, при определении ширины захвата почвообрабатывающего орудия необходимо иметь достоверные данные о величине удельного сопротивления почвы, чтобы обеспечить максимальный экономический эффект в имеющихся условиях.

В научной литературе, например в работах [5, 12], представлены данные о величине указанного показателя для различных типов почв. Однако они имеют усредненный характер и не учитывают параметров почвообрабатывающих рабочих органов (углы установки долота и лемехов, угол раствора). Последние, в свою очередь, оказывают влияние на величину удельного сопротивления. Поэтому определение удельного сопротивления почвы для рабочих органов с известными параметрами является актуальной задачей, имеющей научную и практическую значимость.

Цель исследований

Определение величины удельного сопротивления почвы для почвообрабатывающих рабочих органов с известными параметрами.

Материалы и методы

Методика экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования проводились в осенний период на стерневом поле, где в течение 8 лет не осуществлялась глубо-

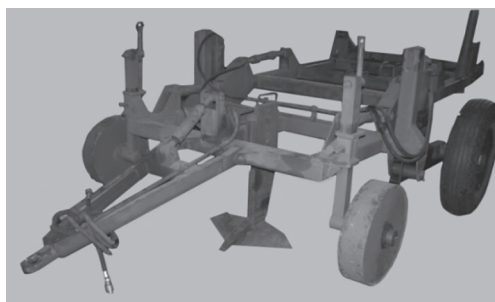
кая механическая обработка. Перед проведением экспериментальных исследований были определены физико-механические показатели почвы: влажность, плотность и твердость. Методика определения перечисленных показателей соответствовала ГОСТ 20915-2011. При проведении экспериментальных исследований использовалась лабораторная установка (рис. 2) и варианты плоскорезущих рабочих органов с шириной захвата 0,6–1,0 м, углы установки долота и лемехов ко дну борозды составляли 27–31 градус (рис. 3). Параметры плоскорезущих рабочих органов были определены в результате проведенных ранее теоретических и экспериментальных исследований [14]. На рабочие органы были установлены новые лезвия с толщиной режущей кромки 2,0–2,5 мм. Затылочные фаски на лезвиях отсутствуют.

Лабораторная установка в рабочем положении помимо прицепного устройства имеет 4 точки опоры (металлические опорные колеса), расположенные на каждом углу рамы. Такая конструктивная схема позволила исключить влияние веса лабораторной установки на тяговое сопротивление, возникающее при трении элементов рабочего органа о почву. В этом случае сопротивление P_1 можно представить в следующем виде:

$$P_1 = G \cdot f = G_o \cdot f_k + G_{p.o} \cdot f_c, \quad (3)$$

где G_o – вес лабораторной установки, без рабочего органа, Н; f_k – коэффициент трения качения стальных колес по почве; $G_{p.o}$ – вес рабочего органа, Н; f_c – коэффициент трения скольжения почвы по стали.

Вес лабораторной установки без рабочего органа составлял $G_o = 1900$ Н, вес одного рабочего органа – $G_{p.o} = 650$ Н; коэффициент трения качения $f_k = 0,2$, коэффициент трения скольже-



а



б

Рис. 2. Лабораторная установка для экспериментального определения удельного тягового сопротивления почвы:
а) общий вид; б) вид в работе

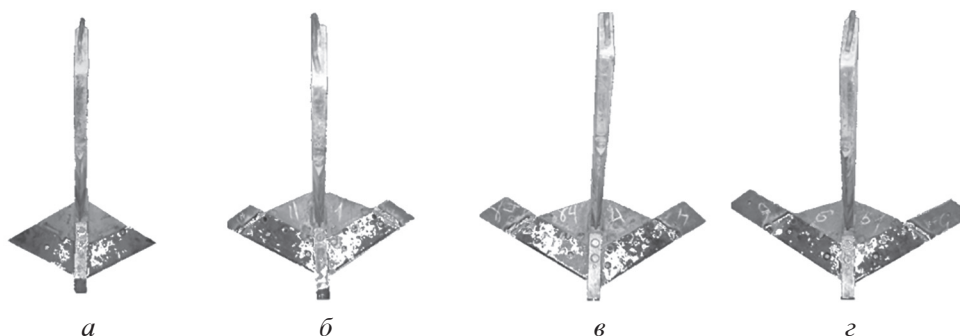


Рис. 3. Варианты плоскорезущих рабочих органов:

а) 0,6 м; б) 0,8 м; в) 0,9 м; г) 1,0 м

ния $f_c = 0,3$. Коэффициент трения скольжения почвы по стали определен в соответствии с методикой, изложенной в работе [15].

Плоскорезущие рабочие органы поочередно устанавливались на лабораторную установку и протягивались в почве на глубине 0,27 м на нескольких скоростных режимах. При этом фиксировалось общее тяговое сопротивление ($P_{\text{тяг}}$, Н), создаваемое лабораторной установкой с помощью тензометрического оборудования, которое включало датчик силы растяжения (тензометрическое звено) с диапазоном измерения до 3 т, плиту для установки тензометрического звена (производитель КФ «НПЦ агроинженерии», Казахстан) тензометрической станции ZET017-T8 (производитель ZETLAB, Россия), переносной персональный компьютер Acer Aspire E 15 (производитель Acer, Китай), преобразователь напряжения с 12–220 В Robiton R300 (производитель Robiton, Китай) и соединительных проводов (рис. 4 и 5).

Перед проведением испытаний проводилось тарирование тензометрического оборудования на специальном стенде методом ступенчатого нагружения от 0 до 30 кН и обратно, с шагом

2 кН, через динамометр растяжения пружинного типа общего назначения ДПУ-50 второго класса точности (поверка проведена в соответствии с ГОСТ 13782-68). В процессе тарировочных испытаний фиксировались значения нагрузки на динамометре и соответствующие ей показания тезозвена, обработанные тензометрической станцией ZET017-T8 и выведенные на монитор переносного ПК. Повторность

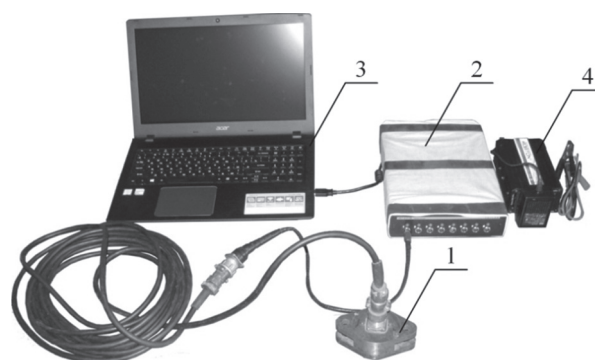
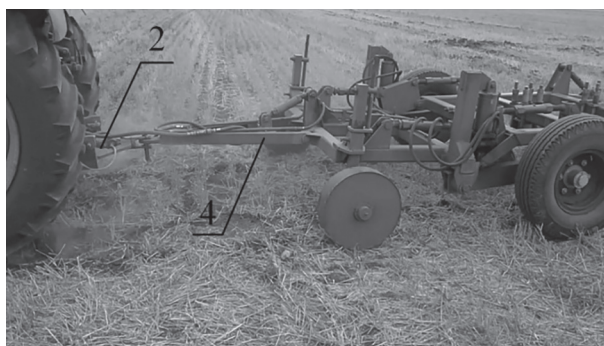
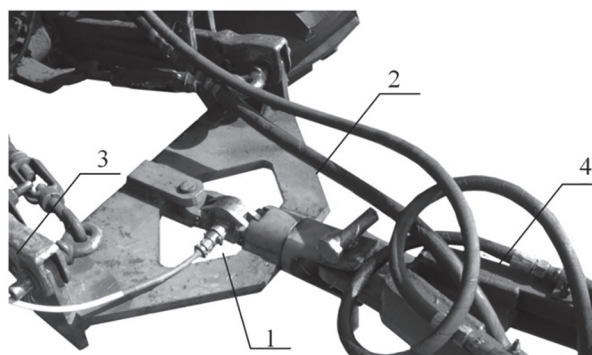


Рис. 4. Общий вид тензометрического оборудования:

1 – тензометрическое звено; 2 – тензометрическая станция; 3 – переносной ПК; 4 – преобразователь напряжения 12–220 В



а



б

Рис. 5. Компоненты тензометрического оборудования, установленные на навесную систему трактора:

а) общий вид; б) взаимное расположение компонентов тензометрического оборудования, навесной системы трактора и лабораторной установки; 1 – тензометрическое звено; 2 – плита для установки тензометрического звена; 3 – навесная система трактора; 4 – лабораторная установка

опыта четырехкратная. Проведенные тарировочные испытания показали, что на всех ступенях изменения нагрузки погрешность измерений находилась в пределах 0,39–1,96 %.

Повторность опыта при проведении экспериментальных исследований трехкратная. Методика определения глубины обработки – в соответствии с ГОСТ 33736-2016. Методика определения скорости движения и общего тягового сопротивления – в соответствии с ГОСТ Р 52777-2007.

Методика математической обработки результатов экспериментальных исследований

На основании полученных первичных данных проводился расчет удельного сопротивления почвы для каждого варианта. В соответствии с формулами (1) и (4) выразим значение k (Н/м²) через $P_{\text{тяг}}$ (Н):

$$k = \frac{P_{\text{тяг}} - G_o \cdot f_k - G_{p.o} \cdot f_c - \rho \cdot a \cdot B_p \cdot V_p^2}{a \cdot B_p} \quad (4)$$

В качестве удельного сопротивления почвы было принято среднearифметическое значение всех вариантов опыта.

Для оценки однородности и устойчивости полученной совокупности значений удельного сопротивления почвы использовался коэффициент вариации, v . Методика определения в соответствии с положениями статистического анализа данных, изложенная в работе А.Ю. Козлова [16].

Результаты и обсуждение

Перед проведением экспериментальных исследований были определены физико-механические показатели почвы (табл. 1).

В соответствии с методикой были проведены экспериментальные исследования и опре-

делены величина удельного сопротивления почвы для каждого варианта опыта в соответствии с формулой (4), а также коэффициент вариации, необходимый для оценки однородности и устойчивости полученной совокупности (табл. 2).

Почвенные условия, представленные в табл. 1, являются типичными для полей Северного Казахстана в осенний период, на которых применялись элементы минимальной и нулевой технологий возделывания зерновых культур.

Установлено, что для рассматриваемых почв удельное тяговое сопротивление почвы составляет $k = 45908$ Н/м². Полученный коэффициент вариации $v < 10$ %, что говорит о незначительной изменчивости рассматриваемого вариационного ряда. Следовательно, полученное удельное сопротивление почвы имеет достоверное значение.

Проведенные исследования имеют следующий практический результат:

- полученное значение удельного сопротивления почвы k (Н/м²) будет использоваться при определении ширины захвата опытного образца орудия для глубокой безотвальной обработки почвы в условиях северного Казахстана;

- предложенная методика может использоваться для определения либо уточнения удельного сопротивления почвы для конкретных типов рабочих органов.

Заключение

Была разработана методика определения удельного сопротивления почвы, состоящая из экспериментального определения общего тягового сопротивления почвообрабатывающего рабочего органа и дальнейшей математической обработки, полученных экспериментальных значений с учетом рациональной формулы В.П. Горячкина. Для проведения

Таблица 1

Влажность, твердость и плотность почвенных слоев

Почвенные слои, см	Определяемые показатели:		
	влажность, %	твердость, МПа	плотность, г/см ³
0–5	14,1	1,1	1,1
5–10	14,5	3,0	1,2
10–15	16,6	4,7	1,3
15–20	20,4	5,5	1,3
20–25	18,9	6,1	1,4
25–30	17,6	7,1	1,4

Результаты экспериментальных исследований и их математической обработки

№ п/п	B_p , м	V_p , м/с	a , м	$P_{тяг}$, Н	k , Н/м ²
1	2	3	4	5	6
1	0,6	1,9	0,27	9280	48681
2	0,6	2,2	0,27	9810	50230
3	0,6	2,5	0,27	9830	48380
4	0,6	2,8	0,27	10350	49364
5	0,7	1,9	0,27	11290	51639
6	0,7	2,2	0,27	11490	50975
7	0,7	2,5	0,27	11530	49213
8	0,7	2,8	0,27	12000	49474
9	0,8	1,9	0,27	11590	45941
10	0,8	2,2	0,27	11750	44960
11	0,8	2,5	0,27	12010	44190
12	0,8	2,8	0,27	12200	42843
13	0,9	1,9	0,27	12680	44761
14	0,9	2,2	0,27	12700	43121
15	0,9	2,5	0,27	13010	42423
16	0,9	2,8	0,27	13126	40674
17	1	1,9	0,27	13560	43039
18	1	2,2	0,27	14018	43013
19	1	2,5	0,27	14510	42861
20	1	2,8	0,27	14979	42372
Среднеарифметическое значение, \bar{k} , Н/м ²					45908
Среднеквадратичное отклонение, σ , Н/м ²					3455
Коэффициент вариации, υ , %					7,53

экспериментальных исследований была разработана лабораторная установка, позволяющая исключить влияние собственного веса на тяговое сопротивление, возникающее при трении элементов рабочего органа о почву.

В результате проведенных исследований определена величина удельного сопротивления типичной для Северного Казахстана почвы, которая составила $k = 45908$ Н/м².

Установлено, что с увеличением ширины захвата и скорости движения рабочего органа величина удельного сопротивления изменяется незначительно. Отклонение от среднего значения составило не более 10 %.

Полученная совокупность значений удельного сопротивления почвы является однородной и устойчивой. Коэффициент вариации равен $\upsilon = 7,53$ %.

Полученные результаты могут быть использованы при обосновании ширины захвата почвообрабатывающего орудия с рассматриваемыми рабочими органами.

Литература

1. Акшалов К.А., Кужинов М.Б. Принципы землепользования в Казахстане на современном этапе: состояние, перспективы // Охрана природы и региональное развитие: гармония и конфликты (к году экологии в России): материалы Международной научно-практической конференции. Оренбург, 2017. С. 100–104.
2. Куваев А.Н. Основная обработка стерневых полей северных зерносеющих регионов Казахстана и современные орудия для ее выполнения // Многопрофильный научный журнал *3i: intellect, idea, innovation*. 2018. № 2. С. 56–64.
3. Байшоланов С.С. Агроклиматические ресурсы Костанайской области: научно-прикладной справочник. Астана, 2017. 139 с.
4. Панов И.М., Ветохин В.И. Физические основы механики почв. Киев: Феникс, 2008. 266 с.
5. Лурье А.Л., Любимов А.И. Широкозахватные почвообрабатывающие машины. Ленинград: Машиностроение, 1981. 270 с.

6. Шаров М.Н., Стрекалев В.А. Математическая модель для определения составляющих тягового сопротивления культиватора // Анализ и оценка эффективности конструкций сельскохозяйственных машин: сборник научных трудов РИСХМ. Ростов-на-Дону, 1973. С. 74–81.
7. Панов И.М., Ветохин В.И. Современное состояние и перспективы развития земледельческой механики в свете трудов В.П. Горячкина // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2008. № 2. С. 9–14.
8. Zhalnin E. Goryachkin's rational equation in differential form // V.P.. E3S Web of Conferences № 126. Севастополь, 2019. С. 9–14.
9. Croitoru S., Vladut V., Marin E., Matache M., Dumitru I. Determination of subsoiler traction force influenced by different working depth and velocity // Engineering for rural development. Елгава, 2016. С. 817–825.
10. Система критериев качества, надежности, экономической эффективности сельскохозяйственной техники: инструктивно-методическое издание. Москва: Росинформагротех, 2010. С. 50–53.
11. Mosenifar A., Mousavi-Seyedi, S.R., Kalantari, D. Influence of tillage depth, penetration angle and forward speed on the soil/thin-blade interaction force // Agric Eng Int: CIGR Journal. 2014. Т. 16. № 1. С. 69–74.
12. Синекоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. Москва: Машиностроение, 1977. 328 с.
13. Овчинникова К.П., Шилов М.П. Влияние приемов осенней обработки черноземов обыкновенных на дифференциацию пахотного слоя в условиях северного Казахстана // Многопрофильный научный журнал 3i: intellect, idea, innovation. 2016. № 4. С. 57–64.
14. Куваев А.Н., Токарев И.В., Дерепаскин А.И. Влияние параметров плоскорежущего рабочего органа на качество и энергоемкость обработки уплотненных почв // Земледелие и селекция сельскохозяйственных растений: материалы международной научно-практической конференции. Астана, 2016. С. 140–144.
15. Чумаков В.Г. Технологические основы механической обработки почвы: методические указания для выполнения лабораторно-практических занятий аспирантов. Курган: КГСХА им. Мальцева, 2017. 41 с.
16. Козлов А.Ю. Статистический анализ данных в MS Excel: учебное пособие. Москва: ИНФРА-М, 2017. 320 с.

References

1. Akshalov K.A., Kuzhinov M.B. The principles of land use in Kazakhstan at the present stage: state, prospects. Okhrana prirody i regional'noye razvitiye: garmoniya i konflikty (k godu ekologii v Rossii). Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. [Nature Protection and Regional Development: Harmony and Conflicts (devoted to the year of ecology in Russia). Materials of the International Scientific and Practical Conference]. Orenburg, 2017. pp. 100–104 (in Russ.).
2. Kuvaev A.N. The main processing of stubble fields in the northern grain-sowing regions of Kazakhstan and modern tools for its implementation. Multiprofile scientific journal 3i: intellect, idea, innovation. 2018. No 2. pp. 56–64 (in Russ.).
3. Baysholanov S.S. Agroklimaticheskiye resursy Kostanayskoy oblasti [Agroclimatic resources of Kostanay region]: scientific-applied reference book. Astana, 2017. 139 p.
4. Panov I.M., Vetokhin V.I. Fizicheskiye osnovy mekhaniki pochv [Physical foundations of soil mechanics]. Kyiv: Phoenix Publ., 2008. 266 p.
5. Lure A.L., Lyubimov A.I. Shirokozakhvatnyye pochvoobrabatyvayushchiye mashiny [Wide-cut soil tillage machines]. Leningrad: Mashinostroenie Publ., 1981. 270 p.
6. Sharov M.N., Strekaev V.A. Mathematical model for determining the components of the draft resistance of the cultivator. Analiz i otsenka effektivnosti konstruksiy sel'skokhozyaystvennykh mashin. Sbornik nauchnykh trudov RISKHM. [Analysis and evaluation of the efficiency of agricultural machinery designs. Collection of scientific works of Rostov-on-Don Institute of Agricultural Engineering]. Rostov-on-Don, 1973. pp. 74–81 (in Russ.).
7. Panov I.M., Vetokhin V.I. Modern condition and prospects of the agricultural mechanics development in the light of V.P. Goryachkin's works. Vestnik FGOU VPO MGAU. 2008. № 2. pp. 9–14.
8. Zhalnin E. Goryachkin's rational equation in differential form. V.P.. E3S Web of Conferences No 126. Sevastopol, 2019. pp. 9–14.
9. Croitoru S., Vladut V., Marin E., Matache M., Dumitru I. Determination of subsoiler traction force influenced by different working depth and velocity. Engineering for rural development. Jelgava, 2016. pp. 817–825.
10. Sistema kriteriyev kachestva, nadezhnosti, ekonomicheskoy effektivnosti sel'skokhozyaystvennoy tekhniki: instrukтивно-metodicheskoye izdaniye.

- [System of criteria for quality, reliability, economic efficiency of agricultural machinery: instructional and methodological publication]. Moscow: Rosinformagrotech Publ., 2010. pp. 50–53.
11. Moenifar A., Mousavi-Seyedi S. R., Kalantari D. Influence of tillage depth, penetration angle and forward speed on the soil/thin-blade interaction force. *Agric Eng Int: CIGR Journal*. 2014. Vol. 16. No 1. pp. 69–74.
 12. Sineokov G.N., Panov I.M. *Teoriya i raschet pochvoobrabatyvayushchikh mashin*. [Theory and calculation of soil cultivating machinery]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1977. pp. 328.
 13. Ovchinnikova K.P., Shilov M.P. Influence of the methods of the autumn processing of the ordinary chernozems on the differentiation of an arable layer in the conditions of northern Kazakhstan. *Multiprofile scientific journal 3i: intellect, idea, innovation*. 2016. No 4. pp. 57–64 (in Russ.).
 14. Kuvaev A.N., Tokarev I.V., Derepaskin A.I. Influence of parameters of the flat-cutting working tool on quality and energy intensity of processing of compacted soils. *Agriculture and selection of the agricultural plants. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. Astana, 2016. pp. 140–144.
 15. Chumakov V.G. *Technological bases of the mechanical treatment of soil: methodical instructions for carrying out laboratory and practical sessions of post-graduate students*. Kurgan: KSAA by T.S Maltsev, 2017. pp. 41.
 16. Kozlov A.Y. *Statistical analysis of data in MS Excel: Training manual*. Moscow: INFRA-M Publ., 2017. pp. 320.