



ИНЖЕНЕРИЯ ЖӘНЕ ИНЖЕНЕРЛІК ІС
ИНЖЕНЕРИЯ И ИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО
ENGINEERING AND ENGINEERING

МАШИНА ЖАСАУ
МАШИНОСТРОЕНИЕ
MECHANICAL ENGINEERING

DOI 10.51885/1561-4212_2024_3_24

МРНТИ 55.57.33

Г.А. Гурьянов¹, В.С. Яковлев², М.В. Дудкин³, А.И. Ким⁴, Петр Стрычек⁵

¹Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева,

г. Усть-Каменогорск, Казахстан

E-mail: gguryanov@ektu.kz

E-mail: vell1051@yandex.ru

E-mail: MDudkin@ektu.kz*

²Университет МИРАС, г. Шымкент, Казахстан

E-mail: alinakim3107@gmail.com

³Вроцлавский университет науки и технологий, г. Вроцлав, Польша

E-mail: piotr.stryczek@pwr.edu.pl

ВЫВОД ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ НОВЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ УЗЛОВ ОБОРУДОВАНИЯ, ВХОДЯЩЕГО В СОСТАВ ПОСЕВНОГО КОМПЛЕКСА

ТЕОРИЯЛЫҚ ТӘУЕЛДІЛІКТЕРДІ ШЫҒАРУ ЖӘНЕ ЕГІС КЕШЕНІНІҢ ҚҰРАМЫНА КІРЕТІН ЖАБДЫҚТЫҢ ЖАҢА ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ТОРАПТАРЫНЫҢ ГЕОМЕТРИЯЛЫҚ ПАРАМЕТРЛЕРІ МЕН ЖҰМЫС РЕЖИМДЕРІН АНЫҚТАУ

DERIVATION OF THEORETICAL DEPENDENCIES AND DETERMINATION OF GEOMETRICAL PARAMETERS AND OPERATING MODES OF NEW STRUCTURAL UNITS OF EQUIPMENT INCLUDED IN THE SEEDING COMPLEX

Аннотация. Статья посвящена взаимодействию дисковых рабочих органов посевного агрегата с почвой. Изложены причины повышения сил тягового сопротивления и энергоемкости обработки почвы, снижения стабильности глубины ее резания при увеличении рабочих скоростей посевных агрегатов с дисковыми рабочими органами. Разработана теоретическая модель резания почвы дисковым рабочим органом, получена математическая зависимость силы сопротивления резанию от скорости рабочего органа и переменных свойств почвы, объясняющая факты увеличения энергоемкости и снижения качества процесса резания. Предложены меры по снижению сил тягового сопротивления и энергоемкости обработки почвы, повышению стабильности глубины ее резания. Приведены результаты экспериментальных исследований процессов статического и вибрационного резания дисковым рабочим органом, подтверждающие полученные теоретические результаты и доказывающие эффективность и целесообразность применения вибрационного резания почвы дисковым рабочим органом для снижения тягового сопротивления и затрат энергии и стабилизации глубины резания в широком диапазоне изменения рабочих скоростей.

Ключевые слова: посев, сеялка, сошник, режущий диск, дисковый рабочий орган, вибрационные рабочие органы, вибрация, тяговое сопротивление, энергоемкость, глубина резания.

Аңдатпа. Мақала егіс агрегатының дискілі жұмыс органдарының топырақпен өзара әрекеттесуіне арналған. Топырақты өңдеудің тартылыс кедергісі мен энергия сыйымдылығының күштерінің жоғарылауының, дискілі жұмыс органдары бар егістік агрегаттарының жұмыс жылдамдығының

артуымен оны кесу тереңдігінің тұрақтылығының төмендеуінің себептері сипатталған. Дискінің жұмыс органымен топырақты кесудің теориялық моделі жасалды, кесуге төзімділік күшінің жұмыс органының жылдамдығына және топырақтың өзгермелі қасиеттеріне математикалық тәуелділігі алынды, бұл энергия сыйымдылығының жоғарылауы және кесу процесінің сапасының төмендеуі фактілерін түсіндіреді. Топырақты өңдеудің тарту кедергісі мен энергия сыйымдылығын төмендету, оны кесу тереңдігінің тұрақтылығын арттыру бойынша шаралар ұсынылды. Алынған теориялық нәтижелерді растайтын және тарту кедергісі мен энергия шығынын азайту және жұмыс жылдамдығының өзгеруінің кең ауқымында кесу тереңдігін тұрақтандыру үшін дискілі жұмыс органының топырақты дірілдейтін кесуін қолданудың тиімділігі мен орындылығын дәлелдейтін дискілі жұмыс органының статикалық және дірілмен кесу процесстерін эксперименттік зерттеу нәтижелері келтірілген.

Нәтижелері: осы бапта келтірілген зерттеулерді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырады (АР14869252 "Қазақстан Республикасының агроөнеркәсіптік өндірісі жағдайында пайдалану үшін өнімділігі жоғары амбебап егіс кешенінің конструкциясын әзірлеу" гранты)

Түйін сөздер: себу, сепкіш, сошник, кескіш диск, диск жұмыс органы, дірілдейтін жұмыс органдары, діріл, тарту кедергісі, қуат сыйымдылығы, кесу тереңдігі.

Abstract. The article is devoted to the interaction of the disc working parts of the seeding unit with the soil. The reasons for the increase in traction resistance forces and energy intensity of soil cultivation, the decrease in the stability of the cutting depth with an increase in the operating speeds of sowing units with disk working bodies are outlined. A theoretical model of cutting soil with a disk working body has been developed, a mathematical dependence of the cutting resistance force on the speed of the working body and variable soil properties has been obtained, explaining the facts of increasing energy intensity and reducing the quality of the cutting process. Measures have been proposed to reduce traction resistance forces and energy intensity of soil cultivation, and increase the stability of the cutting depth. The results of experimental studies of the processes of static and vibration cutting with a disk working body are presented, confirming the theoretical results obtained and proving the effectiveness and feasibility of using vibration cutting of soil with a disk working body to reduce traction resistance and energy costs and stabilize the cutting depth in a wide range of operating speeds.

Keywords: sowing, seed drill, coulter, cutting disc, disk tillage tool, vibrating tillage tools, vibration, traction resistance, energy intensity, cutting depth.

Введение. Технология прямого посева без вспашки почвы применяется для повышения эффективности производства сельскохозяйственных культур (I.A. Spasin – М.: Kolos, 2006; Pimenov A.V. Agrarnyy konsul'tant. 2013). Сеялки прямого посева (Salford 520 (Канада), Берегиня АП-402 (Россия), СРН-2000F (США), SD7200 (Казахстан), John Deere 1590 (США), Scucianelli Pionera 2717 и др.) имеют сошниковые группы, которые должны разрезать растительные остатки, создавать посевную бороздку требуемой постоянной глубины и обеспечивать точный посев.

В настоящее время при обработке почвы используется механическое воздействие различными рабочими органами, которое, в общем случае, сопровождается ее резанием, крошением, уплотнением и перемещением (V.R. Petrovets i dr. - Gorki, 2019; Bulavintsev R.A. Agrotekhnika i energoobespecheniye. 2018; Panov I.M. - М.: Mashinostroyeniye, 2017; Zelenin A.N. – М.: Mashinostroyeniye, 2008; Vetrov Yu.A. -М.: Mashinostroyeniye, 2011; Zelenin A.N. – М.: Mashinostroyeniye, 2014). При этом как основное применяется статическое резание, при котором режущий инструмент движется равномерно.

При резании почвы следует заботиться о рациональном и эффективном использовании подводимой к среде энергии, а следовательно, о рациональной организации работы оборудования. Поэтому работы и исследования, направленные на определение факторов, влияющих на энергоёмкость почвообработки, и разработка мер по ее снижению являются актуальными и значимыми.

Применительно к сеялкам прямого посева одними из наиболее актуальных задач можно считать создание широкозахватных машин, увеличение их рабочих скоростей и производительности (Dudkin M.V. Vestnik VKTU, № 4, 2022, Ust'-Kamenogorsk; Kim A.I. Vestnik VKTU. – Ust-Kamenogorsk: EKTU, 2022; Astakhov V.S. - Minsk, 2019; Aduov M.,

Soil & Plant Science. – 2020), для чего необходимо добиваться снижения сил сопротивления резанию и энергоёмкости обработки почвы.

Данная работа является одним из этапов исследований резания почвы дисковыми рабочими органами посевных машин (Dudkin M.V., Vestnik VKTU, № 2, 2023. – Ust'-Kamenogorsk; Dudkin M.V., Bulletin of the VKTU, No. 3, 2023. - Ust-Kamenogorsk; M. Doudkin, IRE.M.E., Vol 17, No 4, 2023) и отражает попытку авторов расширить понимание механики данного процесса.

Целью работы является изучение процесса высокоскоростного резания почвы дисковыми рабочими органами посевного оборудования, установление причин увеличения сил сопротивления резанию и выработка предложений по их снижению, а также стабилизации глубины резания.

Теоретическое определение сопротивления резанию дисковым рабочим органом. Обоснование режимно-технологических параметров посевной машины с дисковым рабочим органом, имеющей повышенные рабочие скорости, требует определения сопротивления рабочего органа резанию с учетом рассмотренных особенностей его взаимодействия с почвой при повышенных скоростях нагружения.

Сопротивление большинства почвообрабатывающих орудий может быть рассчитано на основе рациональной формулы В.П. Горячкина (Zelenin A.N. - М.: Mashinostroyeniye, 2008; Vetrov Yu.A. -М.: Mashinostroyeniye, 2011; Zelenin A.N. - М.: Mashinostroyeniye, 2014), которая применительно к плугу имеет вид:

$$P = f \cdot G + k \cdot a \cdot b + \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot V^2,$$

где P – сила тяги трактора или общее сопротивление машины; G – вес машины; f – общий коэффициент трения рабочих органов о почву; $f \cdot G$ – сопротивление плуга при протаскивании в открытой борозде; a , b – глубина обработки почвы и ширина захвата машины; k – удельное сопротивление почвы резанию, Н/м^2 ; V – рабочая скорость движения агрегата, м/с ; ε – коэффициент пропорциональности, учитывающий геометрические параметры и фрикционные свойства рабочих органов машины, $(\text{Н} \cdot \text{с}^2)/\text{м}^4$.

В.П. Горячкин рассмотрел три составляющих силы сопротивления резанию почвы плугом: силу трения, силу сопротивления деформации и силу сопротивления перемещению (отбрасыванию) пласта (Zelenin A.N. – М.: Mashinostroyeniye, 2008; Vetrov Yu.A. – М.: Mashinostroyeniye, 2011; Zelenin A.N. – М.: Mashinostroyeniye, 2014).

Исходя из анализа, сила сопротивления резанию W_1 почвы дисковым рабочим органом будет иметь две составляющих силы: лобовое сопротивление $P_{\text{л}}$ перемещению в почве рабочего органа и сопротивление $P_{\text{см}}$ почвы объемному смятию, т.е.

$$W = P_{\text{л}} + P_{\text{см}}, \text{ Н.}$$

Силу лобового сопротивления перемещению в почве рабочего органа можно определить по формуле (Bulavintsev R.A. Agrotekhnika i energoobespecheniye. 2018; Zelenin A.N. – М.: Mashinostroyeniye, 2008; Vetrov Yu.A. – М.: Mashinostroyeniye, 2011; Zelenin A.N. – М.: Mashinostroyeniye, 2014; Dudkin M.V. Vestnik VKTU, № 4, 2022, Ust'-Kamenogorsk)

$$P_{\text{л}} = k_{\text{с}} \cdot h \cdot b \cdot \rho \cdot v^2,$$

где $k_{\text{с}}$ – скоростной коэффициент лобового сопротивления; по опытным данным для различных почвогрунтов $k_{\text{с}} = 5 \dots 20$; ρ – текущая плотность почвы, кг/м^3 ; v – скорость движения дискового рабочего органа, м/с .

Силу сопротивления почвы объемному смятию можно определить по формуле

$$P_{\text{см}} = 0,5 \cdot q \cdot h^2 \cdot b, \text{ Н,}$$

где q – коэффициент объемного смятия почвы, Н/м^3 ; средние значения (Vetrov Yu.A. -М.: Mashinostroyeniye, 2011; Zelenin A.N. – М.: Mashinostroyeniye, 2014) коэффициента объемного смятия для свежеспаханной почвы – $1...2 \text{ Н/см}^3$; для жнивья, паров и лугов – $5...10 \text{ Н/см}^3$; для грунтовых дорог $50...90 \text{ Н/см}^3$; h , b – глубина обработки почвы и толщина диска рабочего органа, м.

Тогда сила сопротивления резанию W_1 почвы единичным дисковым рабочим органом без учета углов установки будет определяться по формуле (1):

$$W_1 = k_c \cdot h \cdot b \cdot \rho \cdot v^2 + 0,5 \cdot q \cdot h^2 \cdot b, \text{ Н.} \quad (1)$$

Полученная формула, в отличие от формулы В.П. Горячкина, дает возможность учесть влияние на величину силы сопротивления резанию увеличения как скорости рабочего органа, так и плотности почвы. При этом учет прироста прочности почвы остается более сложной задачей.

Для учета прироста плотности почвы при увеличении скорости рабочего органа необходимо найти возможное изменение плотности грунта при его сжатии под дисковым рабочим органом.

Рабочий орган при плотности почвы ρ_0 должен переместиться на расстояние x , воздействуя на почву с силой W_0 , равной силе сопротивления почвы при ее плотности ρ_0 , через лобовую площадь S . Объем разрушенной почвы с плотностью ρ_0 должен составить $V_0 = S \cdot x$. Однако из-за уплотнения почвы при ее сжатии под действием лобовой площади S и возросшего вследствие этого до величины W_1 сопротивления перемещение РО будет меньше величины x . При этом слой почвы толщиной Δx перед РО окажется уплотненным до плотности $\rho > \rho_0$, а рабочий орган переместится на фактическое расстояние $x_f = x - \Delta x$. Объем деформированной, т.е. сжатой до плотности ρ , почвы составит $V = S \cdot \Delta x$.

Масса почвы в теоретическом объеме $V_0 = S \cdot x$, имеющем плотность ρ_0 , равна m . После уплотнения почвы от объема V_0 (при плотности ρ_0) до сжатого объема V (при плотности $\rho > \rho_0$), сжатый объем почвы будет иметь ту же массу m (при допущении, что почва под рабочим органом только сжимается и не выносятся из бороздки). Тогда можно записать, что

$$m = V_0 \cdot \rho_0 = V \cdot \rho, \text{ кг,}$$

откуда

$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{V_0}{V} = \rho_0 \cdot \frac{S \cdot x}{S \cdot \Delta x} = \rho_0 \cdot \frac{x}{\Delta x}, \text{ кг/м}^3.$$

Для определения плотности ρ почвы после ее сжатия необходимо найти отношение $x/\Delta x$ в зависимости от свойств почвы и нагрузки на нее.

Воспользовавшись понятием коэффициента сжатия почвы, как величины, характеризующей изменение объема почвы при приложении к ней контактного давления от рабочего органа, и учитывая, что коэффициент сжатия – величина, обратная модулю упругости E почвы, после подстановок и преобразований получим, что

$$\frac{x}{\Delta x} = \frac{1}{1 - \frac{\Delta p}{E}},$$

где Δp – контактное давление рабочего органа на почву, Па.

Тогда плотность ρ почвы после сжатия будет:

$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{1}{1 - \frac{\Delta p}{E}}, \text{ кг/м}^3, \quad (2)$$

где Δp – контактное давление рабочего органа на почву, Па.

Изменение величины сил сопротивления резанию почвы от скорости рабочего органа при различной глубине резания h показано на рис. 1.

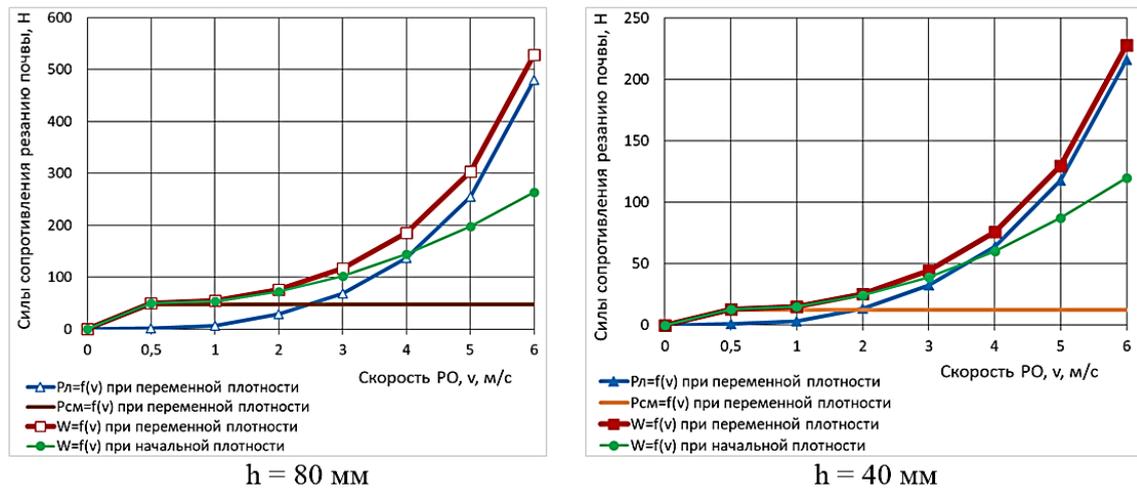


Рисунок 1. Изменение сил сопротивления резанию почвы

Примечание – составлено автором

На основе полученной формулы (1) для определения силы сопротивления резанию и известной скорости перемещения можно определить мощность, затрачиваемую на деформацию грунта рабочим органом:

$$N = W \cdot v = (k_c \cdot h \cdot b \cdot \rho \cdot v^2 + 0,5 \cdot q \cdot h^2 \cdot b) \cdot v, \text{ Вт.} \quad (3)$$

Оценим устойчивость глубины резания почвы дисковым рабочим органом, исходя из приведенных выше закономерностей процесса.

Сила W , действующая со стороны почвы на дисковый рабочий орган складывается из силы сопротивления почвы резанию W_1 (формула (1)) и направленной вверх вертикальной выглубляющей силы W_2 , способствующей уменьшению глубины посевной бороздки (рис. 2).

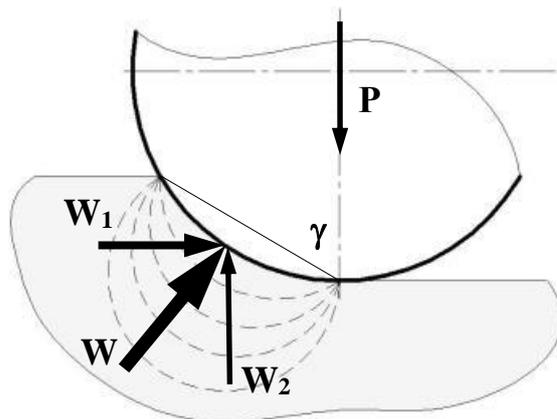


Рисунок 2. Схема для расчета выглубляющей силы W_2

Примечание – составлено автором

Выглубляющая сила W_2 определяется по формуле

$$W_2 = W \cdot \sin \gamma, H,$$

где $W = \frac{W_1}{\cos \gamma}$, Н; γ – передний отрицательный угол рабочего органа, град; $\gamma = 90^\circ$ при

отсутствии заглубления (глубина резания $h=0$) и $\gamma=0^\circ$ при полном заглублении диска рабочего органа (глубина резания $h=d$); при глубине резания $h \leq d/2$ угол $\gamma = 90 \dots 45^\circ$.

Тогда

$$W_2 = W_1 \cdot \frac{\sin \gamma}{\cos \gamma} = W_1 \cdot \operatorname{tg} \gamma. \quad (4)$$

Выглубляющая сила W_2 (формула (4)) растет с повышением сопротивления резанию и переднего отрицательного угла рабочего органа.

Меры по снижению силы сопротивления и энергоёмкости процесса и стабилизации глубины резания. Для решения проблемы роста сопротивления резанию и энергоёмкости, снижения стабильности глубины обработки почвы при увеличении скоростей рабочих органов можно применить дополнительное воздействие на почву, способствующее разрушению ядра уплотнения и снижению прочности почвы под рабочим органом (Vetrov Yu.A. – М.: Mashinostroyeniye, 2011; Zelenin A.N. – М.: Mashinostroyeniye, 2014; Dudkin M.V. Vestnik VKTU, № 4, 2022, Ust'-Kamenogorsk; Kim A.I. Vestnik VKTU. – Ust'-Kamenogorsk: EKTU, 2022; Astakhov V.S. - Minsk, 2019; Aduov M., Soil & Plant Science. – 2020; Dudkin M.V., Vestnik VKTU. № 2, 2023. – Ust'-Kamenogorsk; Dudkin M.V., Bulletin of the VKTU, No. 3, 2023. – Ust'-Kamenogorsk; M. Doudkin, I.RE.M.E., Vol 17, No 4, 2023).

Сообщение рабочему органу дополнительной вибрации может предотвратить образование перед ним уплотненного почвенного ядра, что позволит снизить силы сопротивления резанию, повысить скорость движения рабочего органа и стабилизировать глубину резания почвы.

Для проверки эффективности процесса вибрационного резания почвогрунтов дисковыми рабочими органами и его влияния на изменение силы сопротивления и глубины резания требуется проведение соответствующих экспериментальных исследований.

Экспериментальные исследования. Целью проведения экспериментальных исследований является:

– проверка гипотезы о причинах роста сил сопротивления и снижения стабильности

глубины резания почвы при увеличении скорости движения дискового рабочего органа;

– проверка полученных теоретических зависимостей по определению величины сил сопротивления резанию с учетом изменения свойств почвы при увеличении скорости движения рабочего органа;

– проверка эффективности дополнительного вибрационного воздействия рабочего органа на почву для снижения сил сопротивления и стабилизации глубины резания почвы.

Исследования проводились при резании почвы рабочим органом без вибрации (статическое резание) и при резании почвы рабочим органом с дополнительными вибрационными колебаниями (вибрационное резание).

Глубина резания – 40 мм и 80 мм. Частота колебаний составляла 50 Гц (3000 колеб./мин), амплитуда колебаний – 5 мм. Повторяемость опытов, определяемая расчетом, – трехкратная.

При проведении экспериментальных исследований использовался натуральный дисковый рабочий орган, дополнительно оснащенный инерционным вибровозбудителем и установленный на специально разработанный исследовательский стенд.

Стенд (рис. 3) состоит из грунтового лотка 1, тяговой тележки 2, на которую навешивается натуральный дисковый рабочий орган 3. Тяговый трос 4 подсоединен к тяговой тележке через электронный динамометр 5. Другим концом трос присоединен к барабану тягового двигателя, подключенного к многоканальному частотному регулятору скорости. На раме дискового рабочего органа закреплен инерционный генератор колебаний (вибратор) 6. Частота колебаний рабочего органа устанавливается частотным регулятором, амплитуда – изменением массы дебалансов и углом их установки и измеряется электронным вибротроном (VT-27 или Baltech 1470), датчик которого подсоединяется к рабочему органу.

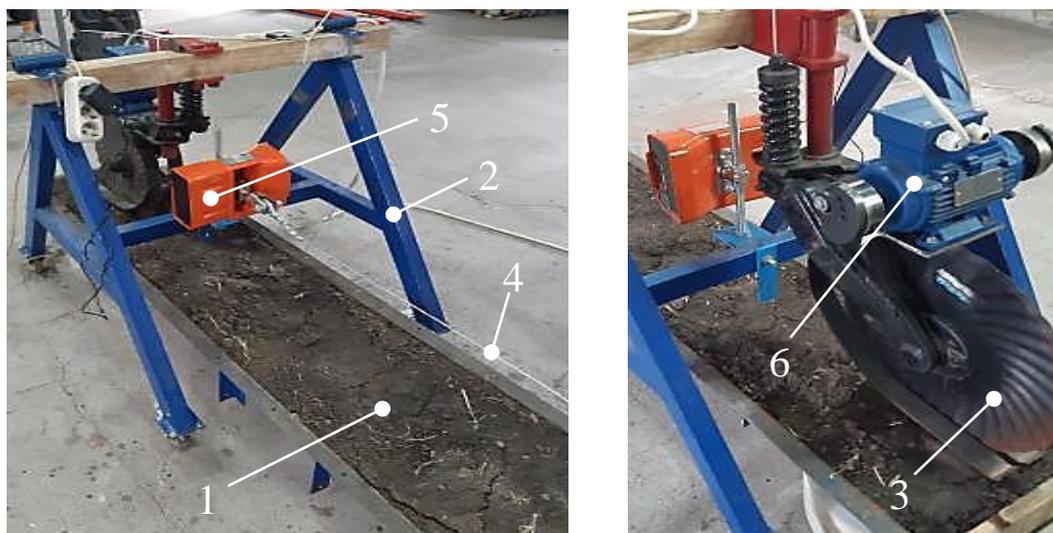


Рисунок 3. Экспериментальный стенд

Примечание – составлено автором

На исследовательском стенде проводился однофакторный эксперимент. Переменным фактором была скорость движения рабочего органа, а основным выходным параметром – тяговое сопротивление (сила тяги). Также определялось изменение глубины резания.

Согласно плану экспериментальных исследований проведено измерение тягового

сопротивления дискового рабочего органа при статическом и вибрационном резании при изменении скорости движения рабочего органа. Результаты опытов обработаны в виде графиков, выражающих зависимость между тяговым сопротивлением и скоростью движения рабочего органа, а также отражающих относительные изменения тягового сопротивления.

В серии экспериментов исследовалось изменение величины силы сопротивления резанию от скорости движения дискового рабочего органа без применения вибрации (статическое резание). Исследования проводились при изменении скорости движения рабочего органа v от 0 до 3 м/с с шагом 0,5 м/с для глубины резания 40 мм и 80 мм.

Отклонения теоретической силы резания от экспериментальной при различных скоростях рабочего органа представлены на рис. 5, а.

Среднее отклонение теоретических значений сил сопротивления от экспериментальных не превышает 7 % при $h = 80$ мм и 16 % при $h = 40$ мм.

На основе результатов измерений силы сопротивления резанию была определена экспериментальная мощность статического резания, графическое отображение которой приведено на рис. 4.

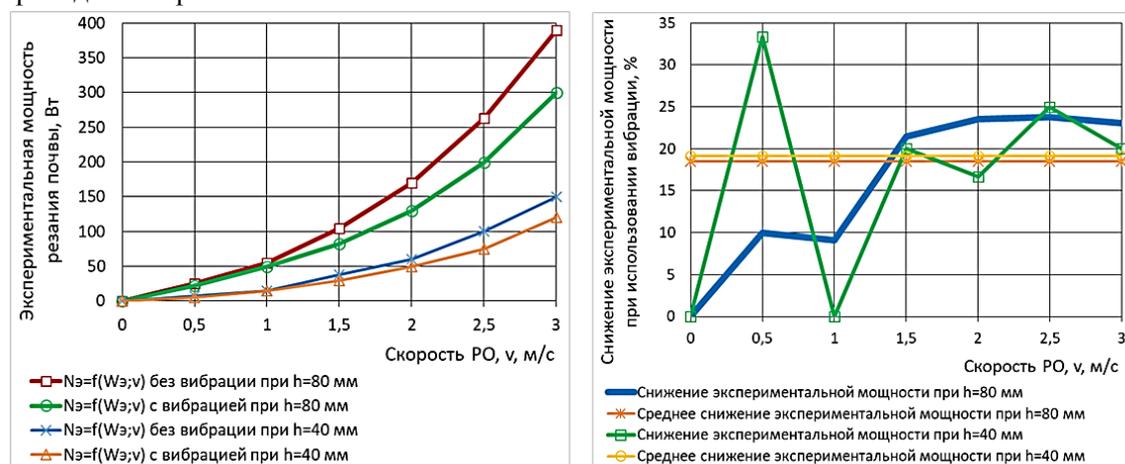


Рисунок 4. Изменение экспериментальной мощности резания

Примечание – составлено автором

Также исследования проводились при изменении скорости движения рабочего органа v от 0 до 3 м/с с шагом 0,5 м/с для глубины резания 40 мм и 80 мм при частоте круговых колебаний рабочего органа 50 Гц и амплитуде колебаний $a = 5$ мм.

Отклонения экспериментальной силы вибрационного резания от экспериментальной силы статического резания при различных скоростях рабочего органа представлены на рис. 5, б.

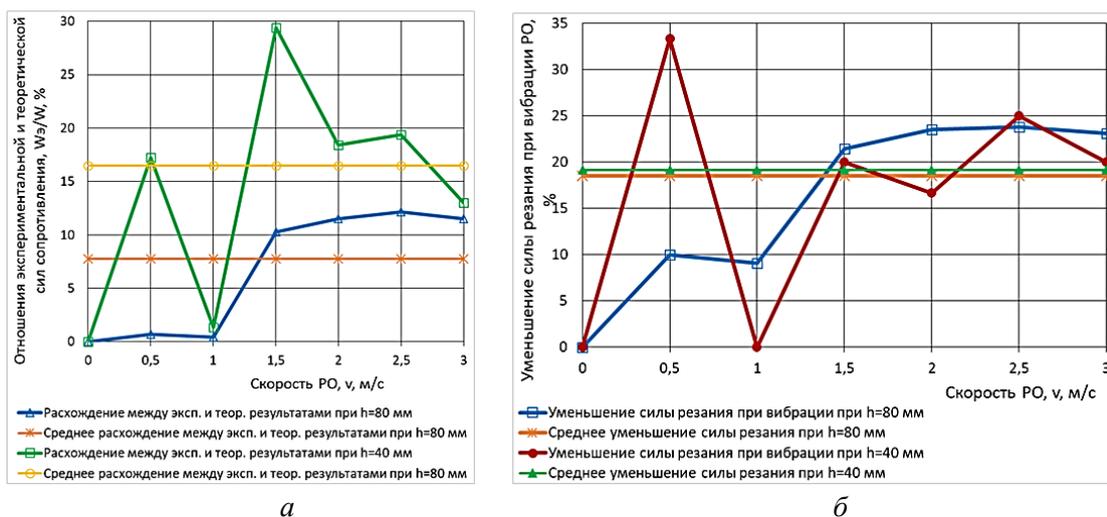


Рисунок 5. Отклонение теоретической силы сопротивления резанию от экспериментальной при статическом резании (а) и отклонение экспериментальной силы вибрационного резания от экспериментальной силы статического резания (б)

Примечание – составлено автором

В результате экспериментов установлено, что при сообщении дисковому рабочему органу дополнительных вибрационных колебаний тяговое усилие во всех случаях снижается. Вибрация рабочего органа позволила снизить тяговое сопротивление в среднем на 18 % при глубине резания 80 мм и на 19 % при глубине резания 40 мм. Это хорошо согласуется с исследованиями других авторов, которые получали величину снижения силы сопротивления резанию в пределах от 12 % до 23 %.

Заключение и выводы. В результате исследований разработана теоретическая модель и получено уравнение, связывающее силы сопротивления резанию почвы дисковым рабочим органом с плотностью почвы и скоростью резания, объясняющие увеличение энергозатрат и снижение качества процесса резания при увеличении скорости резания.

Для снижения энергоемкости и повышения стабильности глубины резания при увеличении рабочих скоростей необходимо стремиться к уменьшению плотности почвы под рабочим органом, что достигается наложением на рабочий орган дополнительных вибрационных колебаний.

В результате экспериментов установлено, что при вибрационном резании дисковым рабочим органом, по сравнению со статическим резанием, сила сопротивления резанию снижается, а стабильность глубины резания возрастает и не выходит за пределы допустимого отклонения, что доказывает эффективность применения вибрации при резании почвы.

Эксперименты подтвердили адекватность полученной теоретической расчетной модели, основанной на гипотезе влияния прироста плотности и прочности почвы на сопротивление резанию и процесс выглубления при увеличении скорости резания. Полученная методика расчета и выбора параметров процесса резания почвы может быть использована при проектировании дисковых рабочих органов посевных агрегатов при дальнейшем повышении скоростей их движения.

Использование на посевных агрегатах модернизированных дисковых рабочих органов с дополнительными вибрационными колебаниями позволит снизить энергозатраты и повысить эффективность работы сельскохозяйственной техники.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности. Исследования и разработка данного технического решения финансируются Комитетом науки Министерства науки и высшего образования РК (грант AP14869252 «Разработка конструкции универсального посевного комплекса с повышенной производительностью для эксплуатации в условиях агропромышленного производства Республики Казахстан» по договору 217/30-22-24 от 18.11.2022 г.).

Список литературы

- Сельскохозяйственная техника и технологии / Под редакцией И.А. Спасина. – М.: Колос, 2006. – 682 с. // *Sel'skokozyajstvennaya tekhnika i tekhnologii / Pod redakciej I.A. Spasina. – M.: Kolos, 2006. – 682 s.*
- Пименов А.В. Выбор сеялки прямого посева // *Аграрный консультант.* 2013. № 1 (6). – С. 14-16./ Pimenov A.V. Vybory sejal'ki pryamogo poseva // *Agrarnyy konsult'ant.* 2013. № 1 (6). – S. 14-16.
- Инновационные разработки дисковых сошников для посевных агрегатов / В.Р. Петровец [и др.]. – Горки: БГСХА, 2019. – 316 с. – ISBN 978-985-467-926-6./ *Innovatsionnyye razrabotki diskovykh soshnikov dlya posevnykh agregatov / V.R. Petrovets [i dr.]. – Gorki: BGSKHA, 2019. – 316 s.*
- Булавинцев Р.А. Анализ конструкций сошников современных сеялок для прямого посева сельскохозяйственных культур // *Агротехника и энергообеспечение.* – 2018. – № 2 (19). – С. 85-91 / Bulavintsev R.A. Analiz konstruksiy soshnikov sovremennykh seyalok dlya pryamogo poseva sel'skokhozyaystvennykh kul'tur // *Agrotekhnika i energoobespecheniye.* – 2018. – № 2 (19). – S. 85-91.
- Панов И.М., Синеоков Г.Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. – М.: Машиностроение, 2017. – 357 с. / Panov I.M., Sineokov G.N. Teoriya i raschet pochvoobrabatyvayushchikh mashin. – M.: Mashinostroyeniye, 2017. – 357 s.
- Зеленин А.Н. Основы разрушения грунтов механическими способами. Изд. 4-е перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2008. – 376 с. / Zelenin A.N. Osnovy razrusheniya gruntov mekhanicheskimi sposobami. Izd. 4-ye pererab. i dop. - M.: Mashinostroyeniye, 2008. – 376 s. 57.
- Ветров Ю.А. Резание грунтов землеройными машинами. – М.: Машиностроение, 2011. – 342 с. / Vetrov YU.A. Reziyaniye gruntov zemleroynymi mashinami. – M.: Mashinostroyeniye, 2011. – 342 s.
- Зеленин А.Н. Физические основы теории резания грунтов. – М.: Машиностроение, 2014. – 338 с. / Zelenin A.N. Fizicheskiye osnovy teorii rezaniya gruntov. – M.: Mashinostroyeniye, 2014. – 338 s.
- Дудкин М.В., Вавилов А.В., Ким А.И., Гурьянов Г.А., Млынчак М. Анализ тенденций развития посевных комплексов, их основных узлов и агрегатов // *Вестник Восточно-Казахстанского технического университета имени Д. Серикбаева, № 4, 2022. – Усть-Каменогорск. – С. 75-85. DOI 10.51885/1561-4212_2022_4_75/ Dudkin M.V., Vavilov A.V., Kim A.I., Gur'yanov G.A., Mlynchak M. Analiz tendentsiy razvitiya posevnykh kompleksov, ikh osnovnykh uzlov i agregatov // Vestnik Vostochno-Kazakhstanskogo tekhnicheskogo universiteta imeni D. Serikbayeva, № 4, 2022. – Ust'-Kamenogorsk. – S. 75-85.*
- Kim A.I., Doudkin M.V., Rogovsky V.V., Doudkina Ye.L., Mlynchak M. Review and analysis of existing designs of seeding machines // *Vestnik VKTU named after D. Serikbayev. – Ust-Kamenogorsk: EKTU, 2022. – № 4. – P. 130-139.*
- Астахов В.С., Петровец В.Р. Блочно-модульный метод построения широкозахватных посевных агрегатов // *Вестник белорусской государственной сельскохозяйственной академии, № 2, 2019./ Astakhov V.S., Petrovets V.R. Blochno-modul'nyy metod postroyeniya shirokozakhvatnykh posevnykh agregatov // Vestnik belorusskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii, № 2, 2019.*
- Aduov M., Nukusheva S., Kaspakov E., Isenov K., Volodya K. and Tulegenov T. Seed drills with combined coulters in No-till technology in soil and climate zone conditions of Kazakhstan // *Acta agriculturae scandina-vica, Section B: Soil & Plant Science.* – 2020. – VOL. 70, No. 6. – P. 525-531. – <https://doi.org/10.1080/09064710.2020.1784994>.
- Дудкин М.В., Ким А.И., Яковлев В.С., Роговский В.В., Вавилов А.В., Гурьянов Г.А., Курмангалиев Т.Б., Млынчак М. Обоснование конструкции и разработка новой комбинированной посевной секции для работы в условиях агропромышленного комплекса Казахстана // *Вестник Восточно-Казахстанского технического университета имени Д. Серикбаева, № 2, 2023. – Усть-Каменогорск. – С. 60-73. DOI 10.51885/1561-4212_2023_2_60/ Dudkin M.V., Kim A.I., Yakovlev V.S., Rogovskiy V.V., Vavilov A.V., Gur'yanov G.A., Kurmangaliyev T.B., Mlynchak M. Obosnovaniye konstruksii i razrabotka novoy kombinirovannoy posevnoy seksii dlya raboty v usloviyakh agropromyshlennogo kompleksa Kazakhstana // Vestnik Vostochno-Kazakhstanskogo tekhnicheskogo universiteta imeni D. Serikbayeva, № 2, 2023. – Ust'-Kamenogorsk. – S. 60-73.*

Дудкин М.В., Ким А.И., Яковлев В.С., Роговский В.В., Вавилов А.В., Гурьянов Г.А., Курмангалиев Т.Б. Определение усилий и тягового сопротивления внедрению дисков сошников посевной секции в почву // Вестник ВКТУ имени Д. Серикбаева, № 3, 2023. – Усть-Каменогорск. – С. 158-175. DOI 10.51885/1561-4212_2023_3_158/ Dudkin M.V., Kim A.I., Yakovlev V.S., Rogovsky V.V., Vavilov A.V., Guryanov G.A., Kurmangaliev T.B. Determination of forces and traction resistance to the penetration of coulter disks of the sowing section into the soil // Bulletin of the VKTU named after D. Serikbaev, No. 3, 2023. - Ust-Kamenogorsk. – pp. 158-175.

Mikhail Doudkin, Alina Kim, Vladimir Yakovlev, Valery Rogovskiy, Andrey Vavilov, Georgiy Gurianov, Timur Kurmangaliyev. Seeding Section Design Development and Determination of the Forces and Driving Resistance to the Penetration of its Disc Coulters into the Soil // International Review of Mechanical Engineering (I.R.E.M.E.), Vol 17, No 4 (2023). P. 178-189. DOI: <https://doi.org/10.15866/ireme.v17i4.23371>

Information about authors

Guryanov Georgiy – Ph.D., D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, gguryanov@ektu.kz, [orcid.0000-0003-3657-3735](https://orcid.org/0000-0003-3657-3735). +7 777 282 55 39

Yakovlev Vladimir – master of technical sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, vel1051@yandex.ru. +7 708 530 92 60

Dudkin Mikhail – t.s.d. (full doctor), D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, MDudkin@ektu.kz. [Orcid 0000-0001-5732-0724](https://orcid.org/0000-0001-5732-0724). +77772821422

Kim Alina Igorevna – PhD, MIRAS University, Shymkent, Kazakhstan

Stryczek Piotr – PhD, Wrocław University of Science and Technology, Wrocław, Poland. e-mail: piotr.stryczek@pwr.edu.pl, ORCID: 0000-0001-5696-080X. +48 601 822 334
