



ИНЖЕНЕРИЯ ЖӘНЕ ИНЖЕНЕРЛІК ІС
ИНЖЕНЕРИЯ И ИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО
ENGINEERING AND ENGINEERING

МАШИНА ЖАСАУ
МАШИНОСТРОЕНИЕ
MECHANICAL ENGINEERING

DOI 10.51885/1561-4212_2024_4_67
MFTAA 55.57.33

Б.А. Молдаханов¹, В.В. Роговский², А.Б. Бугаев³, Д.С. Елеманов⁴

Д. Серікбаев атындағы атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті,
Өскемен қ., Қазақстан

¹E-mail: bek_m78@mail.ru*

²E-mail: gerat1302@mail.ru

³E-mail: andbugaev@mail.ru

⁴E-mail: atonai2009@mail.ru

**ЕГУ ҚАТАРЫ МӘНДЕРІНІҢ ЕНІ ӘРТҮРЛІ ЖӘНЕ ДІРІЛДЕЙТІН
ДИСК АШҚЫШТАРЫ БАР ТҰҚЫМ СЕБУ КЕШЕНІНІҢ МОДЕЛІН ЭКСПЕРИМЕНТТІК
ЖӘНЕ ТЕОРИЯЛЫҚ ЗЕРТТЕУ НӘТИЖЕЛЕРІ**

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
МОДЕЛИ ПОСЕВНОГО КОМПЛЕКСА С РАЗЛИЧНЫМИ ЗНАЧЕНИЯМИ ШИРИНЫ
МЕЖДУРЯДИЙ И ВИБРАЦИОННЫМИ ДИСКОВЫМИ СОШНИКАМИ**

**THE RESULTS OF EXPERIMENTAL AND THEORETICAL STUDIES OF A MODEL
OF A SOWING COMPLEX WITH DIFFERENT VALUES OF ROW SPACING AND
VIBRATING DISC COULTERS**

Аңдатпа. Мақала егіс агрегатының дискілі дірілдейтін жұмыс органдарының топырақпен өзара әрекеттесуіне арналған. Топырақты өңдеу кезіндегі тарту кедергісі мен энергия сыйымдылығын төмендету, егіс агрегаттарының жылдамдығы мен өнімділігін арттыру үшін дірілдің топыраққа әсерін сипаттайтын заңдылықтары анықталды. Сонымен бірге егіс агрегатының дірілдейтін дискілі жұмыс органының топырақты кесудің механикалық-математикалық моделі әзірленді. Дискілі жұмыс органының кесу жиегінің топырақпен дірілдейтін әсерлесу параметрлерін анықтау үшін математикалық тәуелділіктер алынды. Процестің тарту кедергісі мен энергия сыйымдылығын төмендету тұрғысынан дірілді кесу процесінің тиімділік шарттары белгіленді. Егіс жабдықтарының дискілі жұмыс органын жобалау және пайдалану кезінде, топырақты дірілдетудің ұтымды параметрлерін таңдау әдістемесі жасалды. Сонымен қатар, зерттеулер барысында алынған теориялық нәтижелерді растайтын және тарту кедергісі мен энергия шығынын азайту үшін, дискілі жұмыс органының топырақты дірілдеп кесуінің тиімділігі мен орындылығын дәлелдейтін діріл жұмыс жабдығының тәжірибелік үлгісін эксперименттік зерттеу нәтижелері келтірілді.

Түйін сөздер: себу, сепкіш, ашқыш, кескіш диск, дискілі жұмыс органы, дірілдеткіш жұмыс органдары, діріл, тарту кедергісі, энергия сыйымдылығы.

Аннотация. Статья посвящена взаимодействию дисковых вибрационных рабочих органов посевного агрегата с почвой. Для снижения сил тягового сопротивления и энергоёмкости обработки почвы, повышения скорости и производительности посевных агрегатов выявлены закономерности, характеризующие воздействие вибраций на почву и разработана механико-математическая модель резания почвы вибрационным дисковым рабочим органом посевного агрегата, получены математические зависимости для определения параметров виброударного взаимодействия режущей кромки дискового рабочего органа с почвой и установлены условия

эффективности процесса виброрезания с точки зрения снижения тягового сопротивления и энергоемкости процесса. Разработана методика подбора рациональных параметров виброрезания почвы при проектировании и работе дискового рабочего органа посевного оборудования. Приведены результаты экспериментальных исследований опытного образца вибрационного рабочего оборудования, подтверждающие полученные теоретические результаты и доказывающие эффективность и целесообразность вибрационного резания почвы дисковым рабочим органом для снижения тягового сопротивления и затрат энергии.

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

Annotation. The article is devoted to the interaction of the disk vibration working bodies of the sowing unit with the soil. To reduce the forces of traction resistance and energy intensity of tillage, increase the speed and productivity of sowing units, patterns characterizing the effect of vibrations on the soil have been identified and a mechanical and mathematical model of cutting soil with a vibrating disc working body of a sowing unit has been developed, mathematical dependencies have been obtained to determine the parameters of vibro-impact interaction of the cutting edge of a disc working body with the soil and conditions for the effectiveness of the vibration cutting process have been established from the point of view of reducing the traction resistance and energy intensity of the process. A method for selecting rational parameters of soil vibration cutting in the design and operation of a disk working body of sowing equipment has been developed. The results of experimental studies of a prototype of vibrating working equipment are presented, confirming the theoretical results obtained and proving the effectiveness and expediency of vibrating cutting of soil with a disk working body to reduce traction resistance and energy costs.

Keywords: sowing, seeder, coulter, cutting disc, disc working body, vibrating working bodies, vibration, traction resistance, energy intensity.

Кіріспе. Ауылшаруашылық дақылдарын өндірудің тиімділігін арттыру үшін тікелей себу технологиясы қолданылады (Спасин, 2006; Петровец&Горки, 2019). Тікелей себу үшін қолданылатын сепкіштер (Salford 520 (Канада), Берегиня АП-402 (Ресей), СРН-2000F (АҚШ), SD7200 (Қазақстан), John Deere 1590 (АҚШ), Crucianelli Pionera 2717 және т. б.) топырақ қабатын аз ғана жылжыта отырып, өсімдік қалдықтарын кесіп, дақылдарды берілген тереңдікке дәл себуді қамтамасыз етуі қажет.

Топырақты өңдеу кезінде энергия көрсеткіштерін төмендетудің ең перспективалы бағыты – топырақ өңдеу құралдарын қосымша бұзушы күштер мен өрістерді генерациялау құрылғыларымен синтездеу, мысалы, жұмыс органдарының топырақпен өзара әрекеттесуін өзгертетін діріл тербелісі түріндегі импульстік әсерлер (Дудкин et al, 2022; Kim et al, 2022; Aduov et al, 2020; Трофимов, 2018). Топырақ өңдеу жұмыс органдарының қосымша дірілін қолданудың тиімділігі үш негізгі аспектімен байланысты: қарқындылығы жоғары кернеулердің жиынтық өрісін құру; топырақтың сұйылту және акустикалық босату күйіне өтуі; жұмыс органдарына топырақтың үйкеліс коэффициенті мен күштерінің төмендеуі.

Жұмыстың мақсаты егіс жабдығының дірілдейтін дискілі жұмыс органдарын қолдану арқылы топырақты кесу тиімділігін арттыру, олардың жұмысының нақты параметрлерін анықтау, дірілдейтін жұмыс жабдықтарының параметрлерін инженерлік есептеу және таңдау әдістемесін әзірлеу болып табылады.

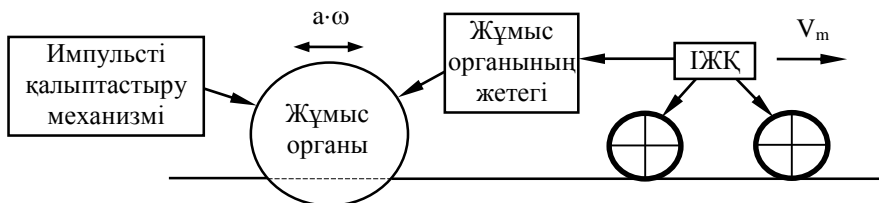
Егістік жұмыс жабдықтарының жаңа түрінің негізгі идеясы – белгілі бір тұрақты жылдамдыққа ие негізгі жұмыс қозғалысы бар диск құралына, негізгі қозғалыс бағытына сәйкес, салыстырмалы түрде аз энергиямен бағытталған қосымша бірлік діріл соққыларын қабаттастыру.

Топыраққа қосымша діріл әсері бар машинаның құрылымдық схемасы 1-суретте көрсетілген және жүріс жабдығы мен іштен жану қозғалтқышы бар базалық машинаны, дискілі жұмыс жабдығын, сондай-ақ күш импульстарын (діріл) қалыптастыру механизмін қамтиды.

Топырақты кесуге арналған тербелмелі жабдықтың негізгі параметрлері, құрал

тербелістерінің жиілігі (ω (c^{-1})) мен a (м) амплитудасы, базалық машинаның ілгерілемелі қозғалысының V_m (м/с) жылдамдығы және қатар аралықтары енінің әртүрлі мәндері болып табылады.

Бұл жердегі толық шешілмеген маңызды сұрақ – бұл қондырғының жылдамдығы мен діріл жылдамдығының ара қатынасы.



1-сурет. Топыраққа импульстік әсер ететін машинаның құрылымдық схемасы
Ескерту – автормен құрастырылған

Теориялық зерттеулер. Негізгі машинаның ілгерілемелі қозғалысының жылдамдығын ескере отырып, тербелістердің амплитудасы мен жиілігінің шамаларын таңдау тек сенімді математикалық есептеу әдістерін әзірлеу негізінде мүмкін болады.

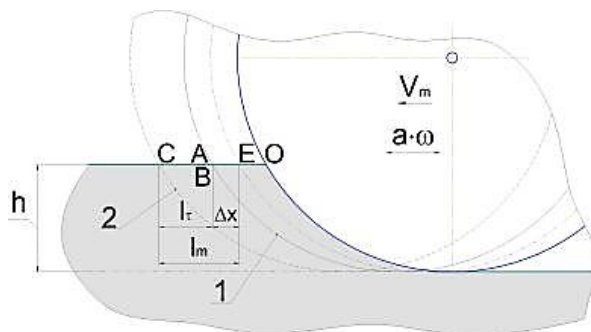
Дірілдеу процесінде диск құралының кескіш жиегі ω ($1/c$) жиілігі және амплитудасы a (м) тұрақты жылдамдықпен базалық машинаның қозғалысы бағытында V_m (2-сурет, 3-сурет) гармоникалық тербелістер жасасын (эксцентрикалық діріл жетегі үшін, $a=2e$, мұндағы e – эксцентриситет).

Негізгі машинаның қозғалыс бағытында дірілді кесу режиміне арналған $x(t)$ кесу жиегінің қозғалыс процесін диаграммаға сәйкес ұсынуға болады. 2-ші және 3-суретте екі қозғалыстың қосындысы түрінде: $x_m(t) = V_m \cdot t$ базалық машинаның қозғалысы және $x_{po}(t) = e \cdot (1 - \cos \omega t)$ жұмыс органының қосымша тербелістері. Бұл жағдайда жұмыс органының қозғалыс заңы (дискінің кесу жиегінің координатасының ағымдағы мәні) ағымдағы t уақыт координатасына байланысты көрсетілуі мүмкін:

$$x(t) = x_m(t) + x_{po}(t) = e \cdot (1 - \cos \omega t) + V_m \cdot t = \frac{1}{2} \cdot a \cdot (1 - \cos \omega t) + V_m \cdot t \quad (1)$$

Жұмыс органының қозғалысы T тербеліс кезеңінің ұзақтығына сәйкес жеңілдетілген ара тісті сипатқа ие және, a тербеліс амплитудасымен жүреді делік.

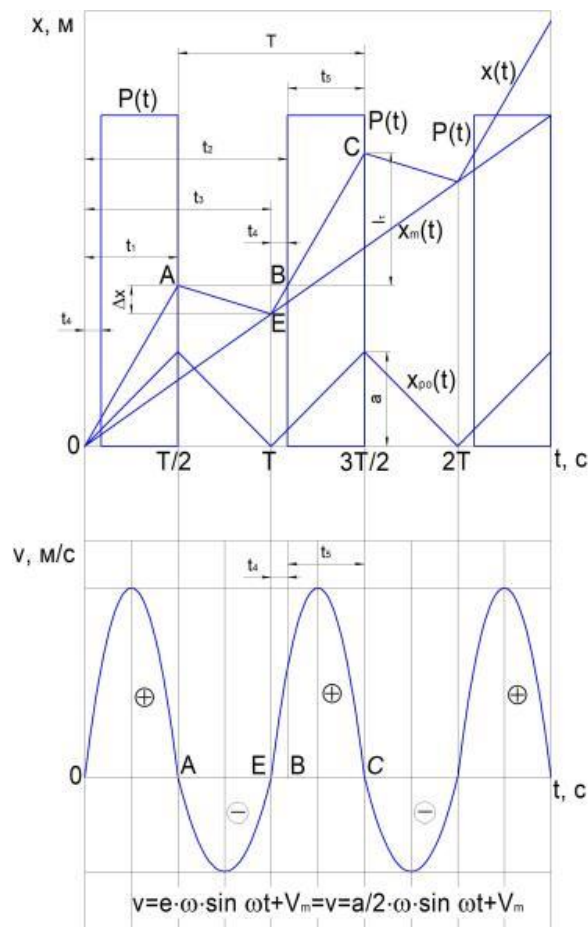
Дискілі жұмыс органының топырақты дірілді кесу процесінің сызбасы 2-суретте көрсетілген. Кескіш жиектің қозғалыс траекториясы 3-суретте көрсетілген.



2-сурет. Құралдың көлденең тербелісі бар дірілді кесу процесінің схемасы
Ескерту – автормен құрастырылған

Жұмыс құралы (диск) бастапқы 0 нүктесінде топыраққа енгізіледі және негізгі машинаның қозғалыс бағытында қозғалады. А нүктесінде кесу жиегінің қозғалысы максималды мәнге жетеді және мыжылған жер бойынша топырақтың деформациясы 1 аумақта жүреді. А нүктесінде тоқтағаннан кейін, кесу жиегінің кері қозғалысы кезінде оның Δx жолындағы топырақпен жанасудан шығуы А нүктесінен Е, В нүктелеріне дейін жүргізіледі. Е нүктесі кесу жиегінің топырақпен жанасуынан максималды шығуы, ары қарай кесу жиегі тоқтайды және оның келесі қозғалысы машинаның қозғалыс бағытында басталады.

В нүктесінде кесу жиегі топырақпен жаңа байланысқа түседі және С нүктесіне дейін қозғалады, онда оның қозғалысы қайтадан максималды мәнге жетеді және мыжылған жер бойынша жаңа топырақ деформациясы 2 аумақта орын алады. Яғни, дірілдеу процесінде кесу жиегі топырақпен жанасады, содан кейін одан шығады.



3-сурет. Дірілді кесу механизмі (кесу жиегінің қозғалыс траекториясы, кесу жиегінің қозғалыс жылдамдығы, кесу күшінің импульстары)

Ескерту – автормен құрастырылған

Кескіш құралдың ортаға динамикалық әсер ету шарты $t_4 > 0$ уақыты немесе $\Delta x > 0$ шегі болып табылады. Кесу жиегінің топырақпен әрекеттесуі t_5 уақытына созылады.

Кесетін жиектің топырақпен жанасатын қашықтығы - l_7 . ОА және ВС учаскелерінде P_0

кесу күшінің импульсі әрекет етеді. h тереңдігі себу үшін қажетті ойық тереңдігімен анықталады.

Құралдың қозғалысының максималды $x(t)$ координатасы A нүктесінде қол жеткізіледі, кесу жиегінің қозғалыс жылдамдығы нөлге тең. Кескіш жиектің қозғалысының жалпы жылдамдығы (негізгі машина мен діріл қозғалысының қозғалысы кезінде) мына формуламен сипатталады:

$$\dot{x}(t) = e \cdot \omega \cdot \sin \omega t + V_m \quad (2)$$

Өрнектен A нүктесінің координаты (1):

$$x_A = e \cdot (1 - \cos \omega t_1) + V_m \cdot t_1 = a + V_m \cdot t_1 = a + V_m \cdot \frac{T}{2} = a + V_m \cdot \frac{\pi}{\omega}$$

E нүктесінің координаты:

$$x_E = e \cdot (1 - \cos \omega t_3) + V_m \cdot t_3 = V_m \cdot T = V_m \cdot \frac{2\pi}{\omega}$$

Жұмыс құралын (дискіні) A нүктесінен E нүктесіне дейін жылжыту кезінде дискінің кесу жиегінің топырақпен жанасу аймағынан максималды шығуының Δx шамасын $\Delta x = x(t_1) - x(t_3)$ мәнінің өрнегінен табуға болады, мұндағы $x(t_1) = x_A$ және $x(t_3) = x_E$:

$$\Delta x = x(t_1) - x(t_3) = x_A - x_E = (a + V_m \cdot \frac{T}{2}) - V_m \cdot T = a - 0,5 \cdot V_m \cdot T \quad (3)$$

Соққы дірілін кесу механизмінен көрініп тұрғандай, Δx мәні оң мәнге ие болуы керек. Егер өлшем $\Delta x \leq 0$ болса, онда дірілдеу процесінде кесу жиегі жанасу аймағынан шықпайды, демек, бұзылу механизмі статикалық кесуге ұқсас.

Жұмыс ортасының бұзылуы жұмыс органының қоршаған ортамен өзара әрекеттесуінің t_5 уақытындағы жұмыс құралының импульстік күш әсерінің нәтижесі болып табылады (3-сурет). Енді діріл параметрлерінің кесу күшіне байланысы мен әсерін анықтайық.

Дірілді кесуге тән импульстік кесу күші функциясын Фурье қатарына бөлуге болады (Дроздов, 2011; Николаев & Союнов, 2017):

$$P(t) = \frac{t_5}{T} \cdot P_0 + \frac{2}{\pi} \cdot P_0 \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \cdot \sin(n \frac{\tau}{T} \pi) \cdot \cos(n \omega t) \quad (4)$$

мұндағы n – функцияның Фурье қатарына ыдырау мүшесінің (гармоникасының) нөмірі; T – тербеліс кезеңі; t_5 – күштің импульстік әрекет ету уақыты; ω – жиек-кесу жиегінің тербелістерінің бұрыштық жиілігі, рад/с; P_0 – статикалық кесу күші.

Демек, (4) теңдеуінен күш импульсінің t_5 әсер ету уақытының азаюымен $P(t)$ кесу күшінің орташа мәні төмендейді, яғни дірілді кесу күші айтарлықтай, бірақ уақытына байланысты t_5 жұмыс органының ортамен өзара әрекеттесуіне байланысты (күш импульсінің P әрекет ету уақытында), 3-суретке сәйкес, орташа кесу күші төмендегідей болады:

$$P_{cp} = \frac{T - t_4}{T} \cdot P_0 = (0,5 - \frac{t_4}{T}) \cdot P_0 \quad (5)$$

(5) теңдеуден кесу күшін азайту үшін t_4 уақытын көбейтуге ұмтылу керек екенін көруге болады, ол құралдың негізгі машинаның қозғалыс бағытында қозғала бастағаннан кейін топырақпен байланысқа түсуіне байланысты (Устинов et al, 2022; Федоренко, 2016;

Дудкин et al, 2023). Сонымен қатар, t_4 уақыты t_5 уақытына қарағанда кесу күшін азайту үшін үлкен маңызға ие.

t_4 уақыты тербеліс амплитудасының өсуімен баяу артады. t_4 уақыты теріс мәндерді қабылдай алмайтыны анық ($t_4 \geq 0$), өйткені бұл жағдайда құрал топырақпен жанасудан шықпайды және дірілді кесу режимі қамтамасыз етпейді. Бұл талап орындалады, егер

$a \cdot \omega > \pi \cdot V_m$ орындалса.

Жұмыс органының топырақпен өзара әрекеттесуінің t_5 уақытын көрсетейік:

$$t_5 = \frac{T}{2} - t_4 = \frac{\pi}{\omega} \cdot \left(1 - \frac{a \cdot \omega - \pi \cdot V_m}{a \cdot \omega + \pi \cdot V_m}\right) = \frac{\pi}{\omega} \cdot \left(1 - \frac{1 - \pi \cdot \frac{V_m}{a \cdot \omega}}{1 + \pi \cdot \frac{V_m}{a \cdot \omega}}\right) \quad (6)$$

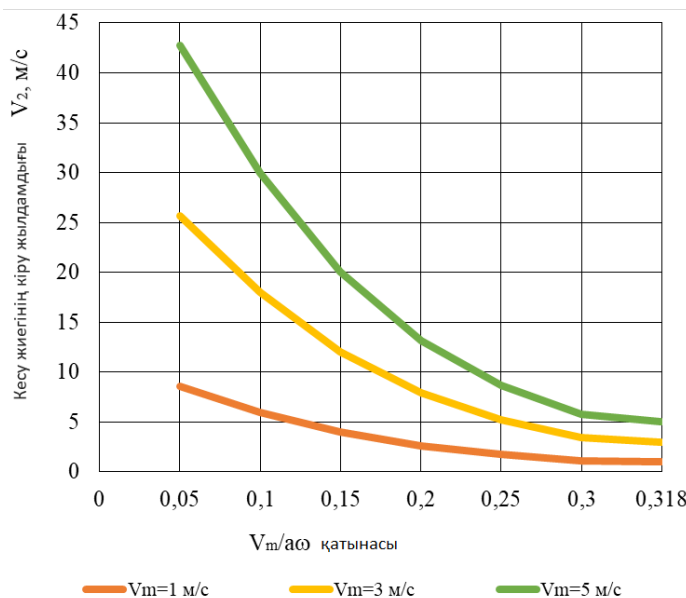
t_2 уақыты дискінің кесу жиегінің (О нүктесі) қозғалысының басынан бастап топыраққа қайта енгізілгенге дейін (В нүктесі), біз оны 3-суреттен табамыз:

$$t_2 = T + t_4 = T + \frac{\pi}{\omega} \cdot \frac{1 - \pi \cdot \frac{V_m}{a \cdot \omega}}{1 + \pi \cdot \frac{V_m}{a \cdot \omega}} = \frac{\pi}{\omega} \cdot \left(2 + \frac{1 - \pi \cdot \frac{V_m}{a \cdot \omega}}{1 + \pi \cdot \frac{V_m}{a \cdot \omega}}\right)$$

t_2 уақытын анықтағаннан кейін V_2 анықтауға болады – жұмыс жабдығының кесу жиегін топыраққа енгізудің бастапқы жылдамдығы (В нүктесі, 2-сурет, 3-сурет) құралдың топыраққа әсер етуінің кинетикалық энергиясын сипаттайды:

$$V_2 = e \cdot \omega \cdot \sin \omega t_2 + V_m = \frac{a}{2} \cdot \omega \cdot \sin \left(\pi \cdot \left(2 + \frac{1 - \pi \cdot \frac{V_m}{a \cdot \omega}}{1 + \pi \cdot \frac{V_m}{a \cdot \omega}}\right)\right) + V_m$$

V_2 жұмыс органының топыраққа ену жылдамдығы $V_m/(a \cdot \omega)$ өлшемсіз параметрінің жоғарылауымен және $V_m/(a \cdot \omega) = 0,318$; $V_2 = V_m$ (4-сурет), яғни дірілді кесу тоқтайды және процесс қарапайым статикалық түзетуге ұқсас болады (Дудкин et al, 2023; Mikhail Doudkin et al, 2013). Осылайша, V_m базалық машинасының үдемелі қозғалыс жылдамдығын төмендету немесе $a \cdot \omega$ діріл жылдамдығын арттыру, топырақты кесу күшінің айтарлықтай төмендеуін қамтамасыз ете алады.



4-сурет. $V_m/(a \cdot \omega)$ қатынасының кесу жиегін енгізу жылдамдығына әсері

Ескерту – автормен құрастырылған

Дірілді кесу параметрлерін анықтау әдістемесі. Дірілдеу процесінің ұтымды параметрлерін таңдау үшін біз кесу күшінің ең аз мәніне қол жеткізілетін t_5/T уақыттың ең аз мүмкін мәндерінің критерийін, сондай-ақ топырақтың деформациясы үшін жеткілікті құрал пышағын енгізу үшін қажетті l_r тереңдігіне қол жеткізу шартын қолданамыз.

Тербелістердің амплитудасын анықтайық:

$$a \geq \frac{l_r}{2\pi} \cdot \frac{\omega \cdot a}{V_m} = \frac{l_r}{2\pi \cdot (0..0,318)} = \frac{0,01}{2\pi \cdot 0,11} = 0,014 \text{ м} = 14 \text{ мм}$$

Амплитудасын біле отырып және негізгі шассидің қозғалысының V_m жылдамдығының мәнін қабылдай отырып, тербелістің қажетті жиілігін ω анықтауға болады. $V_m/(a \cdot \omega) = 0,11$, $V_m = 3$ м/с, $a = 0,014$ м, тербеліс жиілігі үшін:

$$\omega = \frac{V_m}{a} \cdot \left(\frac{a \cdot \omega}{V_m} \right) = \frac{V_m}{(0..0,318) \cdot a} = \frac{3}{0,11 \cdot 0,014} = 1948 \text{ с}^{-1} = 18600 \text{ тербеліс/мин.}$$

Ұсынылған әдіс жобалау кезеңінде диск жұмыс органының дірілді кесудің тұрақты режимін қамтамасыз ететін жұмыс жабдықтарының ұтымды параметрлерін алуға мүмкіндік береді.

Эксперименттік зерттеулер. Эксперименттік зерттеулерді жүргізудің мақсаты алынған теориялық ережелерді, ұтымды параметрлерге қол жеткізу шарттарын және дискілік діріл жұмыс органының жұмыс режимдерін тексеру болып табылады.

Эксперименттік зерттеулер жүргізу кезінде инерциялық діріл қоздырғышымен қосымша жабдықталған және арнайы әзірленген зерттеу стендіне орнатылған табиғи дискілі жұмыс органы пайдаланылды (5-сурет).

Кесу тереңдігі 40 мм және 80 мм. тербеліс жиілігі 10 Гц-тен 50 Гц-ке дейін, амплитудасы 1-ден 5 мм-ге дейін өзгерді. Тәжірибе үш рет қайталанады.

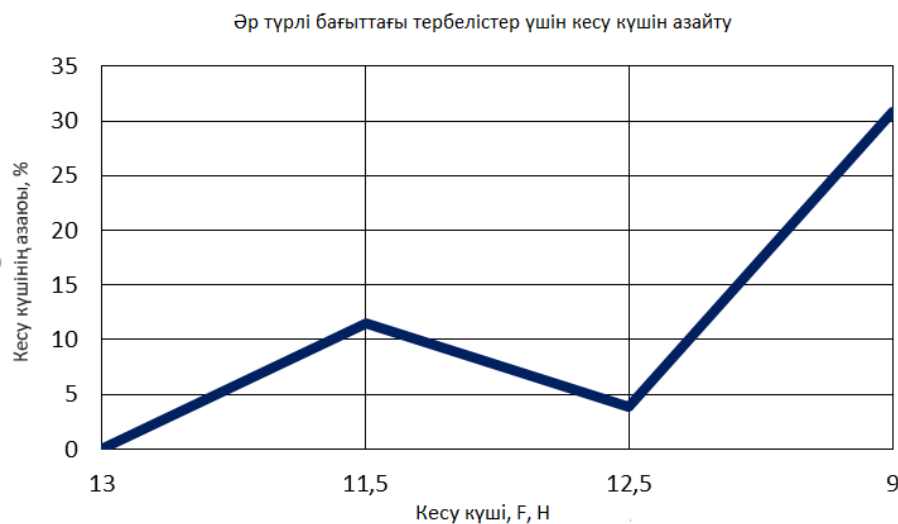
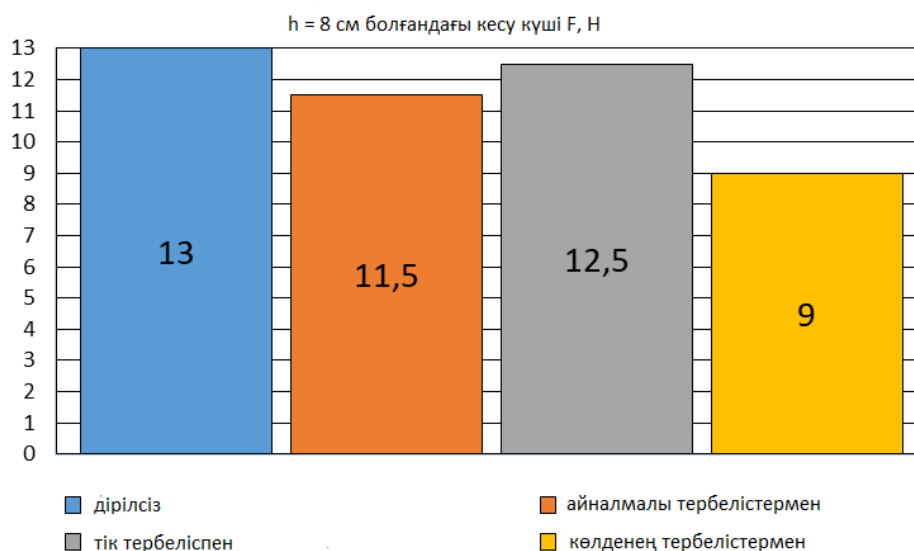


5-сурет. Қатарлар арасындағы ені мәнін ескермей, сепкіштің дірілдейтін дискілі жұмыс органдарын зерттеуге арналған эксперименттік стенд

Ескерту – автормен құрастырылған

Стенд (5-сурет) 1-топырақ науасынан, 2-тартқыш арбадан тұрады, оған 3-заттай дискілі жұмыс органы ілінеді, 5-жылдамдықты көп арналы реттегіші бар 4-тартқыш жүк шығырдан тұрады. Тартқыш шығыр кабелі тартқыш арбаға электронды динамометр 6 арқылы қосылады. Диск жұмыс органының жақтауына инерциялық тербеліс генераторы (вibrator) 7 бекітілген, бұл амплитудасы мен тербеліс жиілігін әр түрлі диапазондарда өзгертуге мүмкіндік береді, сонымен қатар жылдамдық жиілігінің реттегішіне қосылған. Тербеліс амплитудасы электронды виброметрмен 8 өлшенеді (VT-27 немесе Baltech 1470), оның сенсоры 9 жұмыс органына қосылады.

Эксперименттердің нәтижелері өңделеді және график түрінде ұсынылады (6-сурет).



6-сурет. Тербеліс бағытының кесу күшінің шамасына әсері

Ескерту – автормен құрастырылған

Эксперименттер дискілі жұмыс органының тербеліс бағытынан кесу күшінің шамасының өзгеруін зерттеді. Зерттеулер 50 Гц тербеліс жиілігінде, амплитудасында, $a = 4$ мм және айналмалы бағандар үшін 0,2 м/с негізгі қозғалыс жылдамдығында жүргізілді. Кесетін құралдың қосымша тербелісі төмен кесу жылдамдығымен топырақты кесу бағытына сәйкес келетін бағытта тартылыс күші басқа тербеліс түрлерімен салыстырғанда 30 %-ға төмендейді.

Графиктерден $V_m/(a-\omega) = 0,5$ кезінде дірілдеу кесу күшінің азаюына әкелмейтінін көруге болады. Дегенмен кейбір әсер топырақтың жалған сұйылтылуына байланысты болады, ал $V_m/(a-\omega)=0,16$ кезінде дірілдеу статикалық кесумен салыстырғанда кесу тереңдігі 4 см болғанда кесу күші 31 % төмендесе, ал кесу тереңдігі 8 см болғанда 29 %-ға төмендейді. Бұл $0 < V_m/(a-\omega) \leq 0,318$ теориялық тұрғыдан алынған өлшемсіз қатынасының өзгеру шекараларының дұрыстығын көрсетеді.

Қорытынды және тұжырымдар. Жоғары жылдамдықты сепкіштер үшін кесуге төзімділік күштерін және топырақты өңдеудің энергия сыйымдылығын төмендету өзекті болып табылады. Ол үшін жұмыс органдары діріл тербелістерінің ұтымды режимін таңдаумен бірге, себу ортасына тербеліс әсерін тиімді қолдану.

Теориялық зерттеулердің нәтижесінде дискінің жұмыс органы топырақты дірілдеп кесу процесінің механикалық-математикалық моделі жасалды. $V_m/(a-\omega)=0..0,318$ өлшемсіз параметрінің мәні дискінің жұмыс органының тұрақты және дірілмен кесілуі арасындағы шекараны және базалық машинасының ілгерілемелі қозғалыс жылдамдығын $V_m < 0,318 \cdot (a-\omega)$ шектеу шартын анықтайды.

Эксперименттік зерттеулер дискілік жұмыс органының топырақты кесу процесіне діріл әсерінің тиімділігін және кесу күшінің төмендеуін растады. Негізгі машинаның ілгерілемелі жылдамдығының бағытына сәйкес тербеліс бағытында топырақты дірілмен кесу дискілі жұмыс органының тарту кедергісін 30 %-ға дейін төмендетуге мүмкіндік берді. Тиісінше энергия шығындарын азайтуға болады.

Мүдделер қақтығысы. Авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

Алғыс. Нәтижелері осы мақалада келтірілген зерттеулерді ҚР Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырады (AP14869252 «Қазақстан Республикасының агроөнеркәсіптік өндірісі жағдайында пайдалану үшін өнімділігі жоғары әмбебап егіс кешенінің конструкциясын әзірлеу» гранты шарт бойынша 217/30-22-24 18.11.2022 ж.).

Әдебиеттер тізімі

- Спасин И.А. Сельскохозяйственная техника и технологии. – М.: Колос, 2006. – 682 с. // Spasina I.A. Sel'skohozyajstvennaya tekhnika i tekhnologii. – М.: Kolos, 2006. – 682 s.
- Инновационные разработки дисковых сошников для посевных агрегатов / В.Р. Петровец [и др.]. – Горки: БГСХА, 2019. – 316 с.: ил. – ISBN 978-985-467-926-6 // Innovacionnye razrabotki diskovyh soshnikov dlya posevnyh agregatov / V.R. Petrovec [i dr.]. – Gorki: BGSKHA, 2019. – 316 s.: il. – ISBN 978-985-467-926-6.
- 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 tendencij razvitiya posevnyh kompleksov, ih osnovnyh uzlov i agregatov // Vestnik Vostochno-Kazahstanskogo tekhnicheskogo universiteta imeni D. Serikbaeva, № 4, 2022. – Ust'-Kamenogorsk. – S. 75-85. DOI 10.51885/1561-4212_2022_4_75
- 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.
- 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 scandinavica*, Section B: Soil & Plant Science. – 2020. – Vol. 70. – No. 6. – P. 525-531. – <https://doi.org/10.1080/09064710.2020.1784994>.
- Трофимов И.В. Обоснование конструктивно-режимных параметров вибрационного культиватора для предпосевной обработки почвы. Автореф. дисс. канд. техн. наук по спец. 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства. Оренбургский государственный аграрный университет. Оренбург, 2018. 20 с. // Trofimov I.V. Obosnovanie konstruktivno-rezhimnykh parametrov vibratsionnogo kul'tivatora dlya predposevnoy obrabotki pochvy. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk po spec. 05.20.01 – Tekhnologii i sredstva mekhanizatsii sel'skogo hozyajstva. Orenburgskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet. Orenburg, 2018. – 20 s.
- Дроздов С.Н. Использование вибрации в почвообрабатывающих машинах // *Известия ОГАУ*. – 2011. – № 4. – С. 94-96 // Drozdov S.N. Ispol'zovanie vibratsii v pochvoobrabatyvayushchih mashinah // *Izvestiya OGAU*. – 2011. – № 4. – S. 94-96.
- Николаев Л.А., Союнов А.С. Применение вибрации в обработке почвы // *Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ*. – 2017. – №1(8). – URL <http://e-journal.omgau.ru/index.php/2017/1/35-statya-2017-1/775-00302>. ISSN 2413-4066// Nikolaev L.A., Soyunov A.S. Primenenie vibratsii v obrabotke pochvy // *Elektronnyj nauchno-metodicheskij zhurnal Omskogo GAU*. – 2017. – №1(8). – URL <http://e-journal.omgau.ru/index.php/2017/1/35-statya-2017-1/775-00302>. ISSN 2413-4066
- Применение механических колебаний в сельском хозяйстве: монография / Н.Н. Устинов, С.П. Пирогов, Д.А. Черенцов, А.Ю. Чуба, С.Н. Кокошин. – Тюмень: ГАУ Северного Зауралья, 2022. – 131 с. – URL: <http://www.tsaa.ru/documents/publications/2022/monografiyaustinov.pdf>. – Текст: электронный// *Primenenie mekhanicheskikh kolebanij v sel'skom hozyajstve: monografiya / N.N. Ustinov, S.P. Pirogov, D.A. Cherenkov, A.YU. Chuba, S.N. Kokoshin*. – Tyumen': GAU Severnogo Zaural'ya, 2022. – 131 s. – URL: <http://www.tsaa.ru/documents/publications/2022/monografiyaustinov.pdf>. – Текст: электронный.
- Федоренко И.Я. Вибрационные процессы и устройства в АПК: монография. – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2016. – 289 с.// Fedorenko I.YA. Vibratsionnye processy i ustrojstva v APK: monografiya. – Barnaul: RIO Altajskogo GAU, 2016. – 289 s.
- 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., Rogovskij V.V., Vavilov A.V., Gur'yanov G.A., Kurmangaliev T.B., Mlynchak M. Obosnovanie konstrukcii i razrabotka novoj kombinirovannoj posevnoj sekcii dlya raboty v usloviyah agropromyshlennogo kompleksa Kazahstana // *Vestnik Vostochno-Kazahstanskogo tekhnicheskogo universiteta imeni D. Serikbaeva*, № 2, 2023. – Ust'-Kamenogorsk. – S. 60-73. DOI 10.51885/1561-4212_2023_2_60
- 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 Восточно-Казахстанского технического университета 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., Rogovskij V.V., Vavilov A.V., Gur'yanov G.A., Kurmangaliev T.B. Opredelenie usilij i tyagovogo soprotivleniya vnedreniyu diskov soshnikov posevnoj sekcii v pochvu // *Vestnik Vostochno-Kazahstanskogo tekhnicheskogo universiteta imeni D. Serikbaeva*, № 3, 2023. – Ust'-Kamenogorsk. – S. 158-175. DOI 10.51885/1561-4212_2023_3_158
- 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>
- Пименов А.В. Выбор сеялки прямого посева // *Аграрный консультант*. 2013. No 1 (6). – С. 14-16// Pimenov A.V. Vybor seyalki pryamogo poseva // *Agrarnyy konsultant*. 2013. No 1 (6). – S.
- Ветров Ю.А. Резание грунтов землеройными машинами. – М.: Машиностроение, 2011. – 342 с. // Vetrov YU.A. Rezaniye gruntov zemleroynymi mashinami. – M.: Mashinostroyeniye, 2011. – 342 s.

Information about authors

Moldakhanov Bekbolat – PhD, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: bek_m78@mail.ru, ORCID: 0000-0003-2977-693X, +7 778 638 9394

Rogovsky Valery Vladimirovich – senior lecturer, D. Serikbayev EKTU, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan. Email: gerat1302@mail.ru

A.B. Bugaev – doctoral student of D. Serikbayev EKTU, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan. E-mail: andbugaev@mail.ru

Yelemanov Daniyar – senior lecturer, D. Serikbayev EKTU, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan. Email: atonai2009@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3530-9476>
