

АУЫЛШАРУАШЫЛЫҒЫНА АРНАЛҒАН КӨЛІКТІК-ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ МАШИНАЛАРДЫ ЭЛЕКТРЛЕНДІРУ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ

Бисенов М.К.¹, техника ғылымдарының кандидаты
bisenovmurat@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-7765-7091>

Аханов С.М.³, техника ғылымдарының кандидаты
serik.ahanov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1422-2096>

Митягин Г.Е.², техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор
mityagin@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2667-9309>

Бекжанов С.Ж.³, PhD, қауымдастырылған профессор
ser.bekzhanov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7876-8779>

Айдарбеков Г.Ж.¹, ауыл шаруашылығы ғылымдарының магистрі
galymzhan.ajdarbekov@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0006-4159-6041>

¹Қызылорда ашық университеті, Қызылорда қ., Қазақстан

²Ресей мемлекеттік аграрлық университеті –К.А. Тимирязев атындағы МАША, Мәскеу қ., Ресей

³Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда қ., Қазақстан

Аңдатпа. Электрлендірілген көліктік-технологиялық машиналар, әсіресе электр тракторлары тұрақтылық пен тиімділікті арттыру арқылы ауыл шаруашылығына көзқарастарды өзгертуге мүмкіндік береді. Бұл инновациялардың негізгі артықшылықтарының бірі олардың қоршаған ортаға, топырақ жәй-күйіне және биоәртүрлілікке оң әсері болып табылады. Дәстүрлі дизельді тракторлар көбінесе олардың ауыр салмағы мен үнемі пайдалануына байланысты топырақтың тығыздалуына ықпал етеді, бұл тамырдың өсуін тежейді және топырақтың аэрациясын азайтады. Керісінше, электр тракторлары батареялары болғанымен салмағы аз болуы мүмкін және топыраққа әсер етуді азайтуға, оның құрылымын сақтауға және өсімдіктердің тамыр жүйесін сақтауға көмектесуге ықпал етеді. Электрлендірілген көліктік-технологиялық көліктерді енгізу дизельді қозғалтқыштарға тән ластаушы заттардың шығарындыларын жояды, бұл топырақ пен өсімдік тіршілігіне зиянды әсер етеді. Мақаланың негізгі мақсаты – электрмобильдердің қосалқы тораптары мен құрамдас бөліктерін пайдалана отырып, электр жетегін орнату арқылы жаппай шығарылатын және өндірістен шығарылған көліктік және көліктік-технологиялық машиналардың өнімділік қасиеттерін жақсарту. Қолданыстағы көлік және көліктік-технологиялық машиналар паркінде қолданылаиын іштен жану қозғалтқыштарын қосалқы құрамдас бөліктерді пайдаланатын электр жетектеріне трансформациялау арқылы экологиялық қалдықтарды азайтуға, инновациялық әдістер мен оларды ауылшаруашылық және автомобиль өнеркәсібіне енгізу әдістеріне мүмкіндік береді.

Тірек сөздер: көліктік-технологиялық машиналар, машина-трактор паркі, қозғалтқыш, электрлендіру, агрегат.

Кіріспе. Ауыл шаруашылығы көлік-технологиялық машиналарын электрлендіру үрдісінің пайда болуына көлік саласы дамыған және ауылшаруашылығы жұмыстарын механикаландыру деңгейі жоғары мемлекеттерге тән экологиялық мәселелер, сондай-ақ ауылшаруашылығын жүргізудің неғұрлым орнықты әдістеріне сұраныс үлкен әсер етеді. Өндірушілер электрлендірілген көліктік-технологиялық машиналар (КТМ) дизель отынымен жұмысістейтін дәстүрлі машиналармен қатар жұмыс істейтін болашақты көреді. Алайда, жақын болашақта дизель отынын электрлі машиналар мен пайдаланатын ауылшаруашылығы техникасының паркін толық ауыстыру ықтималдығы төмен болып көрінеді [1].

Электрлендірілген КТМ-лар ауылшаруашылығы кәсіпорындарының өндірістік процестерін орындаудың жалпы тұрақтылығын арттыру есебінен ұзақ мерзімді үнемдеуге ықпал етеді. Олар шығарындылардың нөлдік деңгейін қамтамасыз етеді, осылайша қоршаған ортаға әсерді төмендетеді және экологиялық нормаларды сақтауға байланысты кез келген

шығындарды төмендетеді [2]. Электрлендірілген КТМ-ды енгізу арқылы шағын ауылшаруашылығы кәсіпорындары ауылшаруашылығын жүргізудің экологиялық таза әдістеріне өсіп келе жатқан сұранысты қанағаттандыра алады, бұл жаңа нарықтық мүмкіндіктерді әлеуетті түрде ашады және олардың экономикалық өміршеңдігін арттырады [3,4].

Электрлі тракторлар дәстүрлі қазба отындарымен жұмыс істейтін модельдер мен салыстырғанда ауылшаруашылығы кәсіпорындары үшін неғұрлым экологиялық шешім ретінде болжанады [3]. Электрлі ауылшаруашылығы машиналарының экологиялық артықшылықтары парниктік газдар шығарындыларын едәуір азайтуды және шудың деңгейін төмендетуді қамтиды, бұл адам денсаулығына да, жергілікті фаунаға да оң әсеретуі мүмкін [3]. Осы типтегі машиналар топырақтың ластануын төмендетуге ықпал етеді, өйткені дәстүрлі отын түрлерін де жұмыс істейтін көліктік-технологиялық машиналарға тән төгілу және отынның ағып кету қаупін жояды [3]. Бұдан басқа, электрлі тракторлар атмосфераға шығарылатын зиянды ластаушы заттардың мөлшерін төмендете отырып, шығарындылардың нөлдік деңгейі есебінен ауа сапасын жақсартуы мүмкін [3].

Ауыл шаруашылығы үшін электрлендірілген КТМ-ға көшу жаһандық экологиялық мәселелеріне және экономикалық тиімділікті арттыру қажеттілігіне байланысты [5]. Дамыған елдерде экологиялық стандарттардың қатаңдануына қарай агроөнеркәсіптік кешен ауылшаруашылығын жүргізудің орнықты экологиялық бейтарап әдістерінде тұтынушылардың талаптарын қанағаттандыру үшін қазіргі заманғы технологияларды белсенді түрде енгізуде. Осы әдіске көшу өнімділіктің жоғары деңгейін сақтай отырып, көмірқышқыл газының шығарындыларын қысқарту бойынша ауылшаруашылығы саласының мақсатына қол жеткізуге ықпал етеді.

Электрлендірілген КТМ-ды әзірлеу және енгізу бір қатар технологиялық мәселелермен ұштасқан, олардың ең бастысы зарядтаудың сенімді және кең таралған инфрақұрылымын құру болып табылады. Мысалы, коммерциялық пайдалануға арналған жүк электрлі көліктер жыл сайын кеңінен таралып келеді, зарядтау станцияларына ыңғайлы және тиімді қол жеткізуді қамтамасыз ету оларды кеңінен енгізу үшін шешуші мәнге ие [2,6]. Бұдан басқа, электрлендірілген КТМ-дың беріктігі мен сенімділігі бірінші дәрежелі мәнге ие, өйткені агроөнеркәсіп кешенінде ауылшаруашылығы жұмыстарының күрделі жағдайларына төтеп бере алатын және тез және арзан жөндеуге бейімделген техника талап етіледі [2,6].

Осылайша, неғұрлым жоғары бастапқы инвестицияларға қарамастан, ұзақ мерзімді үнемдеу әлеуеті мен экологиялық артықшылықтары электрлендірілген көлік-технологиялық машиналарды анағұрлым экологиялық таза өндірістік процестерді енгізуге ұмтылатын шағын ауылшаруашылығы кәсіпорындары үшін де қолайлы [7,8].

Зерттеу әдістері мен материалдары. Агроөнеркәсіп кешенінде де, өнеркәсіп және көлік кәсіпорындарында да пайдалануға арналған КТМ-ды жаңғырту олардың әрқайсысы тереңдетіп қарауға арналған бағытты білдіретін көптеген әртүрлі аспектілерді қамтиды. Жаңғырту процесін қарауды және оның маңыздылығын айқындауды екі бағытта жүргізіледі. Бірінші жағдайда екпін тікелей жаңғырту процесіне және оны технологиялық қамтамасыз етуге ауысады, ал екінші жағдайда жаңғыртылатын машинаның өзін және оны тәжірибеде пайдалана отырып, қол жеткізуге болатын нәтижелерді қарастыру.

КТМ-ды жаңғырту жаңа технологияларды енгізу үшін инновациялық компаниялар мен стартаптарға инвестициялардың, жаңа технологияларды зерттеу және әзірлеу жөніндегі ЖОО-мен бірлескен жобалардың, жаңа платформалар мен технологияларды әзірлеу үшін басқа өндірушілермен күш-жігерін біріктірудің арқасында оны іске асыратын кәсіпорындарды дамытудың негізі бола алады.

Параметрлері ауылшаруашылығы өнімдерін өндірушілердің мүдделеріне сәйкес келетін, мысалы, жаңа машина сатып алумен салыстырғанда жаңғырту кезіндегі үнемдеу немесе бұл ретте биологиялық, ландшафтық және экологиялық шектеулерге бейімделе отырып, аз пайдалану шығындары сияқты КТМ-ды жаңғырту ауылшаруашылығын механикаландыру саласында ғығылыми зерттеулердің маңызды бағыты болып табылады.

Машина-технологиялық станциялардың сервистік қызметтерінің жұмыс тиімділігін арттыруда сипатталған машина-трактор агрегаттарының параметрлері мен жұмыс режимдерін оңтайландыру әдістері жаңа агрегаттарды әзірлеу үшін де, сондай-ақ меншік иесі таңдаған жаңғыртылатын машина жұмысының жоспарланған жағдайлары үшін жоғары тиімділікті қамтамасыз ететін қолданыстағы агрегаттарды жаңғырту үшін де қолданылуы мүмкін [9-12].

Бұл әдістердің негізгі ерекшелігі көпд еңгейлі жүйелік тәсіл болып табылады, ол оңтайландыру міндеттерін экономикалық және техникалық өлшемдер бойынша дәйекті қарауға мүмкіндік береді. Машина-трактор агрегаттарын жинақтауда қаралған оңтайландырудың көптеген деңгейлерінен осы зерттеу міндеттерін шешу үшін жаңғыртылатын КТМ-ның оңтайлы энергетикалық параметрлерін таңдау жүзеге асырылатын алғашқы үш деңгей таңдалды, сондай-ақ жұмыс органдарын ұстау енінің және КТМ-ның жұмыс жылдамдығының оңтайлы мәндері айқындалады [9-12].

Жұмыс органдарын ұстау енінің мәндерін және КТМ-ның жұмыс жылдамдығын айқындау сондай-ақ оны қозғалысқа келтіру үшін қажетті қозғалтқыш қуатын, сондай-ақ жұмыс органдарын жетектеу үшін қажетті қозғалтқыш қуатын оңтайлы бөлу міндетін шешеді.

Жаңғыртылатын КТМ-ның параметрлерін айқындаудың бірінші деңгейінде ол бір жалпыланған параметрмен – тиісті арақатынастар арқылы агрегаттардың барлық қалған параметрлері тәуелді болатын қозғалтқыштың номиналды қуатымен сипатталатын біртұтас ретінде қарастырылады.

Бірінші деңгейдегі оңтайлылықтың негізгі өлшемшарты ретінде келтірілген шығындардың ең төменгі мәндерін тағайындаған жөн:

$$Z_{\Pi} = \frac{Z_{\text{ПС}}}{P_{\text{ТТМ}}} \rightarrow \min, \quad (1)$$

мұндағы: $Z_{\text{П}} -$ келтірілген шығындар, тг/м²; $Z_{\text{ПС}} -$ уақыт бірлігіне келтірілген шығындар, тг/с; $P_{\text{ТТМ}} -$ агрегаттың пайдалану өнімділігі, м²/с.

Зерттеулер [11,12] барлық типтер үшін $Z_{\text{ПС}}$ және $P_{\text{ТТМ}}$ мәндері көліктік-технологиялық машиналар бірыңғай жалпыланған параметрге – қозғалтқыштың номиналды қуатына байланысты:

$$Z_{\text{ПС}} = f_{z_0}(N_H), P_{\text{ТТМ}} = f_{P_{\text{ТТМ}}}(N_H), \quad (2)$$

мұндағы: $N_H -$ қозғалтқыштың меншікті қуаты, Вт.

Бұл ретте $Z_{\text{ПС}}$ мәні екі құрауыштың қосындысы ретінде:

$$Z_{\text{ПС}} = f_{z_N}(N_H) + Z_0, \quad (3)$$

мұндағы: $Z_0 -$ қуатқа тәуелді емес келтірілген шығындардың тұрақты бөлігі, тг/с.

Осы деректердің негізінде (1)...(3) оңтайлылық критерийі үшін оңтайлылық критерийі үшін жалпыланған өрнек алуға болады:

$$Z_{\Pi} = \frac{f_{z_N}(N_H) + Z_0}{f_{P_{\text{ТТМ}}}(N_H)} \quad (4)$$

КТМ-ға, ауыл шаруашылығы техникасына, пайдалану материалдарына және тіпті электр энергиясына бағаның жоғары тұрақсыздығы жағдайында сарапшылар келтірілген шығындарды оңтайлылық пен экономикалық тиімділіктің негізгі өлшемі ретінде

пайдаланудың орындылығына қатысты күмән білдіреді. Бұл мәселені шешу бағаның нарықтық ауытқуына азырақ ұшырайтын салыстырмалы шығындарға көшу болып табылады.

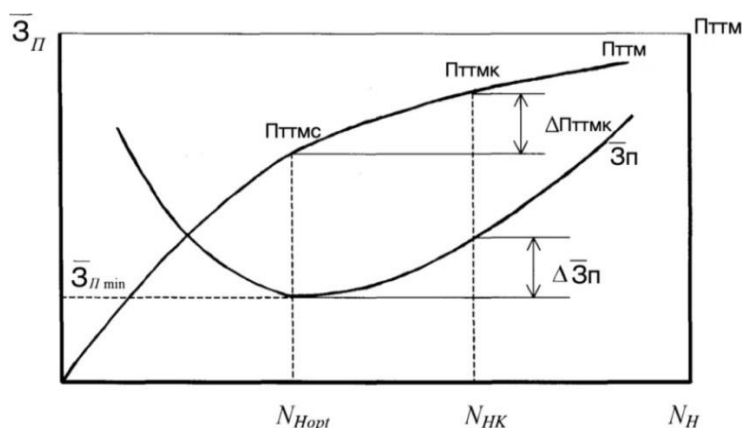
Оңтайлылық критерийіне қатысты салыстырмалы шығындарға көшу теңдіктің екі бөлігін шығындардың тұрақты бөлігіне бөлу жолымен жүзеге асырылады:

$$\bar{Z}_\Pi = \frac{Z_\Pi}{Z_0} = \frac{[f_{3N}(N_H)/Z_0]+1}{f_{\Pi TTM}(N_H)} \rightarrow \min, \quad (5)$$

мұндағы \bar{Z}_Π – салыстырмалы шығындар, 1/(м²/с).

Қуатқа байланысты шығындар мен тұрақты шығындар шамамен тең пропорцияларда өзгертіндіктен, олардың қатынасы тұрақты болып қалады. Өлшем бойынша оңтайлы қуат біртіндеп өсетін қуат мәндері бар күрделі емес сандық шешіммен анықталады.

Мұндай шешімнің схемасы 1-ші суретте берілген, онда сондай-ақ қуатқа байланысты агрегат өнімділігінің өзгеруі көрсетілген. Практикалық тәжірибеден белгілі болғандай, оңтайлы қуаттылыққа өнімділігі салыстырмалы түрде төмен агрегаттар сәйкес келеді, бұл әсіресе күрделі ауа райы жағдайларында және кәсіпорында кадрлар жетіспеген кезде өнімділікті арттыру талаптарын қанағаттандырмауы мүмкін. Бұл қайшылықтан шығу мәмілеге келу негізінде мүмкін болады [9-12].



1-сурет – Көліктік-технологиялық машинаның күштік агрегатының қуатын негіздеудің жалпы схемасы

$\Delta \bar{Z}_{\Pi TTM \min}$ ең төменгі шығындардан қолайлы ауытқуды белгілейді $\Delta \bar{Z}_{TTM \min}$ және Π_{TTMK} агрегатының өнімділігі $N_H = N_{Hopt}$ кезінде Π_{TTMC} мәнінен едәуір асатын компромисстік қуатты анықтайды.

Практикалық есептеулер $\Delta \Pi_{TTMK}$ өнімділігінің өсімі Π_{TTMC} -мен салыстырғанда 30...40%-ға жетуі мүмкін екенін көрсетті. Осылайша, $Z_{TTM \min}$ ең аз шығындарынан 5%-ға дейін ауытқу іс жүзінде жергілікті жағдайларды ескере отырып, агрегаттар өнімділігінің қажетті өсуін қамтамасыз етеді.

$N_{Hopt} \leq N_H \leq N_{HK}$ қуат диапазонындағы КТМ-лар ресурсты үнемдеу және жоғары өнімділік талаптарын қанағаттандыратын болады.

Бір КТМ базасында әртүрлі жұмыс құралдары бірнеше операцияларды орындаған кезде, осы шарт көбінесе нақты өндірістік жағдайларда орын алады, оңтайлылық критерийі ретінде (5) орнына олардың көлемін ескере отырып, барлық жұмыстарды орындауға жұмсалған шығындардың ең аз сомасын таңдаған жөн:

$$Z_{\Pi\Sigma} = \sum_{i=1}^n \frac{[f_{3Ni}(N_H)/Z_{0i}]}{f_{\Pi mmi}(N_N)} F_i, \quad (6)$$

мұндағы: $Z_{\Pi\Sigma}$ –барлық орындалатын жұмыстарға келтірілген шығындар көлемі, тг; F_i –әрбір i -ші

жұмыс түрінің көлемі, га; N – операциялардың жалпы саны.

Шешімнің қолайлылығы үшін теңдікті (6) F_{Σ} барлық жұмыстарының жалпы ауданына, содан кейін кез келген k -ші жұмысының келтірілген шығындарының Z_0 тұрақты бөлігіне бөлу орынды, соның нәтижесінде салыстырмалы шығындар алады:

$$\bar{Z}_{\Pi\Sigma} = \frac{Z_{\Pi\Sigma}}{F_{\Sigma} Z_{OK}} = \sum_{i=1}^n \frac{[f_{3Ni}(N_H) / Z_{OK}] + \mu_{3i} \varepsilon_{Fi}}{f_{\Pi mui}(N_N)}, \quad (7)$$

мұндағы: $Z_{\Pi\Sigma}$ – жиынтық салыстырмалы шығын, 1/(м²/с).

Қуатты агрегаттың нақты моделін нарықта ұсынылғандардың жаңасынан немесе екіншісінен таңдау жаңғыртылатын КТМ-ның қалған компоненттерін (тартымдық аккумулятор батареясы, инвертор, зарядтау құрылғысы және т.б.) іріктеудің негізі болады, осылайша жаңғыртылатын КТМ-ның жұмыс параметрлері мен режимдерін оңтайландырудың бірінші деңгейі аяқталады.

Оңтайландырудың негізгі мақсаты модельге және құрылымдық ерекшеліктерге байланысты олардың жұмысын қамтамасыз ететін қол жетімді күштік агрегаттар (электрлік қозғалтқыштар) мен жүйелерді, сондай-ақ интеграцияланатын агрегаттарды жаңғыртылатын КТМ-ның жүріс бөлігімен қосу үшін қажетті трансмиссия элементтерін (редукторларды) салыстыру болып табылады [13].

Оңтайландырудың тағы бір деңгейі V_{opt} оңтайлы жұмыс жылдамдығын және B_{opt} агрегатын қармау енін негіздеуді қамтиды [9,10,14], ол жаңғыртылатын көлік-технологиялық машинаның таңдап алынған жиынтығының әлеуетті мүмкіндіктеріне сәйкес жасалады. Электрлендірілген КТМ үшін жұмыс ұзақтығына әсер ететін анықтаушы фактор тартымдық аккумуляторлық батареяның сыйымдылығы болып табылатындықтан, негізгі критерий ретінде технологиялық операцияларды орындау кезінде ең аз энергия шығынын қабылдау қажет:

$$E = \frac{N_N \varepsilon_N}{BV} \rightarrow \min, \quad (8)$$

мұндағы: ε_N – рұқсат етілген қозғалтқышты жүктеу коэффициенті; B – жұмыстық алымені, м; V – жұмыс жүрістегі КТМ-ның қозғалыс жылдамдығы, м/с.

Алым енінің (B_d) және жұмыс жылдамдығының (V_d) барынша рұқсат етілген мәндері агротехникалық талаптармен, маневр жасау және қозғалыс тұрақтылығы шарттарымен, көліктік-технологиялық машина операторының физиологиялық мүмкіндіктерімен, сондай-ақ басқа да факторлармен айқындалады.

Тіркеп сүйреуге арналған агротехникалық талаптар бойынша КТМ-ның қозғалтқыштары үшін рұқсат етілген мәннен ($\delta \leq \delta_d$) аспауы тиіс шектеулер бар. Осылайша, оңтайлылық өлшемінен басқа (8), үш негізгі шектеуді ескеру қажет:

$$\delta \leq \delta_d, B \leq B_d, V \leq V_d, \quad (9)$$

мұндағы δ_d , B_d , V_d – КТМ-ның белгілі бір типі үшін сүйретудің, алым ені мен жұмыс жылдамдығының рұқсат етілген мәндері.

Сондай-ақ (8) критерийі бойынша айқындалатын жылдамдықтың (V_{opt}) және алым енінің (B_{opt}) оңтайлы мәндері теңдікке сәйкес болуы үшін көліктік-технологиялық машинаның қуат теңгерімін сақтау маңызды

$$N_{HE_N} = N_B + N_T, \quad (10)$$

мұндағы: N_B, N_T – қозғалтқыш қуатының белсенді жұмыс органдарын жетектеу үшін және жүріс бөлігі ілгек немесе басқа тарту органы арқылы іске асырылатын тарту процестері үшін пайдаланылатын үлестері, мысалы, аспалы механизм, (B_T).

N_B және N_T үшін V жылдамдығына және B алым еніне байланысты нақты өрнектер [9-12,15] келтірілген, осыған байланысты бұдан әрі B_{opt} және V_{opt} анықтамасының жалпы схемасын ұсынуға болады:

$$N_B = f_B(B, V), N_T = f_T(B, V), \quad (11)$$

(2.9, 2.10) өрнектерінің негізіндегі байланыс шарты келесі түрде болады:

$$N_H \varepsilon_N = f_B(B, V) + f_T(B, V), \quad (12)$$

(8, 12) теңдіктері (9) теңдікті ескере отырып, алым ені мен жылдамдықтың оңтайлы мәндерін жеңілдетілген реттілікпен анықталады. Алдымен (12) пайдалана отырып, жылдамдық арқылы B алым енін білдіреді:

$$B = mH_{\varepsilon V}, \quad (13)$$

мұндағы: m – кг-мен көрсетілген КТМ-ның пайдалану салмағы.

$H_{\varepsilon V}$ деп КТМ-ның (ε) энергиямен қанығуы мен және оның жылдамдығына байланысты функцияның қысқартылған түрдегі келесі белгіленуі болады:

$$H_{\varepsilon V} = f_H(\varepsilon, V), \quad (14)$$

мұндағы: $\varepsilon = N_H / m\varepsilon$ – КТМ-ның 1 кг-ға шаққандағы энергияға қанықтылығы (Вт/кг).

Оңтайландыру критерийі (8, 12, 13) өрнектерінің негізінде келесі түрде болады:

$$E = \frac{N_N \varepsilon_N}{mH_{\varepsilon V}} = \frac{\varepsilon \varepsilon_N}{f_H(\varepsilon, V)} \rightarrow \min, \quad (15)$$

(14) өрнегіндегі оңтайландыру критерийі бойынша сандық шешім нәтижесінде агрегаттың оңтайлы жұмыс жылдамдығы (V_{opt}) анықталады. V_{opt} анықтамасының оңайлатылған әдістері талдамалық тәсілмен [9-12] сипатталған. Егер $V_{opt} > V_D$ -дан асатын болса, онда келесі есептеулерде ұтымды жұмыс жылдамдығы (V_P) V_D болып есептеледі.

$V = V_{opt}$ мәнін (13) өрнегіне қою арқылы біз $H_{\varepsilon V_{opt}} = f_H(\varepsilon, V_{opt})$ аламыз, содан кейін (12) КТМ-ның жұмыс органдарын алым енінің оңтайлы мәні анықталады:

$$B_{opt} = mH_{\varepsilon V_{opt}}, \quad (16)$$

Оңтайлы алым ені (B_{opt}) (9)-ден рұқсат етілген мәнмен салыстырылады және қажет болған жағдайда (9) сәйкес тіркеп сүйреуге шектеудің сақталуын тексере отырып, түзетіледі. B_{opt} мәнінің негізінде машиналардың тиісті саны таңдалады және егер конструктивті түрде қажет болса, онда тіркемелердің қажетті саны да таңдалады.

$B = B_{opt}$ және $V = V_{opt}$ кезінде (11) негізінде жеке электр жетегі және жүріс бөлігінің электр жетегі бар жұмыс органдары іске асыратын қуаттың оңтайлы мәндерін айқындауға болады:

$$N_{B_{opt}} = f_B(B_{opt}, V_{opt}), N_{T_{opt}} = f_T(B_{opt}, V_{opt}), \quad (17)$$

Технологиялық процесі топырақпен тікелей өзара іс-қимылды көздемейтін өздігінен жүретін КТМ-лар үшін кедергі күші жылдамдыққа әлсіз тәуелді, бұл қозғалтқыш қуаты мен жұмыс органдарының өткізу қабілетінің теңгерімін қанағаттандыратын алым ені (B_P) мен жұмыс жылдамдығының (V_P) көптеген ұтымды үйлесімдерін пайдалануға мүмкіндік береді:

$$N_H \varepsilon_N \geq f_{BV}(B_P, V_P), \quad (18)$$

Сондай-ақ $B_P \leq B_D$ және $V_P \leq V_D$ шектеулері сақталуы тиіс. Өздігінен жүретін машиналардың қозғалтқыштарын сүйрету әдетте рұқсат етілген шектен аспайды. B_P мәнінің негізінде тиісті машина таңдалады.

Нәтижелер және талдау. Көліктік-технологиялық машиналардың қуаттарының оңтайлы мәндерін (N_{Hopt}), жұмыс жылдамдығын (V_{opt}) және алым енін (B_{opt}) анықтау энергия үнемдеу критерийі бойынша тапсырыс берушіні қанағаттандыратын нақты жұмыс жағдайларын ескере отырып, жаңғыртылатын КТМ-ны жинақтауды аяқтайды. Жаңғыртылатын КТМ-ны қалыптастыратын агрегаттар мен тораптардың оңтайлы жиынтығы туралы ақпарат тапсырыс берушілер үшін де, тапсырыс берушімен келіскен кезде табысты жобаны тираждай алатын мамандандырылған сервистік кәсіпорын үшін де тиімді болады. КТМ-ны жаңғырту шеңберінде жұмыстың тиімділігін одан әрі арттыруға мамандандырылған сервистік кәсіпорынның оның қызметтеріне тапсырыс берушілермен өзара іс-қимылын оңтайландыру есебінен қол жеткізіледі.

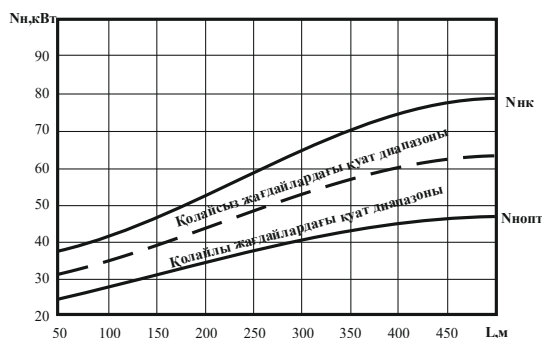
Топырақты неғұрлым энергияны шығынды тұтас өңдеу үшін пайдаланылатын КТМ-лар үшін топырақ жыртатын агрегаттар $-N_{Hopt} \dots N_{HK}$ қуаттарының диапазондары үш негізгі факторға байланысты айқындалған: гон ұзындығы L (м), соқаның меншікті кедергісі K_O (кН/м²) және жерді жырту тереңдігі a (м). Тәуелділіктерді құруға ыңғайлы болу үшін K_O және a тиісті үйлесімдері K_A (кН/м) агрегатының үлестік тартымдық кедергісі түрінде анықталған:

$$K_A = K_O \cdot a, \quad (19)$$

мұндағы: K_A – агрегаттың меншікті тарту кедергісі, кН/м; K_O – соқаның меншікті тарту кедергісі, кН/м²; a – жерді жырту тереңдігі, м.

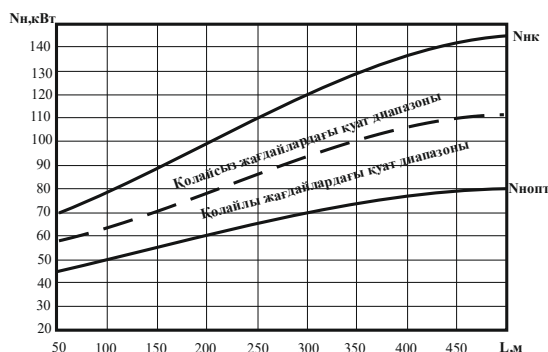
Агрегатының меншікті тарту кедергісінің K_A мәндері әр түрлі топырақ-климаттық жағдайларда соқасының меншікті тарту кедергісінің K_O және жырту тереңдігінің барлық ықтимал үйлесімдері үшін анықталған. Практикалық қолдануға ыңғайлы болу үшін L мәндері далалық механикаландырылған жұмыстарды нормалау кезінде гон ұзындығының класымен келісілген.

Ұсынылған қуат диапазондары $N_{Hopt} \dots N_{HK}$ (18) және гон ұзындығының сыныптарындағы K_A екі үйлесімі үшін көрсетілген ерекшеліктерді ескере отырып, 2-ші және 3-ші суреттерде келтірілген.



2-сурет – Оптималды N_{Hopt} және компромисстік N_{HK} қуаттарының $K_A = 5$ кН/м кезінде топырақты өңдеуді орындау кезінде КТМ үшін гон ұзындығына тәуелділігі

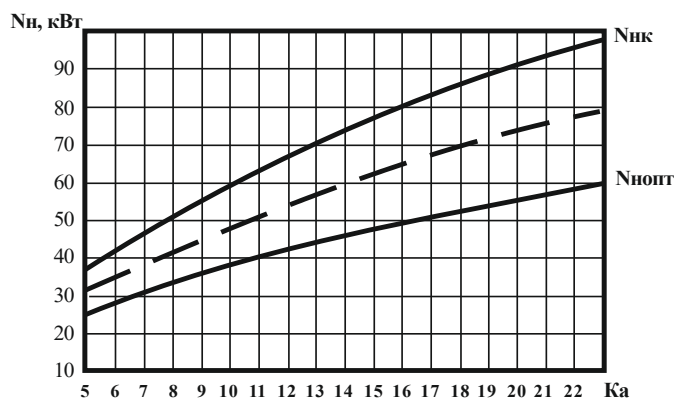
Гон ұзындығының әрбір сыныбындағы төменгі сызық (5)-тен $\bar{Z}_п = \bar{Z}_{п\min}$ кезінде $N_{Норт}$ көлік-технологиялық машинасының оңтайлы қуатына сәйкес келеді. Жоғарғы сызық $N_{НКт}$ компромисстік қуатына $\bar{Z}_п = \bar{1,053}_{\min}$ болған жағдайына сәйкескеледі.



3-сурет – Оңтайлы $N_{Норт}$ және компромисстік $N_{НК}$ қуаттарының $K_A=13$ кН/м кезінде топырақты өндеуді орындау кезінде КТМ үшін гон ұзындығына тәуелділігі

2-ші және 3-ші суреттердегі графиктердің төменгі бөлігі қолайлы жұмыс жағдайларына сәйкес келеді, ал жоғарғы бөлігі – қолайсыз табиғи-өндірістік жағдайларға сәйкес келеді. Сондай-ақ, компромисстік шешімнің аймағы L гон ұзындығының ұлғаюымен едәуір артады.

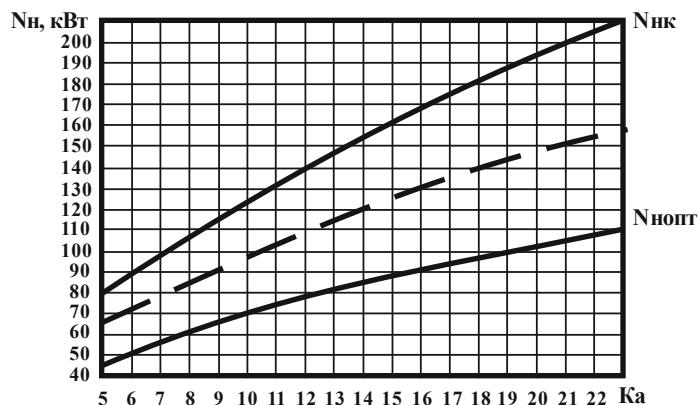
Қалыпты жұмыс жағдайларында, мысалы, шаруашылықта жұмыс істейтін және механизаторлар тапшылығы жоқ қолайлы климаттық жағдайларда N_H тракторының жаңғыртылатын КТМ-сы үшін күштік қондырғының қуатын неғұрлым үнемді жұмысты қамтамасыз ету және жүріс әлеуетті қорын ұлғайту үшін 4-ші суретте көрсетілген диапазонның төменгі бөлігінде таңдау керек. Егер электрлі қозғалтқышын басқару бақылаушысы жаңғыртылған КТМ-да орнатылған күштік агрегаттың күйін өзгертуге мүмкіндік берсе, онда N_H қуатының неғұрлым жоғары мәндерін диапазонның жоғарғы жартысынан қолайсыз табиғи-өндірістік жағдайларда таңдау керек.



4-сурет – Топырақты өндеуді орындау кезінде КТМ-ға арналған оңтайлы $N_{Норт}$ және компромисстік $N_{НК}$ қуаттарының гон L ұзындығы 150 м кем жағдайдағы K_A меншікті кедергісінен тәуелділігі

Егер ауыл шаруашылығы кәсіпорны алқаптарының сипаттамалары біртекті болған жағдайда, мысалы, электрлендірілген КТМ-ның күштік агрегатын баптау мүмкіндігін пайдалана отырып, топырақты өндеу тереңдігінің өзгеруі немесе топырақ қасиетінің өзгеруі кезінде орын алуы мүмкін агрегаттың меншікті тартымдық кедергісі арқылы көрсетілетін жағдайлардың өзгеруіне байланысты қуатты түрлендіруге болады, мысалы, ылғалдылықтың өзгеруіне байланысты. Қуатты анықтауға келу үшін 5-ші және 6-ші суреттердегі графиктер үшін гонданның екі ұзындығы – шағын (150 метрге дейін) және орташа (400-ден 600 м-ге

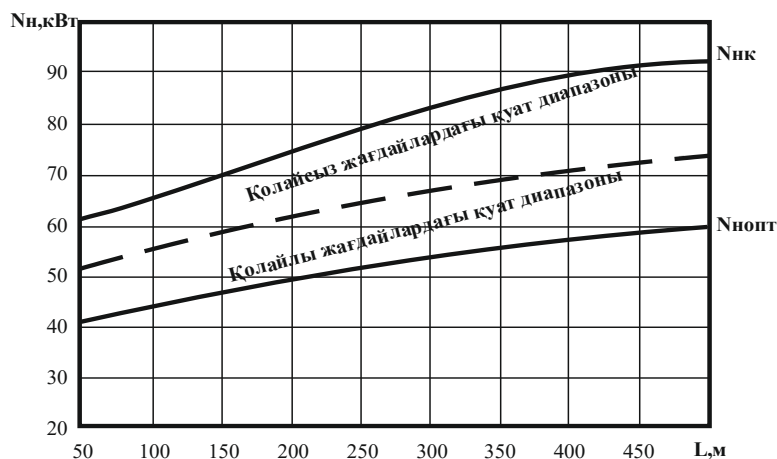
дейін) үлгісінде салынған.



5-сурет – Топырақты өңдеуді орындау кезінде КТМ-ға арналған оңтайлы $N_{Норт}$ және компромисстік $N_{НК}$ қуаттарының гон ұзындығы L үшін 400-ден 600 м-ге дейінгі $K_{А}$ меншікті кедргісінен тәуелділігі

Осыған ұқсас зерттеулер негізінде жаңғыртылған КТМ-ны топырақты егіс алдында өңдеуде және дәнді дақылдарды егуде пайдаланудың басқа да кең таралған нұсқалары үшін $N_{Норт}...N_{НК}$ қуаттарының диапазондары айқындалды.

Жаңғыртылатын КТМ-ның меншік иесі ұсынған мәліметтерді пайдалана отырып, жобалау алдындағы жұмыс кезеңінде көліктік-технологиялық машина жаңғыртудан кейін неғұрлым ықтимал жағдайларды сәйкестендіреміз. Мысалы, ауыл шаруашылығы кәсіпорны алқаптарының типтік мөлшерін негізге ала отырып, гон ұзындығының орташа мәнін анықтаймыз, ал кәсіпорынның КТМ-мен үйлесімді ауыл шаруашылығы машиналарының паркін талдай отырып, жаңғыртылатын машинаға тапсырылатын жұмыстардың неғұрлым ықтимал түрін таңдайды.



6-сурет – Оңтайлы $N_{Норт}$ және компромисстік $N_{НК}$ қуаттарының дәнді дақылдарды егуге арналған гон ұзындығына тәуелділігі

1-ші және 6-шы суреттердегі қуат диапазондарын пайдалана отырып, көліктік-технологиялық машинаның күштік бөлігі салынатын электр қозғалтқышы таңдап алынады. Электрлі қозғалтқышының жаңғырту тәсілдеріне және жаңғыртылатын тарту-көлік машинасының соңғы құрылымына әсер ететін критикалық маңызды параметрлері номиналды кернеу, ең жоғары айналу жиілігі, электр қозғалтқышын салқындату жүйесінің түрі, ең жоғары ток болады. Номиналды кернеу агрегат конфигурациясын, айналу жиілігін – редуктордың типі мен беріліс санын, салқындату жүйесінің типін – термостаттау жүйесінің болуын, тоқ-инверторлардың сипаттамаларын, өткізгіштердің қимасын және т.б. анықтайды.

Қорытынды. Жүргізілген зерттеулердің нәтижелері бойынша электрлендірілген КТМ-ның энергия үнемдеуші өндірістік жұмысы $K_A=5$ кН/м меншікті тартымдық кедергісімен топырақ өңдеу жұмыстарын орындау кезінде және 50-ден 500 м-ге дейінгі гон ұзындығының диапазоны кезінде $N_H=25...38$ кВт қуатының 50 м үшін және $N_H=48...78$ кВт-қа дейін қуатының 500 м-дейін қамтамасыз етіледі. $K_A=13$ кН/м меншікті тарту кедергісімен топырақ өңдеу жұмыстарын орындау кезінде қуатының диапазондарында 50 м үшін $N_H=45...70$ кВт және 500 м дейін $N_H=80...145$ кВт қамтамасыз етіледі.

Гон ұзындығы 150 м-ге дейінгі кіші көлемдік алаңдарда топырақ өңдеу жұмыстарын орындау кезінде электрлендірілген көлік-технологиялық машинаның энергия үнемдеудің өндірістік жұмыстары меншікті тарту кедергісі $K_A=5$ кН/м болған кезде қуатының $N_H=25...38$ кВт диапазондарында және меншікті тарту кедергісі $K_A=23$ кН/м болған кезде қуатының $N_H=60...97$ кВт диапазондарында қамтамасыз етіледі.

Гон ұзындығы 400-ден 600 м-ге дейінгі танаптарда энергия үнемдеу жұмысы $K_A=5$ кН/м меншікті тартым кедергісі кезінде $N_H=48...80$ кВт және меншікті тартым кедергісі $K_A=23$ кН/м кезінде қуатының $N_H=110...210$ кВт диапазондарында қамтамасыз етіледі.

50-ден 500 м-ге дейінгі диапазондағы гон ұзындығы үшін топырақты себу алдында өңдеудің және себудің негізгі түрлерін орындау кезінде электрлендірілген КТМ-ның энергия үнемдеуші өндірістік жұмысы электрлендірілген КТМ қозғалтқышының қуаты кезінде мынадай диапазонда қамтамасыз етіледі: $N_H=17...26-31...52$ кВт тісті тырмалағышпен тырмалау үшін; $N_H=18...29-35...62$ кВт топырақты тығыздаудағы үшін; $N_H = 41...64 -59...93$ кВт дәнді дақылдарды себу үшін.

Әдебиеттер:

[1] What's Next for Electric Machinery? [Electronic resource] // Successful Farming, 2025. – URL: <https://www.agriculture.com/electrifying-the-future-8403628> (date of access: 17.09.2025).

[2] Could Electric Tractors Revolutionize Farming? [Electronic resource] // Smithsonian Magazine, 2023. – URL: <https://www.smithsonianmag.com/innovation/could-electric-tractors-revolutionize-farming-180982012/> (date of access: 17.09.2025).

[3] Electric Tractors in Farming: 15 Benefits [Electronic resource] // Monarch Tractor, 2025. – URL: <https://www.monarchtractor.com/blog/electric-tractors-farming> (date of access: 17.09.2025).

[4] The Future of EV Tractors in Agriculture [Electronic resource] // Monarch Tractor, 2025. – URL: <https://www.monarchtractor.com/blog/ev-tractors> (date of access: 17.09.2025).

[5] Ag Prepares for Electric-Powered Future [Electronic resource] // Farm Equipment, 2025. – URL: <https://www.farm-equipment.com/articles/20408-ag-prepares-for-electric-powered-future> (date of access: 17.09.2025).

[6] Most Realistic Applications of EV Technology on the Farm [Electronic resource] // Farm Equipment, 2025. – URL: <https://www.farm-equipment.com/articles/20414-most-realistic-applications-of-ev-technology-on-the-farm> (date of access: 17.09.2025).

[7] **Мочера, Ф.** Trends and Future Perspective of Electrification in Agricultural Tractor-Implement Applications [Electronic resource] / F. Mochera, A. Somà, S. Martelli, V. Martini // Energies, 2023. – Vol. 16, № 18. – Art. 6601. – URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/18/6601> (date of access: 17.09.2025).

[8] Challenges ahead for manufacturers trying to electrify farm vehicles [Electronic resource] // Wisconsin Farmer, 2021. – URL: <https://www.wisfarmer.com/story/news/2021/08/30/challenges-ahead-manufacturers-trying-electrify-farm-vehicles/5657095001/> (date of access: 17.09.2025).

[9] **Зангиев, А.А.** Оптимизация эксплуатационных параметров и режимов работы машинно-тракторных агрегатов [Текст] / А.А. Зангиев. – М.: МГАУ, 1996. – 80 с.

[10] **Зангиев, А.А.** Комплектование ресурсосберегающих машинно-тракторных агрегатов [Текст] / А.А. Зангиев. – М.: МГАУ, 1991. – 87 с.

[11] **Зангиев, А.А.** Повышение эффективности работы сервисных служб машинно-технологических станций [Текст]: монография / А.А. Зангиев, О.Н. Дидманидзе, Г.Е. Митягин. – М.: Агроконсалт, 2001. – 109 с.

[12] **Митягин, Г.Е.** Повышение эффективности работы сервисных служб машинно-технологических станций [Текст] : дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Митягин Григорий Евгеньевич. – М., 2002. – 139 с.

[13] **Умняшкин, В.А.** Выбор мощности тягового электродвигателя, двигателя внутреннего сгорания и параметров накопителей гибридных автомобилей [Текст] / В.А. Умняшкин [и др.]. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2006. – 137 с.

[14] **Зангиев, А.А.** Производственная эксплуатация машинно-тракторного парка [Текст] / А. А. Зангиев, Г. П. Лышко, А. Н. Скороходов. – М.: Колос, 1996. – 320 с.

[15] **Зангиев, А.А.** Выбор высокоэффективных тяговых машинно-тракторных агрегатов с учетом зональных условий (на примере Нечерноземной зоны РСФСР) [Текст] / А.А. Зангиев, О.Н. Дидманидзе, И.В. Кандеев. – М.: Россельхозиздат, 1985. – 24 с.

References:

[1] What's Next for Electric Machinery? [Electronic resource] // Successful Farming, 2025. – URL: <https://www.agriculture.com/electrifying-the-future-8403628> (date of access: 17.09.2025).

[2] Could Electric Tractors Revolutionize Farming? [Electronic resource] // Smithsonian Magazine, 2023. – URL: <https://www.smithsonianmag.com/innovation/could-electric-tractors-revolutionize-farming-180982012/> (date of access: 17.09.2025).

[3] Electric Tractors in Farming: 15 Benefits [Electronic resource] // Monarch Tractor, 2025. – URL: <https://www.monarchtractor.com/blog/electric-tractors-farming> (date of access: 17.09.2025).

[4] The Future of EV Tractors in Agriculture [Electronic resource] // Monarch Tractor, 2025. – URL: <https://www.monarchtractor.com/blog/ev-tractors> (date of access: 17.09.2025).

[5] Ag Prepares for Electric-Powered Future [Electronic resource] // Farm Equipment, 2025. – URL: <https://www.farm-equipment.com/articles/20408-ag-prepares-for-electric-powered-future> (date of access: 17.09.2025).

[6] Most Realistic Applications of EV Technology on the Farm [Electronic resource] // Farm Equipment, 2025. – URL: <https://www.farm-equipment.com/articles/20414-most-realistic-applications-of-ev-technology-on-the-farm> (date of access: 17.09.2025).

[7] **Mocera, F.** Trends and Future Perspective of Electrification in Agricultural Tractor-Implement Applications [Electronic resource] / F. Mocera, A. Somà, S. Martelli, V. Martini // Energies, 2023. – Vol. 16, № 18. – Art. 6601. – URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/18/6601> (date of access: 17.09.2025).

[8] Challenges ahead for manufacturers trying to electrify farm vehicles [Electronic resource] // Wisconsin Farmer, 2021. – URL: <https://www.wisfarmer.com/story/news/2021/08/30/challenges-ahead-manufacturers-trying-electrify-farm-vehicles/5657095001/> (date of access: 17.09.2025).

[9] **Zangiev, A.A.** Optimizacija jekspluatacionnyh parametrov i rezhimov raboty mashinno-traktornyh agregatov [Tekst] / A.A. Zangiev. – М.: МГАУ, 1996. – 80 с. [in Russian]

[10] **Zangiev, A.A.** Komplektovanie resursoberegajushhih mashinno-traktornyh agregatov [Tekst] / A. A. Zangiev. – М.: МГАУ, 1991. – 87 с. [in Russian]

[11] **Zangiev, A.A.** Povyshenie jeffektivnosti raboty servisnyh sluzhb mashinno-tehnologicheskikh stancij [Tekst] : monografija / A.A. Zangiev, O.N. Didmanidze, G.E. Mitjagin. – М.: Agrokonsalt, 2001. – 109 с. [in Russian]

[12] **Mitjagin, G.E.** Povyshenie jeffektivnosti raboty servisnyh sluzhb mashinno-tehnologicheskikh stancij [Tekst] : dis. ... kand. tehn. nauk: 05.20.03 / Mitjagin Grigorij Evgen'evich. – М., 2002. – 139 с. [in Russian]

[13] **Umnjashkin, V.A.** Vybor moshhnosti tjagovogo jelektrodvigatelja, dvigatelja vnutrennego sgoranija i parametrov nakopitelej gibridnyh avtomobilej [Tekst] / V.A. Umnjashkin [i dr.]. – Izhevsk: NIC «Reguljarnaja i haoticheskaja dinamika», 2006. – 137 с. [in Russian]

[14] **Zangiev, A.A.** Proizvodstvennaja jekspluatacija mashinno-traktornogo parka [Tekst] / A. A. Zangiev, G. P. Lyshko, A. N. Skorohodov. – М.: Kolos, 1996. – 320 с. [in Russian]

[15] **Zangiev, A.A.** Vybor vysokoeffektivnyh tjagovyh mashinno-traktornyh agregatov s uchedom zonal'nyh uslovij (na primere Nechernozemnoj zony RSFSR) [Tekst] / A.A. Zangiev, O.N. Didmanidze, I.V. Kandejev. – М.: Rossel'hozizdat, 1985. – 24 с. [in Russian]

ПЕРСПЕКТИВЫ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Бисенов М.К.¹, кандидат технических наук

Аханов С.М.³, кандидат технических наук

Митягин Г.Е.², кандидат технических наук, ассоциированный профессор

Бекжанов С.Ж.³, PhD, ассоциированный профессор

Айдарбеков Г.Ж.¹, магистр сельскохозяйственных наук

¹*Кызылординский открытый университет, г. Кызылорда, Казахстан*

²*Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия*

³*Кызылординский университет им.КоркытАта, Кызылорда, Казахстан*

Аннотация. Электрифицированные транспортно-технологические машины, в частности электротракторы, способны преобразовать подходы к ведению сельского хозяйства за счет повышения устойчивости и эффективности. Одним из ключевых преимуществ этих инноваций является их положительное влияние на окружающую среду, здоровье почвы и биоразнообразие. Традиционные тракторы с дизельным двигателем часто способствуют уплотнению почвы из-за их большого веса и постоянной эксплуатации, что может препятствовать росту корней и снижать аэрацию почвы. Напротив, электрические тракторы, несмотря на наличие батареи, могут весить меньше и могут быть сконструированы таким образом, чтобы свести к минимуму воздействие на почву, сохраняя ее структуру и способствуя сохранению корневой системы растений. Внедрение электрифицированных транспортно-технологических машин устраняет выбросы загрязняющих веществ, характерных для дизельных двигателей, которые могут оказывать пагубное воздействие на почву и жизнь растений. Основной целью статьи является повышение эксплуатационных свойств серийно производящихся и снятых с производства транспортных и транспортно-технологических машин за счет установки электропривода с использованием вторичных агрегатов и узлов электромобилей. Трансформация существующего парка транспортных и транспортно-технологических машин за счет замены двигателей внутреннего сгорания на электропривод с использованием вторичных компонентов позволит привлечь инновационные подходы к снижению отходов на окружающую среду и методы их реализации в сельскохозяйственной и автомобильной промышленности.

Ключевые слова: транспортно-технологические машины, машино-тракторный парк, двигатель, электрификация, агрегат.

PROSPECTS FOR ELECTRIFICATION OF TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MACHINES FOR AGRICULTURE

Bisenov M.K.¹, candidate of technical sciences

Akhanov S.M.³, candidate of Technical Sciences

Mityagin G.E.² candidate of technical sciences. associate professor

Bekzhanov S.Zh.³, PhD, associate professor

Aydarbekov G.Zh¹, master of agricultural sciences

¹*Kyzylorda Open University, Kyzylorda, Kazakhstan*

²*Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia*

³*Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan*

Annotation. Electrified transport and technological machines, particularly electric tractors, have the potential to transform approaches to agriculture by increasing sustainability and efficiency. One of the key

benefits of these innovations is their positive impact on the environment, soil health and biodiversity. Traditional diesel tractors often contribute to soil compaction due to their heavy weight and constant use, which can inhibit root growth and reduce soil aeration. In contrast, electric tractors, despite having a battery, can weigh less and can be designed to minimize impact on the soil, preserving its structure and helping to preserve the root system of plants. The introduction of electrified transport and technological vehicles eliminates pollutant emissions typical of diesel engines, which can have a detrimental impact on soil and plant life. The main objective of the article is to improve the performance properties of mass-produced and discontinued transport and transport-technological machines by installing an electric drive using secondary units and components of electric vehicles. The transformation of the existing fleet of transport and technological vehicles by replacing internal combustion engines with an electric drive using secondary components will make it possible to attract innovative approaches to reducing environmental waste and methods of their implementation in the agricultural and automotive industries.

Keywords: transport and technological machines, machine and tractor fleet, engine, electrification, unit.