

<https://doi.org/10.51301/jemet.2024.i1.07>

Increasing the energy efficiency of sticky soil processing during the operation of excavation and transportation machines

T.K. Mendikhanov*, I.V. Voronin, G.T. Zhandarbek, R.A. Kozbagarov

Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

*Corresponding author: mendikhannovturar@gmail.com

Abstract. The physico-mechanical properties of soil affect the operation of excavation and transportation machines, so they can be considered as a specific system of components of solid mineral particles forming the soil skeleton in various types and conditions. The presence of pores (voids) is characteristic of many construction materials; however, in soil, porosity determines its physical state and, in particular, its mechanical behavior, including shear resistance, rupture under external influences, and other properties. In general, the actual resistance of soil to excavation determines the complexity of its development and the energy efficiency of the process. Therefore, the interaction of the working body of earthmoving machines with the soil is classified into three groups: passive, active, and combined. To reduce the share of energy-intensive processes in soil cutting and movement, it is proposed to consider this classification and actively influence the overall resistance of the soil. This approach allows for the establishment of optimal operating modes for the technological process and ensures increased energy efficiency of earthmoving operations. A significant improvement in the efficiency of excavation and transportation machines is possible with the accurate determination of resistances arising in the working equipment of the machine. It is known that all existing theories of the interaction between the working bodies of earthmoving machines and soil, as well as the determination of resistance in working equipment, are generally based on laboratory studies that consider numerous empirical coefficients. In this regard, these theories enable a more comprehensive study of the interaction process between the working bodies of excavation and transportation machines and the soil in both spatial and temporal aspects.

Keywords: machines for excavation and transportation of soil, specific soil resistance, soil cutting, optimal operating mode, technological process.

1. Кіріспе

Қазіргі уақытта Қазақстанда инженерлік-құрылыс қызметінде инженерлік құрылыстарда топырақты игеру (қазу, кесу), орнын ауыстыру, тығыздау сияқты түрлерді қамтитын жер қазу және тасымалдау машиналарына жетекші орын беріледі. Жер қыртысының беткі қабаттарын құрайтын топырақтар (тау жыныстары) жер қазу машиналарының өңдеу объектісі болып табылады және көлік және қала құрылысында қолданылады [1]. Топырақ жүктемелер, сондай-ақ құрылыстың өзіндік салмағы әсер ететін көлік (жолдар) және жер үсті (ғимараттар) құрылыстары үшін материал және негіз ретінде қызмет етеді. Бұл ретте инженерлік құрылыстың барлық түрлері, пайдалы қазбаларды игеру, сондай-ақ геологиялық барлау жұмыстары әрдайым дерлік топырақты игерумен байланысты.

Топырақтар күрделі көп компонентті геологиялық түзілімдер болып табылады, олардың қасиеттері оның құрылымын, механикалық және материалдық құрамын анықтайтын топырақтың шығу тегіне байланысты.

Топырақтар негізгі қасиеттеріне қарай қатты құрылымдық байланысы бар (пемза, мәрмәр, гранит, әктас және басқалары), қатты құрылымдық байланысы жоқ (саз, саздақ, құмды саз, құм) және жиналмалы – тасты-сусымалы материалы (гипс, саздақ және басқалары) бар тасты топырақтарға бөлінеді.

Топырақты игеру әдістері құрылыста қолданылатын жұмыс технологиясымен, климаттық жағдайлармен және іс жүзінде топырақ түрімен белгіленеді. Топырақты өңдеудің қиындық деңгейін бағалау үшін олардың беріктік параметрлері мен физикалық қасиеттерін білу қажет.

Топырақтың беріктігі топырақтың бұзылуға, оған механикалық әсер ету кезінде деформацияға, соның ішінде жер қазу машиналарының жұмыс органдарына қарсы тұру қабілетін білдіреді. Пайдалы қазбаларды өңдеу кезінде тау жыныстарының беріктігі ұғымы қолданылады, оның жойылуға төзімділігімен сипатталады. Яғни, бекініс неғұрлым жоғары болса, топырақ соғұрлым берік болады, соғұрлым оны өңдеу қиынырақ болады.

Топырақтың сапалық және сандық сипаттамаларын алу үшін жұмыс жабдығының кез-келген бетіндегі қалыпты және тангенс кернеулерінің функционалдық тәуелділігінің графигі болып табылатын жалпы жүйе және оған механикалық әсер ету кезінде топырақтың тиісті беріктігі қолданылады. Беріктік паспорттары топырақтың беріктігін сынау нәтижесінде алынады.

Әртүрлі материалдарды тасымалдаудың, өңдеудің технологиялық операцияларын орындау кезінде қойылған мақсатқа қол жеткізу жұмыс органдарының әсерінен жүзеге асырылады. Материалдық ортаны бұзудың әртүрлі әдістері белгілі, мысалы, топырақтар

үшін: механикалық (құралдың күштік әсері); гидравликалық (су ағынымен эрозияға ұшырау немесе су қоймасының түбінен сумен сору); жарылғыш (жарылғыш заттардың тұтануы кезінде газдардың қысымымен жойылу); физикалық (ультрадыбыстық, жоғары жиілікті ток, температура); химиялық (топырақтың сұйық немесе газ тәрізді күйге ауысуы); аралас (жарылғыш немесе физикалық механикалық, электрогидравликалық, пневматикалық, термомеханикалық). Жерге қатты дене (жұмыс органы), статикалық, динамикалық (соққы), діріл немесе физикалық-механикалық әсер ету кезінде сұйықтық немесе газ әсер етуі мүмкін. Осылайша, құралдың өңделетін ортаға әсерін тікелей жұмыс органы, сондай-ақ жұмыс денесі (су, газ) немесе физикалық өріс арқылы, яғни жанама түрде жүзеге асыра алады. Жұмыс органының өңделген ортаға тікелей әсері жиі кездеседі.

Жерді қазып-тасымалдайтын машиналарының тиімділігін едәуір арттыру үшін машинаның жұмыс жабдықтарында пайда болатын кедергілерді анықтай білу керек. Жерді қазып-тасымалдайтын машиналардың жұмыс органдарының топырақпен өз-ара әрекеттесуі және жұмыс жабдықтарындағы қарсылықты анықтау туралы барлық қолданыстағы теориялар, әдетте, көптеген эмпирикалық коэффициенттерді ескере отырып, зертханалық зерттеулерге негізделгені анықталды. Осыған байланысты, бұл теориялар жерді қазып-тасымалдайтын машиналарының жұмыс органдарының кеңістіктегі және уақыттағы топырақпен өзара әрекеттесу процесін толық зерттеуге мүмкіндік бермейтіні белгілі болды. Жоғарыда айтылғандарды ескере отырып, бұл мәселені зерттеуге жүйелі көзқарас қажет екені белгілі болды, бұл топырақты бұзу процесіне әсер ететін факторлар арасында байланыс орнатуға, сондай-ақ жерді қазып-тасымалдайтын машиналарының тиімді көрсеткіштерін алу арқылы мүмкіндік береді. Қазіргі кездегі топырақты өңдеуде проблемалы болып, өте өзекті болып табылады, өйткені жерді қазып-тасымалдайтын машиналарының, оның ішінде шетелдік өндірістің жұмыс жабдықтары үнемі жетілдіріліп отыруына байланысты болады.

Құрылыс саласында жер жұмыстары өте көп жасалады, сонымен қоса қалада жер жұмыстарын өткізудің өз қиыншылығы бар: жердің тарлығы, жұмыс орнының жанында жақын салынған ғимараттардың болуы, істеп тұрған көліктік басқа да коммуникациялардың кедергі жасауы т.б. Құрылыс жыл мезгіліне қарамай үздіксіз жүргізіледі. Осыған байланысты жер жұмыстары қыс мезгілінде де атқарылып жатады. Қатынқы топырақ деп құрамында мұз барды айтамыз немесе оны тоңазыған дейміз. Тоңның құрамында мұз болса, ол топырақтың беріктігін айтарлықтай арттырады да, машиналардың жұмысын қиындатады. Тоңды топырақтармен көбіне қопсытқыштар жұмыс атқарды. Бірақ құрылыстың молдылығына байланысты кейбір құрылыс компанияларында бұл машиналардың жоқтың қасы. Осыған байланысты бұл жұмыстарды бульдозер атқарады. Тассыз, қатпаған топырақтарды әдеттегі бульдозерлі жабдықтармен өндіреді, ал аз мөлшердегі тоңдарды өндіретін алдында механикалық жолмен қопсытады.

Топырақтардың қасиеттері туралы жинақталған мәліметтер оларды жер қазу машиналарының жұмыс органдары элементтерінің жабысқақ ортамен өзара әрекеттесуінің сипаттамалық көрсеткіштері бойынша жіктеуге мүмкіндік берді, олар жер қазу машиналарының жұмыс органдарының топырақтың бұзылуына төзімділігімен сәтті корреляцияланды [2, 3].

Жерді қазып-тасымалдайтын машиналарының (ЖҚТМ) тиімділігін едәуір арттыру үшін машинаның жұмыс жабдықтарында пайда болатын кедергілерді анықтай білу керек. Жер қазу машиналарының жұмыс органдарының топырақпен өзара әрекеттесуі және жұмыс жабдықтарындағы қарсылықты анықтау туралы барлық қолданыстағы теориялар, әдетте, көптеген эмпирикалық коэффициенттерді ескере отырып, зертханалық зерттеулерге негізделгені белгілі. Сондай-ақ, бұл теориялар жер қазу машинасының жұмыс органдарының кеңістіктегі және уақыттағы топырақпен өзара әрекеттесу процесін толық зерттеуге мүмкіндік бермейтіні белгілі. Жоғарыда айтылғандарды ескере отырып, бұл мәселені зерттеуге жүйелі көзқарас қажет, бұл топырақты бұзу процесіне әсер ететін факторлар арасында байланыс орнатуға, сондай-ақ жерді қазып-тасымалдайтын машиналарының тиімді көрсеткіштерін алуға мүмкіндік береді. Қазіргі проблема өте өзекті болып табылады, өйткені жерді қазып-тасымалдайтын машиналарының, оның ішінде шетелдік өндірістің жұмыс жабдықтары үнемі жетілдіріліп отырады.

2. Зерттеу әдістері мен материалдар

Жерді қазып-тасымалдайтын машиналардың жұмысшы органын топыраққа дәнекерлеу, қазудың бастапқы және негізгі деңгейі болып саналады. Жұмысшы органды басқару механизмі есептеуде топыраққа пышақты ендірудің тиімді кинематикалық режимінің шараларын құру үшін енгізу үрдісінде пышаққа әсер ететін күштің мөлшерін білу қажет. Пышақты топыраққа ендіргенде оның алдынан кернеулі жағдайдың екінші түрі пайда болады. Жұмысшы органның топырақпен [1, 2] қарым-қатынасы тіреме қабырғаларына топырақтың пассивті қысымын анықтауға байланысты шекті тендік теориясының ережелерінің көзқарасымен қарастырылады.

Әртүрлі тау жыныстарын игеру, тасымалдау, өңдеу кезінде инженерлік-технологиялық операцияларды орындау кезінде нәтижеге қол жеткізу жер қазу машинасының жұмыс органдарының әрекеттері арқылы жүзеге асырылады. Материалдық затты бұзудың әртүрлі әдістері белгілі. Мәселен, мысалы, топырақтар үшін: механикалық әдіс (жұмыс органының топыраққа күштік әсері); жарылғыш әдіс (жарылғыш заттардың тұтануы салдарынан пайда болған газдардың қысымымен жойылуы); топырақты жер сорғыш снарядтарын немесе гидромониторларды қолдана отырып, су ағынымен гидравликалық бұзу; топырақты бұзудың физикалық әдістері (температураның, жоғары жиілікті тоқтың, электромагниттік энергияның, ультрадыбыстың әсерінен); химиялық әдіс (топырақты сұйық немесе газ тәрізді күйге ауыстыру); аралас әдіс (жарылғыш немесе физикалық әдістерді механикалық, электрогидравликалық, термомеханикалық әдістермен біріктіру кезінде). Яғни, қатты дене (жұмыс органы),

сұйық немесе газ статикалық, динамикалық (соққы), физикалық-механикалық немесе діріл әсерінен жерге әсер етуі мүмкін. Осылайша, құралдың өңделетін ортаға әсерін тікелей жұмыс органы, сондай-ақ жұмыс денесі (су, газ) немесе физикалық өріс арқылы, яғни жанама түрде жүзеге асыра алады. Ең көп таралған әдіс-жер қазу машинасының жұмыс органының өңделетін ортаға тікелей әсері.

Жұмыс органдарының материалдармен өзара әрекеттесу процесін тереңірек зерттеу үшін әртүрлі құралдар мен әдістер қолданылады. Сыртқы жүктемені беретін жұмыс органының массиві мен элементтеріне қатысты материал бөлшектерінің орын ауыстыру нәтижелерін есепке алу, сондай-ақ жер қазу машиналарының жұмыс органының жалпы ортамен өзара әрекеттесу процесін дамыту зерттеулерде кеңінен қолданылады [4].

Жерді қазып-тасымалдайтын машиналардың жұмысшы органын топыраққа дәнекерлеу қазудың бастапқы және негізгі деңгейі болып саналады. ЖҚТМ жұмысшы органын қозғалыста емес кезіндегін топыраққа дәнекерлеу массивті ығыстру мөріне тәріздес және бұл механизмдердің жетектерінен туатын күштерінің әсері арқылы күрделі қалыпты көрсетеді. Жұмысшы органның ауырлық күші және жетектердің тудыратын күштердің әсері арқылы топырақты массивте пышақтың астында кернеу пайда болады. Оның өлшемі және бөлуі негізінде жүктемелерге, пышақтың геометриялық және топырақ өлшемдеріне тәуелді.

Еліміздің экономикасының дамуы көбінесе құрылыс және өндіру өнеркәсіптерінің жұмыс тиімділіктерінің арту жылдамдығына байланысты, ал бұл өз кезегінде тек қана отандық жеке құрылыс-жол машиналар мен заманауи технологиялар деңгейін арттырумен қамтамасыз етіледі.

Машиналарды пайдалануды жетілдіру, жабдықты модернизациялау бойынша нормативтік база мен ұсыныстарды әзірлеу байланыс аймағындағы машиналардың жұмыс органдары мен өңделетін материалдың өзара әрекеттесу ерекшеліктерін білу тереңдігіне байланысты. Конструкциясы мен мақсаты бойынша әр түрлі жұмыс органдарының қоршаған ортамен өзара әрекеттесуі, олардың параметрлері мен материалдық қасиеттерін ескере отырып, машиналар мен механизмдерді жобалау және жетілдіру кезінде қажет болатын кедергілерді есептік анықтаудың негізі болып табылады. Бұл процестердің мәнін зерттеу жалпы қарсылықтың компоненттерін анықтауға, теориялық ережелерді іс жүзінде тексеруге, материалдың жеке қасиеттерінің және жұмыс органының құрылымдық параметрлерінің тұтастай өзара әрекеттесуіне әсерін анықтауға мүмкіндік береді.

Жұмыс органдарының материалмен өзара әрекеттесу процесінің мәніне енуге мүмкіндік беретін әртүрлі құралдар мен әдістерді қолдану бойынша үлкен тәжірибе жинақталды. Массивке және жүктемені беретін органға қатысты материал бөлшектерінің қозғалысын тіркеу, сондай-ақ процестердің дамуы металдарды қысыммен өңдеудің әртүрлі жұмыс органдарының топырақты кесуін, сұйықтықтар мен газдардағы әртүрлі конфигурациядағы денелердің қозғалысын, өңдеу процесінде материал бөлшектерінің қозғалысын және т. б. зерттеуде кеңінен қолданылады. Жүргізілген

зерттеулерді талдау әртүрлі конфигурациядағы жұмыс органдары мен денелердің ортамен өзара әрекеттесуі кезінде жүретін процестерді анықтауға мүмкіндік береді.

Топырақты игеруге және жылжытуға арналған жер қазу машиналарының ең көп таралған жұмыс органдары үйінді және шөміш болып табылады, сондықтан олардың топырақпен өзара әрекеттесуі толығымен зерттелген. В.И. Баловнев [1] бульдозер пышағының топырақпен әрекеттесуі кезінде үш аймақты бөледі: кесу жиегінде жаңқалардың пайда болуы; пышақ бойымен қабаттың қозғалысы және аунаппапризмасын құрайтын босатылған материал аймағы. Жұмыс органына топырақ жинау кезінде соңғы кезеңде үш тән аймақ бөлінеді: топырақтың массивтен бөлінуі және қабаттың пайда болуы; жұмыс органының ішіндегі қабаттың (топырақтың бір бөлігінің) қозғалысы және оның ішіндегі қозғалмайтын учаскелер аймағы. Сонымен қатар, Ю.А. Ветров [2] ойықтың бүйірлік кеңеюіндегі материалдың жойылу аймағын ескереді.

Жұмысшы органның материалдарды жинау бойынша зерттеулер көрсеткендей, материал үйкеліске байланысты жұмыс органының қозғалмалы бөлігімен тартылады. Жер массивіне мөртабандарды енгізу сияқты, бос бетте пропорция пайда болады, материал қабаттары бір-біріне қатысты араласады. Жалпы жағдайда, жұмыс органдарының топырақпен өзара әрекеттесуі кезінде топырақтың қысылуы, ығысуы және созылуы деформацияланады, сондай-ақ жұмыс органының, жұмыс органының беті арқылы топырақ пен топыраққа жылжу кезінде топырақтың үйкелісі орын алады.

Дененің қатты ортаға әсер етуінде болатын процестердің бір түрі материалда пайда болатын кернеулердің таралуының ұқсас сипатымен түсіндіріледі. Топырақта жүктеме түріне байланысты (шоғырланған, бөлінген, қалыпты немесе бұрышта) оны аналитикалық түрде Н.А. Цытович [5], эксперименталды түрде Н.А. Зеленин [3] топырақты тік профильдермен кесу кезінде, жұмыс істейтін жабдықтың топырақ негіздеріне әсері, металға соққы. Осындай зерттеулерге сүйене отырып, дене жүйесін тепе – теңдіктен шығаратын критикалық жүктеме оның сипаты мен қолдану бұрышына байланысты анықталады. Ортадағы жұмыс органының қозғалысы салыстырмалы қозғалыс беттерінде пайда болатын үйкеліс күштерін анықтайды. Жүргізілген зерттеулердің арқасында топырақты кесу кезінде пайда болатын кедергілер, әртүрлі ортадағы денелердің қозғалысы, топырақты игеру кезінде жер қазу машиналарының жұмыс органдарының оңтайлы параметрлері анықталды.

Жаңқалардың бөліну периоды топырақтың кедергі күшінің периоды арқылы жалғасады. Жаңқаның бөлінуіне байланысты пышақ массивке ене бастайды және ұлғайған топырақ кедергісін біркелкі игеріп алға жылжиды. Пышақ ілгері тағы қозғалғанда оның массивпен жанасуы ұлғайады. Осы қабатқа топырақ кедергісінің жалпы күші және қысымы бірге жоғарылайды. Мұндай жағдай топырақ жағдайының шекті кернеуіне дейін жалғасады. Сосын пышақтың бос беттеріне және алдыңғы қырларының барлық аумағын жайлайды. Осы моментте топырақ кедергісінің күші тағыда жағарғы деңгейді қамтиды. Массив қабатының бос тұрған пышақтың алдыңғы қырларындағы келесі

пайда болатын жылжымалы қабаттардың немесе сынықтардың құрылуы циклдың біткендігін көрсетеді. Топырақтың кедергі күші тағыда минимумға түседі, сосын цикл тағы қайталанады. Жаңқа бөлу сипаттамаларының мұндай үрдісі топырақтың физико-механикалық сипаттамаларының әртүрлі топырақтар үшін сипаттамалы. А.Н. Зелениннің [3] зерттеу нәтижелеріне негізделі отырып топырақты кесудің кедергісі анықталады.

Қазып-тасымалдайтын машиналардың жұмыс органдарының материалдармен өзара әрекеттесуі кезінде машиналардың параметрлері мен материалдың қасиеттерінен туындаған пайда болатын кедергілер мен олардың жұмыс тиімділігін анықтайтын процестер де байқалады. Үйінді материалдарды мерзімді және үздіксіз жұмыс істейтін машиналардың көмегімен тасымалдауға болады.

Жұмыс жабдығының бетінде немесе контейнерлерде сусымалы жүкті тікелей жылжытатын циклдік әрекетті автомобиль, теміржол, су және басқа көлік түрлері үшін процестер ұқсас. Көлік құралдарының бетінде бола отырып, материал қасиеттері мен жағдайларына байланысты жабысып, қатып, коррозияға ұшырауы мүмкін және т. б. материалдың көлік құралдарының бетімен өзара әрекеттесуі сыртқы факторларға байланысты: қоршаған ортаның температурасы мен ылғалдылығы, механикалық әсерлер (діріл, қысым), байланыс ұзақтығы және т. б. Жабысқақ материалдардың көлік құралдарының беттерімен өзара әрекеттесуін бағалаудың негізгі критерийі-толық және кедергісіз түсіру мүмкіндігі.

Бөлім бетінде пайда болатын байланыстардың беріктігіне байланысты жұмыс органының көлбеуі кезінде бос түсіру, беттерді жартылай тазартумен жартылай мәжбүрлеу немесе материалдың жылжымалы элементтермен соқтығысуы кезінде мәжбүрлеу қолданылады. Түсіру түрін таңдау материалдың үйкеліс күштерін немесе көлік құралдарының беттеріне жабысуын жеңу қажеттілігімен анықталады. Ең көп таралған және қарапайым-еркін түсіру, бірақ жабысқақ және дымқыл материалдарды тасымалдау кезінде ол тиімсіз.

Топырақтың жабысқақтығын және оны төмендету шараларын Р. П. Заднепровский зерттеді [4]. Ылғалды топырақтың адгезиясын төмендетудің негізгі әдістері:

- шекарада топырақ құру – жабысу күшін 1,2 – 5 есе төмендететін және машиналардың өнімділігін 10-40 %-ға арттыратын полиэтиленнен, эпоксидті композициялардан, резеңкеден, органикалық майлардан, электр кеңістігіндегі су қабаттарынан жасалған шекаралық қабаттың жұмыс органы;
- дыбыс жиілігінің дірілімен, ультрадыбыспен, магнит өрісімен сыртқы әсерлер, сондай-ақ жұмыс органдарының беттерін қыздыру;
- аралас әдістер;
- жұмыс органдарының қозғалыс жылдамдығын арттыру арқылы байланыс аймағын азайтуды, байланыс уақытын азайтуды қамтитын конструктивті-технологиялық іс-шаралар.

Механикаландыру құралдарының тиімділігі мен тиімділігі жұмыс органдарының жабысқақ жыныстармен өзара әрекеттесу ерекшеліктерімен анықталады. Жабдықты жетілдіру жыныстың жабысқақтығымен

қиындайтын өзара әрекеттесу процестерін сандық және сапалық бағалау негізінде мүмкін болады. Жалпы жұмыс органының өзара әрекеттесуінің жалпы жиынтығында әрекет ететін жұмыс органдары элементтерінің өзара әрекеттесуінің типтік түрлерін анықтау қажет.

Жерді-қазып тасымалдайтын машиналармен тау жыныстарын жасау кезінде пышақтың кескіш пышағы, экскаватор шөміші сияқты, жаңқаларды материалдың массивінен бөледі. Үйінді бетімен кейінгі қозғалыста ол бұл бетке аунату призмасының қысымы арқылы әсер етеді. Оның жоғарғы бөлігіндегі үйінді бетіндегі жоңқалар адгезия күштерімен бекітілген кезде қозғалмауы мүмкін және пайда болатын қарсылық күші жоңқалардың қозғалу күшінен үлкен болады. Бірақ бұл жағдайда да оның пышаққа қысымы сақталады. Мұнай-битумды жыныс арқылы қозғалатын аунату призмасы оған ауырлық күшімен әсер етеді. Пышақтың бүйір беттерінде, ол қозғалған кезде, жаңқаларды кесу кезінде пайда болатын траншеяның бүйір қабырғаларының әсерінен үйкеліс күштері пайда болады.

Материалдардың жабысқақтық мөлшері аудан бірлігіне бөлінген үзіліс күшімен, үзіліс жұмысымен және тұрақты жүктеме кезінде жанасатын материалдар арасындағы байланысты бұзуға кететін уақытпен сипатталады. Көбінесе жабысқақтық бөлінуге қажетті минималды күшпен сипатталады. Бұл шама адгезия беріктігі, адгезия қысымы (кернеу), жабысу қысымы немесе меншікті жабысу деп аталады.

Екі дененің жанасуы бұзылған кезде байланыстың адгезиялық-когезиялық үзілуі жиі кездесетіндіктен, екі денелі материалдардың беттерінің бір-біріне жабысуын сипаттаған кезде «жабысу» терминін қолдану керек. Оның табиғаты нақты анықталған жоқ, бірақ адгезиялық құбылыстардың физикалық-химиялық мәнін түсіндіретін бірнеше теориялар белгілі: адсорбциялық, электрлік, диффузиялық, химиялық және т. б.

Жерді қазып-тасымалдайтын машиналардың жұмысшы органын топыраққа дәнекерлеу, қазудың бастапқы және негізгі деңгейі болып саналады. Жұмысшы органды басқару механизмі есептеуде топыраққа пышақты ендірудің тиімді кинематикалық режимінің шараларын құру үшін дәнекерлеу үрдісінде пышаққа әсер ететін күштің мөлшерін білу қажет. Пышақты топыраққа ендіргенде оның алдынан кернеулі жағдайдың екінші түрі пайда болады. Жұмысшы органның топырақпен [1,2] қарым-қатынасы тірме қабырғаларына топырақтың пассивті қысымын анықтауға байланысты шекті теңдік теориясының ережелерінің көзқарасымен қарастырылады.

Пышақтың қырларымен ығыстыру үрдісінде топырақты массивті серпіндіреді және онда кернеу жағдайын тудырады. Жүктеменің әйтеуір бір деңгейіне жеткенде топырақта ығыстыру зонасы пайда болады. Олар топырақта бірінғай сырғу қабатын құрайды және соның әсерінен мөр астынан топырақты ығыстыру тудырады [2, 3].

3. Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау

Жер қазу-тасымалдау машиналарының жұмыс органының ортамен немесе ортаның жұмыс органымен өзара әрекеттесу процестері сырғанаумен немесе өзара қозғалыссыз (сырғанау) жүруі мүмкін. Сонымен қатар, жерге күш әсер ету көзі тікелей немесе агент арқылы

(жұмыс денесі, физикалық өріс), яғни жанама түрде әрекет етеді. Осыған байланысты жұмыс органының ортамен немесе ортамен жұмыс органымен бір типті қарапайым өзара әрекеттесуін бөліп көрсетуге, оларды түпкілікті нәтижелердің сәйкестігі бойынша топтарға біріктіруге және технологиялық процестерді жетілдіру және өзара әрекеттесу процестерін талдау негізінде механикаландыру құралдарын құру бойынша ең тиімді бағыттарды дәлелдеуге болады.

Жер қазу машинасының жұмыс органының материалдық ортамен өзара әрекеттесуі оның элементтерінің өзара әрекеттесуінің үйлесімі болып табылады. Жоғарыда қарастырылған өзара әрекеттесу процестерін талдай отырып, қолданыстағы жиынтықтан жұмыс органдары элементтерінің келесі негізгі элементар өзара әрекеттесулерін ажыратуға болады: белсенді, пассивті және ортақтандырылған (1-сурет).

Жұмыс органдарының жабысқақ ортамен өзара әрекеттесуі						
Жұмыс органы элементтерінің (ЖОЭ) өзара әрекеттесу жиынтығы						
Өзара әрекеттесу нәтижесі	Белсенді өзара әрекеттесу (БӨ)		Пассивті өзара әрекеттесу (ПӨ)		Ортақтандырылған өзара әрекеттесу (ОӨ)	
	БӨ ығысу-мен	БӨ ығысу-сыз	ПӨ ығысу-мен	ПӨ ығысу-сыз	ОӨ ығысу-мен	ОӨ ығысу-сыз
<i>ЖОЭ арқылы энергия беру</i>	+	+	-	-	+(-)	+(-)
<i>Материалдың ауырлық күшімен өзара әрекеттесу</i>	-	-	+	+	+(-)	+(-)
<i>Материалдың ЖОЭ-не адгезиясы</i>	+	+	+	+	-	-
<i>Қысу деформациясы</i>	+	+	+	+	+	+
<i>Созылу деформациясы</i>	+	+	+	+	+	+
<i>Ығысу деформациясы</i>	+	-	+	-	+	-
<i>Материалдың материал бойынша үйкелісі</i>	+	-	+	-	+	-
<i>Жұмыс органының бетіндегі материалдың үйкелісі</i>	+	-	+	-	-	-
<i>Материал массиві бойынша жұмыс органының үйкелісі</i>	+	-	+	-	-	-
<i>Жұмыс органының материалмен тозуы</i>	+	-	+	-	-	-
<i>Материал массивінің шекті тепе-теңдігі</i>	+	+	-	-	+(-)	+(-)

Сурет 1. Жер қазу-тасымалдау машиналарының жұмыс органдары элементтерінің жабысқақ ортамен өзара әрекеттесуінің жіктелуі

Әдетте, пассивті өзара әрекеттесу дегеніміз-материалдың ауырлық күшінің жұмыс органының элементіне әсері, бұл материалдың жұмыс органының элементінің бетінде қозғалуына кедергі келтіреді және қозғалыссыз да жүзеге асырылады. Бұл жағдайда мұндай өзара әрекеттесу кезіндегі қарсылық орта – жұмыс органының беріктігінде көрінеді және бұл жағдайда пайда болатын адгезия күштерінің беріктігімен және денелермен байланыста болатын үйкеліс қасиеттерімен анықталады.

Белсенді өзара әрекеттесу дегеніміз-жұмыс органының элементінің материалдық ортасына механикалық энергияның сыртқы жеткізілімімен әсер етуі, нәтижесінде топырақта әртүрлі деформациялар пайда болады, ал үйкеліс, адгезия және т.б. құбылыстар пайда болады. Ол материалдық орта массивіне ауысуымен немесе онсыз жүруі мүмкін. Белсенді өзара әрекеттесу кезінде кедергі топырақтың қасиеттерінен туындайды және әсер етуші элементтің бетіндегі және материал массивінің ішіндегі кедергілермен анықталады.

Қозғалыссыз өзара әрекеттесу кезінде әсер етуші элементтің жылдамдығы нөлге тең болады және ол ұзақ уақыт жүктеме кезінде топырақ массивінің тұрақтылығымен сипатталады.

Ортақтандырылған өзара әрекеттесу-бұл жер қазу машинасының ортасы мен жұмыс органының тікелей байланысы алынып тасталған кезде белсенді немесе пассивті өзара әрекеттесудің бір түрі. Бұл ретте жұмыс органының немесе ортаның элементінің әсері физикалық өріс (діріл, магниттік, электростатикалық, жылу) немесе қандай да бір жұмыс денесі (қатты, сұйық, газ тәрізді, ұнтақ тәрізді) арқылы жүзеге асырылады. Мұндай жағдайларда ортақтандырылған өзара әрекеттесу жұмыс денесі мен физикалық өрістің күш сызықтарына қатысты өзара қозғалыс болмаған кезде сырғанаумен немесе сырғанаусыз жүзеге асырылуы мүмкін. Жанама өзара әрекеттесу кезіндегі қарсылық белсенді және пассивті өзара әрекеттесу сияқты факторлармен анықталады, бірақ оның шамасын физикалық өрістердің қоршаған орта қасиеттерінің көрінісіне әсер етуі немесе жұмыс денесін байланыс аймағына енгізу арқылы өзгертуге болады, бұл қолданылатын жабдықтың тиімділігін арттыруға ықпал етеді.

Әр түрлі құрылымдағы және ортадағы жұмыс органдарының өзара әрекеттесуі жұмыс органы элементтерінің қарапайым өзара әрекеттесуінің құрылымы (қосындысы) болып табылады. Жалпы кедергі әрекет ететін элементар өзара әрекеттесулердің шамасымен анықталады. Демек, энергияны көп қажет ететін өзара әрекеттесулердің үлесін азайту және олардың мөлшеріне белсенді әсер ету, біреуін екіншісіне ауыстыру арқылы технологиялық процестер мен жұмыс органдарының параметрлерін оңтайландыруға, сондай-ақ олардың өнімділігін арттыруға болады. Жалпы қарсылықты жалпы түрде ұсынуға болады:

$$W = K_c^a A_c + K^a A + K_c^p P_c + K^p P + K_c^o O_c + K^o O, \quad (1)$$

бұл ретте $K_c^a, K^a + K_c^p + K^p + K_c^o + K^o = 1$, мұндағы K_c^a, K^a – белсенді өзара әрекеттесудің жалпы жиынтығындағы қатысу үлесі сәйкесінше ығысумен және ығысусыз; K_c^p, K^p - пассивті өзара әрекеттесу үшін; K_c^o, K^o - ортақтандырылған өзара әрекеттесу үшін; A_c, A - сәйкесінше ығысумен және ығысусыз белсенді өзара әрекеттесу кезіндегі кедергі; P_c, P - пассивті өзара әрекеттесу кезінде де; O_c, O - ортақтандырылған өзара әрекеттесу кезінде.

Қайырма күректі типтегі жұмыс органдарының жабысқақ топырақтарды өңдеу және тасымалдау кезінде өзара әрекеттесу процесін елестетіп көрейік. Жұмыс органында қарапайым әсерлердің келесі жиынтығы бар: пышақ жүзінің материалмен (ЛН) ығысуымен белсенді өзара әрекеттесу, пышақтың бүйір бетінің (БГ) жыныстың ығысуымен пассивті өзара әрекеттесу, массивтің бетімен (ПВ) призма аудармасы және жұмыс органының (СП) қайырма күректің бетімен кесілген жанқалар және аунату призмасы (СВ).

Материал жиынтығы мен қайырма күректі тереңдету аяқталғаннан кейін топырақ қайырманың бүйір беттерімен өзара әрекеттесуі жоғалады, ал қайырма күректің беті мен аунату призмасы бар жоңқалар өзара

әрекеттесуге ауысады. Қайырма күректі органның кедергісі

$$W_o = (K_c^a A_c)_{ЛН} + (K_c^p P_c)_{БГ+ПВ+СП+СВ}, \quad (2)$$

немесе қайырма күректің бетіндегі өзара әрекеттесуді ортақтандырылғана ауыстырған кезде:

$$W_o = (K_c^a A_c)_{ЛН} + (K_c^p P_c)_{БГ+ПВ+СВ} + (K_c^o O_c)_{СП};$$

$$(K_c^p P_c)_{СП} \cdot (K_c^o O_c)_{СП}.$$

Сондықтан тұтқырлы материалдарды өңдеп жатқан машиналардың жұмысшы органдарының қарым-қатынасының үрдісі өзімен жиынтықты немесе элементарлы үйлестіру қарым-қатынасын түсіндіреді – белсенді (ортаға жұмысшы органды) және пассивті (жұмысшы органға орта). Әрқайсысы өзіне салыстырмалы немесе онысыз қозғалады. Материалды ортада немесе кендерде жұмысшы органдарды қозғалту кедергісін есептегенде жұмысшы органның қозғалу жылдамдығын есепке алу керек. Себебі түсірілген жүктеме жылдамдығы кедергі көлеміне әсер етеді.

Осылайша, өндіруші машиналардың жұмыс органдарының жабысқақ жыныстармен өзара әрекеттесу процестері қарапайым өзара әрекеттесулердің жиынтығы немесе үйлесімі болып табылады - белсенді (қоршаған ортаға арналған жұмыс органы) және пассивті (жұмыс органына арналған орта), олардың әрқайсысы салыстырмалы қозғалыста немесе онсыз жүруі мүмкін. Коэффициенттер осы немесе басқа схема бойынша алынған формулалар бойынша арақатынасқа байланысты есептеледі. Нәтижесінде жабысқақ жыныстарының массивіне қалыпты әсер ету кезінде коэффициенттерді табуға болады.

4. Қорытынды

Жүргізілген зерттеулер келесі тұжырымдар жасауға мүмкіндік берді:

1. Жер қазу машиналарының энергия тиімділігін арттырудың резерві жұмыс органдары элементтерінің материалдық ортамен қарапайым өзара әрекеттесуінің ұсынылған жиынтығы болуы мүмкін екендігі анықталды, бұл механикаландыру құралдарының оларды әзірлеу, тасымалдау және пайдалану кезінде жабысқақ материалдармен жиынтық өзара әрекеттесуінің нәтижесін сипаттауға мүмкіндік береді.

2. Жұмыс органының және сәйкесінше машинаның немесе жабдықтың әрбір құрылымы үшін жиынтық өзара әрекеттесу ортамен қарапайым өзара әрекеттесудің бір немесе басқа түріне сәйкес келетіндігі негізделген. Осылайша, машиналардың жұмыс органдарының жабысқақ жыныстармен өзара әрекеттесу процестері қарапайым өзара әрекеттесулердің жиынтығы немесе үйлесімі болып табылады - белсенді және пассивті, олардың әрқайсысы салыстырмалы қозғалыста немесе онсыз жүруі мүмкін болады.

3. Топырақты кесу және жылжыту процестерін ұсынылған топырақ классификациясын ескере отырып, энергияны көп қажет ететін процестердің үлесін азайту, олардың жалпы кедергісіне белсенді әсер ету арқылы жүргізу ұсынылады, бұл технологиялық процестің ең

ұтымды параметрлерін орнатуға және жер қазып-тасымалдайтын машиналарының экономикалық көрсеткіштерін арттыруға мүмкіндік береді.

Алғыс

Жұмыс «Көлік инженериясы» бағыты бойынша мектептің профессорлық оқытушылар құрамының қолдауымен орындалды.

References / Әдебиеттер

- [1] Balovnev, V.I. (1994) Modelirovanie processov vzaimodejstviya so sredoј rabochih organov dorozhno-stroitel'nyh mashin. M.: Mashinostroenie
- [2] Vetrov, Yu.A. (1971) Rezanіe gruntov zemlerojnyimi mashinami. M.: Mashinostroenie
- [3] Zelenin, A.N. (1968) Osnovy razrusheniya gruntov mehanicheskimi sposobami. M.: Mashinostroenie
- [4] Zadneprovsky, R.P. Rezul'taty snizheniya treniya i prilipaniya vlazhnyh gruntov pri razrabotke zemlerojnyimi mashinami. Zhurnal «Stroitel'nye i dorozhnye mashiny», (5), 31-33
- [5] Tsytoich, N.A. (1979). Mehanika gruntov. M.: Izd. centr. «Akademija»

Жерді қазып-тасымалдайтын машиналарының жұмысы кезінде жабысқақ топырақты өңдеудің энергия тиімділігін арттыру

Т.К. Мендіханов*, И.В. Воронин, Г.Т. Жандарбек, Р.А. Козбагаров

Satbayev University, Алматы, Қазақстан

*Корреспонденция үшін автор: mendikhannovturar@gmail.com

Андатпа. Жер қазып-тасымалдайтын машиналарының жұмысына топырақтың физика-механикалық қасиеттері әсер етеді, сондықтан оларды әртүрлі түрлер мен күйлерде топырақ қаңқасын құрайтын қатты минералды бөлшектердің компоненттерінің белгілі бір жүйесі ретінде қарастыруға болады. Кеуектердің (бос орындардың) болуы көптеген құрылыс материалдарына тән, бірақ топырақта кеуектілік олардың физикалық күйін және әсіресе механикалық мінез-құлқын анықтайды: ығысуға төзімділік, сыртқы әсерлерде жыртылу және басқа сипаттамалары. Негізінде, топырақтың қазуға нақты кедергісі оның дамуының қиындығы мен энергия тиімділігін анықтайды, сондықтан жер қазу машиналарының жұмыс органының өзара әрекеттесу процесі топтарға бөлінеді: пассивті; белсенді және ортақтандырылған (аралас немесе кешенді). Топырақты кесу және жылжыту процестерін топырақтың келтірілген жіктелуін ескере отырып, энергияны көп қажет ететін процестердің үлесін азайту, олардың жалпы кедергісіне белсенді әсер ету ұсынылады. Бұл технологиялық процестің ұтымды жұмыс режимдерін орнатуға мүмкіндік береді және жер қазу жұмыстарының энергия тиімділігін арттыруды қамтамасыз етеді. Жерді қазып-тасымалдайтын машиналарының тиімділігін едәуір арттыру үшін машинаның жұмыс жабдықтарында пайда болатын кедергілерді анықтауға болады. Жер қазып-тасымалдайтын машиналарының жұмыс органдарының топырақпен өзара әрекеттесуі және жұмыс жабдықтарындағы қарсылықты анықтау туралы барлық қолданыстағы теориялар, әдетте, көптеген эмпирикалық коэффициенттерді ескере отырып, зертханалық зерттеулерге негізделгені белгілі. Осыған байланысты бұл теориялар жерді қазып-тасымалдайтын машиналардың жұмыс органдарының кеңістіктегі және уақыттағы топырақпен өзара әрекеттесу процесін толық зерттеуге мүмкіндік беретіні белгілі болды.

Негізгі сөздер: жерді қазып-тасымалдайтын машиналар, топырақтың меншікті кедергісі, топырақты кесу, ұтымды жұмыс режимі, технологиялық процесс.

Повышение энергоэффективности обработки липкого грунта при работе машин для выемки и транспортировки грунта

Т.К. Мендіханов*, И.В. Воронин, Г.Т. Жандарбек, Р.А. Козбагаров

Satbayev University, Алматы, Казахстан

*Автор для корреспонденции: mendikhannovturar@gmail.com

Аннотация. Физико-механические свойства грунта влияют на работу машин для выемки и транспортировки грунта, поэтому их можно рассматривать как определенную систему компонентов твердых минеральных частиц, формирующих скелет грунта в различных типах и состояниях. Наличие пор (пустот) характерно для многих строительных материалов, однако в грунте пористость определяет его физическое состояние и, в особенности, механическое поведение: сопротивление сдвигу, разрыв при внешних воздействиях и другие характеристики. В целом, фактическое сопротивление грунта выемке определяет сложность его разработки и энергоэффективность процесса, поэтому взаимодействие рабочего органа землеройных машин с грунтом подразделяется на три группы: пассивное, активное и комбинированное. Для снижения доли энергоемких процессов при резке и перемещении грунта предлагается учитывать

данную классификацию грунтов и активно воздействовать на их общее сопротивление. Это позволяет установить оптимальные режимы работы технологического процесса и повысить энергоэффективность землеройных работ. Значительное повышение эффективности машин для выемки и транспортировки грунта возможно при точном определении сопротивлений, возникающих в рабочем оборудовании машины. Известно, что все существующие теории взаимодействия рабочих органов землеройных машин с грунтом и определения сопротивлений в рабочем оборудовании, как правило, основаны на лабораторных исследованиях с учетом множества эмпирических коэффициентов. В связи с этим данные теории позволяют более полно изучить процесс взаимодействия рабочих органов землеройных машин с грунтом в пространстве и во времени.

Ключевые слова: *машины для выемки и транспортировки грунта, удельное сопротивление грунта, разрезание грунта, оптимальный режим работы, технологический процесс.*

Received: 29 December 2023

Accepted: 16 March 2024

Available online: 31 March 2024