

ӘОЖ 62
FTAXP 28.23.15

<https://doi.org/10.55452/1998-6688-2025-22-4-178-195>

^{1*}Юсупов Р.В.,

магистрант, ORCID ID: 0009-0004-9953-6514,

*e-mail: r_yussupov@kbtu.kz

^{1,2}Кулбекова Ш.А.,

магистр, ORCID ID: 0000-0003-1059-7800,

e-mail: kulbekovasholpan@gmail.com

¹Аманжолова Р.Ш.,

магистр, ORCID ID: 0000-0001-9129-1074,

e-mail: r.amanzholova@kbtu.kz

¹Сагин Ж.М.,

PhD, профессор, ORCID ID: 0000-0002-0386-888X,

e-mail: j.sagin@kbtu.kz

¹Қазақстан-Британ техникалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

²ҚР ТЖМ «Сейсмологиялық бақылаулар мен зерттеулердің ұлттық ғылыми орталығы»
ЖШС, Алматы қ., Қазақстан

АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫНА АРНАЛҒАН ЖЫЛЖЫМАЛЫ (МОБИЛЬДІ) ДАТЧИКТЕР

Андатпа

Ауыл шаруашылығы климаттың өзгеруімен байланысты мәселелердің әсерінен барған сайын күрделі бола түсуде. Бұл жағдай тұрақты мониторинг пен бейімделуді, соның ішінде дәлме-дәл ауыл шаруашылығы қажеттіліктері үшін топырақты бақылауды талап етеді. Ауыл шаруашылығы топырақтары өндірісті арттыру мақсатында фермерлер тарапынан пестицидтер мен нитрат-фосфаттарды қарқынды қолдану арқылы пайдаланылады. Су тасқыны мен құрғақшылық мәселелері де ушығып, топырақтың тегіс болмауына әкелуде, бұл әрбір нүктеде топырақты дұрыс бақылауды қажет етеді. Топырақты бақылау көптеген фермерлер үшін өте қымбат. Бұл мәселені шешу үшін әртүрлі сенсорлармен жабдықталған шағын, энергияны үнемдейтін, төмен құнды мобильді роботтық платформаны қолдану орынды болады. Фермерлер оны қашықтан басқара алады, жер бетінің жоғарғы топырақ қабаттарын зерттейді және жер бедерін тексереді. Ғылыми-зерттеу жұмыстары мен белсенді демалыс қажеттіліктері шеңберінде қолдану қоршаған ортаны зерттеудің егжей-тегжейін түсінуге мүмкіндік беретін әрекеттер тізбегінің арзандатылған құнын қамтамасыз етуі мүмкін. Арнайы жасалған үш дөңгелекті мобильді платформа – автономды қозғалысқа және түрлі тапсырмаларды орындауға арналған инновациялық құрылғы. Үш дөңгелектің қолданылуы арқасында робот жоғары маневрлікке және тұрақтылыққа ие, бұл оған тар кеңістіктерде және әртүрлі беттерде тиімді жұмыс істеуге мүмкіндік береді. Ол сенсорлармен және дәл навигациялық басқару мен кедергілерден аулақ болуды қамтамасыз ететін басқару жүйесімен жабдықталған. Бағдарламалау және бейімдеу мүмкіндіктері роботты деректер жинау, шағын жүк тасымалдау немесе қоршаған ортаны бақылау сияқты нақты тапсырмаларға бейімдеуге мүмкіндік береді. Роботты білім беру, ғылыми зерттеулер, сондай-ақ өнеркәсіптік және тұрмыстық қолданбаларда пайдалануға болады. Осылайша, үш дөңгелекті мобильді робот қазіргі заманғы роботтық жүйелерді дамыту үшін көп функциялы әрі келешегі зор платформа.

Тірек сөздер: нақты ауылшаруашылық, роботтық жүйелер, әдістер, пәнаралық, болашақ, мониторинг.

Кіріспе

Климаттың өзгеруіне байланысты мәселелердің өршуі қазір ауыл шаруашылығын елеулі және ауқымды өзгерістерге ұшыратуда. Ауа райы жағдайларының өсіп келе жатқан бол-жаусыздығына, соның ішінде температураның үлкен ауытқуларына [1], дауыл мен ұзаққа

созылған құрғақшылық [2] сияқты жиірек экстремалды метеорологиялық оқиғалар [3] және топырақтың прогрессивті деградациясы (табиғи және адам әрекеті және т. Мұндай мониторингсіз топырақтың саулығын сақтау, жердің өнімділігін арттыру және ауылшаруашылық операцияларының ұзақ мерзімді өміршеңдігіне кепілдік беру қиынға соғады. Қазіргі ауыл шаруашылығының негізгі құрамдастарының бірі болып табылатын топырақ жағдайын нақты уақыт режимінде бағалау осы бағалау арқылы жерді пайдалану тиімділігі мен тұрақтылығын арттыруға көмектеседі. Құнарлылықтың нашарлауымен және құнарлылығының төмендеуімен байланысты қауіптерді азайтатын уақтылы өңдеулер топырақ сипаттамаларын дәл зерттеу мүмкіндігінің арқасында мүмкін болады. Дегенмен, бұл саладағы негізгі қиындық ауыл шаруашылығы мамандарының қазіргі заманғы бақылау құрылғылары туралы білімінің және білімінің тұрақты болмауында. Ауыл шаруашылығы саласының көптеген мамандары дәл егіншілік жабдықтары, автоматтандырылған деректер жинау жүйелері және арнайы сенсорлар сияқты қазіргі заманғы технология құралдарын толық түсінбейді немесе дұрыс пайдаланбайды (Хорошун 2022). Ресурстарды нашар басқару, жер және су ресурстарын ысырап ету, жоғары ағымдағы шығындар және ақырында топырақты бағалаудың дәлдігі мен тиімділігін арттыру мүмкіндігін жоғалту осы білім алшақтығынан туындайды [4].

Сонымен қатар, қазіргі заманғы ауылшаруашылық топырақтары негізінен синтетикалық тыңайтқыштарға, гербицидтерге және нитрат фосфаттарына тәуелді интенсивті ауылшаруашылық әдістеріне байланысты өте теріс пайдаланылуда. Өсімдік өнімділігін арттыруға бағытталғанымен, бұл ресурстарды шамадан тыс және ұзақ пайдалану топырақтың айтарлықтай нашарлауына (Мұқанов 2025), коректік заттардың азаюына, су көздерінің ластануына және топырақ құнарлылығының жалпы төмендеуіне әкеледі. Химиялық теңгерімсіздіктен басқа, су тасқыны мен құрғақшылық сияқты экологиялық стресс факторларының күшеюі топырақтың тұрақсыздығын күшейтеді, сондықтан біркелкі емес рельеф пен жер телімдерін тудырады, бұл құлдыраудың алдын алу үшін өте дәл және үздіксіз бақылауды қажет етеді [5]. Бақылаудың тиімсіз әдістері ауыл шаруашылығы өнімі мен осы аймақтардағы тұрақтылыққа айтарлықтай кедергі келтіруі мүмкін. Олардың үлкен шығындары мен еңбекті көп қажет ететін сипатына байланысты олар жиі жұмыс істемейтін болса да, топырақты жиі және мұқият бағалаудың айқын қажеттілігіне қарамастан, дәстүрлі тәсілдер жалпы болып қала береді. Көбінесе қолмен сынама алу және зертханалық сынақтан тұратын топырақты бағалаудың дәстүрлі әдістері айтарлықтай уақыт пен ақшаны қажет етеді, бұл оларды шағын және орта шаруашылықтар үшін қол жетімді етеді [6]. Экономикалық тұрғыдан да, экологиялық тұрғыдан да тұрақты емес ескірген әдістер топырақ мониторингінің автоматтандырылған және энергияны үнемдейтін технологияларын кезең-кезеңмен қолдану арқылы одан әрі шиеленісе түседі [7]. Нәтижесінде, ауылшаруашылық өнеркәсібі дәлдігі мен тиімділігі жоғарырақ мониторинг жүйелеріне көшу қиынға соғады. Сонымен қатар, ауылшаруашылық жерлерін басқару тағы бір маңызды экологиялық мәселені көтереді: мұзды жару. Оның айтарлықтай экологиялық және биологиялық әсерлері бар болса да, мұз түзілімдерін бұзу үшін жоспарланған детонацияларды қолданатын бұл әдіс [8, 9] әлі де тартысты. Мұзды жару көне және қоршаған ортаға зиян келтіретін әдіс ретінде кеңінен айыпталды, өйткені ол көптеген проблемаларды тудырады, соның ішінде жергілікті фаунаға үлкен бұзылулар, табиғи ортаның тұрақты өзгерістері [10] және елді мекендер мен инфрақұрылымға ықтимал қауіптер [11]. Мұндай зиянды әдістер қауіпсіз және тұрақты алмастырғыштардың болуына қарамастан әлі де қолданылады, бұл ұзақ мерзімді қоршаған ортаға әсері және мұзды жою саясатының қажеттілігі туралы сұрақтар тудырады. Жаһандану және еңбек нарығындағы өзгерістер технология мен экологиялық мәселелерден басқа ауылшаруашылық жұмыс күшінде де елеулі өзгерістерді тудырады. Көптеген отандық жұмысшылар жұмыссыздықты бастан кешіруде, өйткені креативті технологиялар белсенді түрде жасалып, ауылшаруашылық тәжірибесіне енгізілсе де, жеке шаруашылық иелері жоғары білікті шетелдік мамандарды жалдауды көбірек қалайды. Бұл сарапшылар интеграцияланған автономды технологиялар мен автоматтандырылған ауылшаруашылық жүйелерінің жұмыс істеуін терең түсінеді, бұл олардың ауылшаруашылық операцияларын жаңартқысы келетін

компанияларға сәйкестендіреді [14]. Бұл жергілікті ауыл шаруашылығы жұмысшыларының жұмыссыз қалуына әкелуі мүмкін, бұл тенденция жер ресурстарын басқару мен ауыл шаруашылығы өндірісінің басқа салаларына таралуы мүмкін. Алдағы қиындық – жергілікті ауыл шаруашылығы мамандарының техникалық білімге тәуелді салада бәсекеге қабілетті болып қалу үшін қажетті дайындық пен дағдыларды меңгеруіне көз жеткізу. Осы өзекті мәселелермен күресу техникалық инновацияларды, саясатты өзгертуді және бағытталған білім беру жобаларын біріктіретін мұқият, көп салалы стратегияны талап етеді. Топырақ мониторингінің заманауи әдістері кеңінен танымал болуы керек, автоматтандырылған шешімдер қабылдануы керек және ауылшаруашылық өнеркәсібінің климаттың өзгеруіне неғұрлым төзімді болуына көмектесу және ұзақ мерзімді өндіріс пен экологиялық тұрақтылыққа кепілдік беру үшін жерді басқарудың тұрақты тәжірибесін қолдану қажет.

Материалдар мен әдістер

Бастапқыда аймақ тұрғындарының экология мен таза өнімдер мен азық-түлік өнімдерін шығармайтын осындай дамудағы өнімдерге байланысты жоғары технологияға жол берілмейді деген сенімін қамтитын мәселені индекстеу туралы өтініш бар. Бірақ адамдар процестерді автоматтандыру таза ауыл шаруашылығы өнімдеріне әсер етпейтінін түсінуі керек (Grigoruk et al., 2024). Топырақ мониторингі мен ауыл шаруашылығының тұрақтылығымен байланысты өзекті мәселелерді тиімді шешу үшін бұл зерттеу инновациялық, шағын ауқымды, арзан және энергияны үнемдейтін мобильді робот платформасын ұсынады. Бұл жүйе топырақ жағдайын бағалауды оңтайландыру үшін арнайы әзірленген, сонымен бірге қол еңбегіне тәуелділікті азайту және қоршаған ортаға әсерді азайту [15]. Заманауи датчиктермен жабдықталған робот платформасы топырақтың маңызды қасиеттеріне, соның ішінде ылғал деңгейлеріне, температура ауытқуларына және құрылымдық тұрақтылыққа қатысты нақты уақыттағы деректерді жинауға, өңдеуге және беруге қабілетті. Үздіксіз және жоғары дәлдіктегі бақылауды қамтамасыз ете отырып, бұл технология ауылшаруашылық тиімділігі мен тұрақтылығын айтарлықтай арттырады, сонымен бірге ақпараттандырылған шешім қабылдауды қамтамасыз етеді. Ұсынылған үш доңғалақты робот платформасы көптеген стратегиялық артықшылықтарды ұсынады, бұл оны ауылшаруашылық қолданбалары үшін тамаша шешім етеді. Бұл артықшылықтарға мыналар жатады:

(a) Әртүрлі рельефтерде, соның ішінде біркелкі емес және ойлы-қырлы ауылшаруашылық алқаптарында үздіксіз навигацияға мүмкіндік беретін жоғары маневрлік және тұрақтылық.

(b) Деректер жинау процестеріне адамның тікелей араласу қажеттілігін азайтатын автономды және қашықтан басқарылатын жұмыс режимдері.

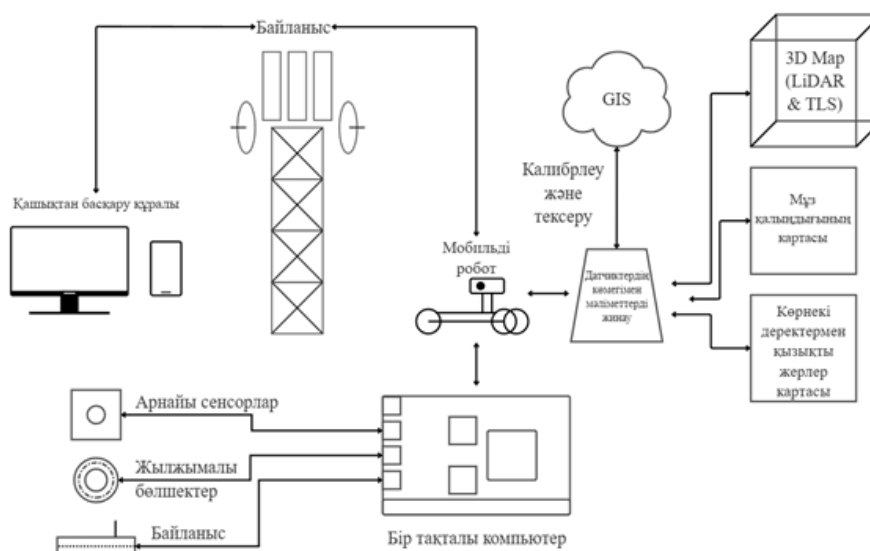
(c) Деректердің дәлдігін, сенімділігін және тиімділігін арттыруға әкелетін дәл топырақ бақылау сенсорларының жетілдірілген интеграциясы.

(d) Шағын фермерлерге, ғылыми-зерттеу институттарына және ауыл шаруашылығының тәуелсіз мамандарына топырақты бағалаудың озық технологиясын қолжетімді ету, үнемділік.

(e) Түрлі ауылшаруашылық жағдайлары мен мониторинг талаптарын қанағаттандыру үшін жүйені өзгертуге және кеңейтуге болатындығын қамтамасыз ететін бейімделу және масштабтау.

Алдыңғы бөлімде талқыландандай, ауыл шаруашылығындағы тұрақтылық – технологиялық, экологиялық және экономикалық факторларды мұқият қарастыруды талап ететін көп қырлы мәселе. Топырақ мониторингіне арналған роботтық жүйелерді біріктіру ресурстарды пайдалануды жақсарту және қоршаған ортаға жағымсыз әсерлерді азайту арқылы тұрақтылықтың негізгі принциптеріне сәйкес келеді [16]. Дегенмен, тұрақты ауылшаруашылық тәжірибесін енгізудегі негізгі кедергілердің бірі – сала мамандарының жалпы хабардарлығы мен техникалық тәжірибесінің жоқтығы. Көптеген мамандар заманауи ауылшаруашылық технологияларының әлеуетін толық пайдалана алмайды, нәтижесінде мониторинг процестері тиімсіз, операциялық шығындар ұлғаяды және ресурстарды нашар басқарады. Тиісті мысал –

көлік секторы сияқты басқа салалардағы жұмыспен қамту динамикасының ауысуы, онда жүргізушісіз таксилер адам жүргізушілерін алмастырды, бұл кең таралған жұмыс орындарын жоғалтуға әкелді (17). Сол сияқты, бұрын талқыланды, автоматтандыру және технологиялық жетістіктер ауыл шаруашылығындағы жұмыс күшін қайта құрылымдауға ықпал етіп, жұмыс күшін дамытудың жаңа стратегияларын қажет етеді. Келесі бөлім осы дамып келе жатқан ландшафттағы ықтимал шешімдер мен болашақ дамуларды зерттейді. Қоршаған ортаны қорғау контекстінде мұнайдың тозуы, химиялық ластану және климаттық бұзылулар ауыл шаруашылығы өнімділігіне елеулі қауіп төндіреді. Осы экологиялық проблемаларға ықпал ететін негізгі мәселе топырақ мониторингі технологияларын тиімсіз пайдалану, бұл көбінесе жерді басқару бойынша дұрыс емес шешімдерге және ресурстардың қажетсіз сарқылуына әкеледі. Топырақ жағдайын дұрыс бағаламау шамадан тыс немесе жеткіліксіз араласуға, сайып келгенде, топырақ эрозиясын, қоректік заттардың сарқылуын және құрылымның тұрақсыздығын жеделдетуі мүмкін. Қазіргі уақытта топырақ мониторингі негізінен спутниктік түсірілімдер арқылы жүргізіледі. Спутниктік деректер құнды түсініктер бергенімен, көптеген ауылшаруашылық мүдделі тараптар сантиметр деңгейіндегі дәлдігі бар дәл, жоғары ажыратымдылықтағы ақпаратты қажет етеді. Бұл мобильді робот платформалары үшін өрісті бақылау мен картаның дәлдігін арттыру үшін бірегей мүмкіндік береді. Спутниктік карталарды роботтық жүйелермен жиналған жердегі деректермен біріктіру арқылы топырақ жағдайын бағалаудың дәлдігін айтарлықтай жақсартуға болады. 1-сурет роботты бақылаудың спутниктік карта жасау технологияларымен интеграциясын көрсететін типтік қолданбалы сценарийді көрсетеді. Ауылшаруашылық қолданбаларынан басқа, бұл технологиялық тұжырымдама мұз қалыңдығын бақылауға да кеңейтілуі мүмкін. Жетілдірілген сенсорлық технологияларды қолдана отырып, мұздың қалыңдығын нақты уақыт режимінде талдау үшін роботтық платформаларды қолдануға болады, бұл мұзды басқарудың қауіпсіз және тиімдірек тәжірибесіне мүмкіндік береді [18].



Сурет 1 – Айналы сенсорлары бар жердегі мобильді платформаны пайдалана отырып, ауыл шаруашылығында деректерді жинау әдістемесі

Технологиялық инновациялардың аспектілері, ұсынылып отырған үш доңғалақты робот платформасы топырақты бақылау технологиясындағы елеулі прогресті білдіреді. Интернет заттары (IoT) сенсорлары, жасанды интеллект (AI) негізіндегі деректерді талдау және автономды навигация мүмкіндіктерін қосу арқылы бұл жүйе топырақ жағдайын бағалаудың дәлдігі мен тиімділігін айтарлықтай жақсартады. Қолмен сынама алуға және зертханалық

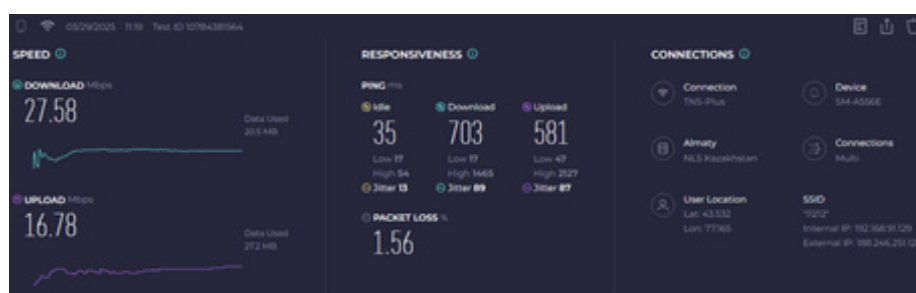
талдауға негізделген топырақты бағалаудың дәстүрлі әдістері көп уақытты және қымбатты ғана емес, сонымен қатар адам қателігіне де бейім. Керісінше, роботтық платформа нақты уақыт режимінде деректерді жинауды жеңілдетеді, еңбек талаптарын айтарлықтай төмендетеді және бағалау дәлдігін арттырады. Роботтандырылған бақылау жүйесінің негізгі ерекшелігі зерттеу аймағының нақты уақыт режиміндегі цифрлық картасын құру. Бұл интерактивті карта топырақ жағдайының жан-жақты және динамикалық визуализациясын қамтамасыз ететін барлық жиналған деректерді біріктіреді. Спутниктік суреттерді далалық карталанған деректермен біріктіру үздіксіз жаңартулар мен нақты талдауға мүмкіндік беретін дәлдікті одан әрі арттырады. Қашықтан басқару және автономды навигация арқылы ауылшаруашылық мамандары үлкен физикалық еңбекті қажет етпестен немесе дәстүрлі көліктерге сүйенбестен топырақты мұқият бағалауды жүргізе алады. Энергия тиімділігі тұрақты ауыл шаруашылығы тәжірибесінің тағы бір маңызды факторы болады. Робот платформасы ең аз қуат тұтынумен жұмыс істеуге арналған және оның архитектурасы күн панельдері сияқты жаңартылатын энергия көздерін біріктіруге мүмкіндік береді. Жаңартылмайтын ресурстарға тәуелділікті азайта отырып, бұл технология ауылшаруашылық мониторингі операцияларының көміртегі ізін азайтуға, ауыл шаруашылығын экологиялық тұрғыдан тұрақты етуге ықпал етеді [19].

Бұған қоса, климаттың өзгеруінен туындаған құрғақшылық пен су тасқынының жиілігінің артуы бейімделген ауыл шаруашылығы стратегияларының қажеттілігін көрсетеді [20]. Роботтандырылған жүйе ылғал деңгейін, рельеф жағдайын және құрылымдық тұтастықты үздіксіз талдау арқылы топырақтың мақсатты мониторингін жеңілдетеді. Бұл нақты уақыттағы бағалау негізделген шешім қабылдауға, жерді пайдалану тиімділігін арттыруға және қоршаған ортаның тозуының ұзақ мерзімді салдарын азайтуға мүмкіндік береді. Үш деңгейлі робот платформасы озық технологиялық жетістіктерді, тұрақты экологиялық стратегияларды және үнемді шешімдерді біріктіре отырып, топырақ жағдайын бақылауға біртұтас және болашақты ойлайтын тәсілді ұсынады. Бұл жүйе ескірген ауылшаруашылық тәжірибесінің тиімсіздігін қарастырады, ресурстарды пайдалануды оңтайландырады және сала мамандарының білімін дамытуға ықпал етеді. Нәтижесінде болашақ ауылшаруашылық жүйелері тұрақтырақ ғана емес, сонымен бірге деректерге негізделген, икемді және климатқа байланысты қиындықтарға бейімделгіш болады. Сонымен қатар, компьютерлік көру мен машиналық оқыту технологияларының интеграциясы жүйенің мүмкіндіктерін кеңейту үшін қосымша мүмкіндіктер береді. Кескінді танудың жетілдірілген алгоритмдерін арамшөптер, тастар, ағаш тамырлары және басқа кедергілер сияқты негізгі ауылшаруашылық ерекшеліктерін анықтау үшін пайдалануға болады. Бұл ақпаратты лазерлік арамшөптерді тазарту машиналары [20], автономды жинау жүйелері және басқа да мамандандырылған ауылшаруашылық көліктері сияқты кең ауқымды дәл егіншілік технологияларының тиімділігін арттыру үшін пайдалануға болады. Бұл қолданбалар қазіргі уақытта білім беру және эксперименттік мақсаттар үшін зерттеліп жатқанымен, олардың жақын болашақта нақты әлемде іске асыру үшін айтарлықтай әлеуеті бар. Қосымшаға енгізілген кодекс пен принциптер. Тұтастай алғанда, роботтандырылған топырақ мониторингі платформаларын әзірлеу және енгізу ауыл шаруашылығын жаңғыртудағы үлкен қадам. Технология мен тұрақты ауылшаруашылық тәжірибесі арасындағы алшақтықты жою арқылы бұл тәсіл тиімділікті арттырып қана қоймайды, сонымен қатар қоршаған ортаның жылдам өзгеруі мен технологиялық эволюция дәуірінде ұзақ мерзімді ауыл шаруашылығының өміршеңдігін қамтамасыз етеді.

Агрофермадағы тәжірибелік сынақ. Синтетикалық модельдеуден айырмашылығы, нақты әлемдегі сынақтар ұсынылған робот платформасының практикалық мүмкіндіктерін бағалауда шешуші рөл атқарады. Технологиялық тәжірибелік үлгілер үшін арнайы сынақ алаңдарын құру мақсаты 2-суретте көрсетілгендей, Алматы қаласының төңірегінде шоғырланған. Бұл сынақ алаңдары нақты ауыл шаруашылығы жағдайында платформаның өнімділігін жүйелі түрде бағалауға болатын бақыланатын орталар ретінде қызмет етеді.

Әр түрлі типтегі датчиктер арқылы қоршаған орта мен топырақ параметрлерін белсенді бақылау спутниктік сенсорларды қоспайды. Механикалық, газ, ылғалдылық және температура сенсорлары кіреді. Температура сенсорлары топырақ пен ауа температурасының өзгеруін бақылауға мүмкіндік береді, бұл агрономиялық және климаттық зерттеулер үшін өте маңызды. Ылғалдылық сенсорлары топырақтың ылғалдылық деңгейін өлшейді, осылайша суару тәжірибесін хабардар етеді және ауылшаруашылық өнімділігін арттырады. Экожүйелер мен топырақты бағалау көмірқышқыл газы мен аммиак сияқты қосылыстарды анықтауға қабілетті газ датчиктерін қажет етеді. Қысым және кернеу сенсорлары сияқты механикалық сенсорлар ауыл шаруашылығы мен экология үшін өте маңызды топырақтың тығыздығы мен тығыздалуын анықтайды [21].

Жүйенің сынақ алаңында интернет жылдамдығын өлшеу Speedtest платформасы арқылы жүргізілді, ол келесі нәтижелерді көрсетті (тест күні: 29 наурыз 2025 ж.). Өлшеу нәтижелері 3-суретте көрсетілген.



Сурет 2 – Мәліметтерді тасымалдау жылдамдығын тексеру.
Дереккөз <https://www.speedtest.net/>.

Бұл тәжірибелік негіздердің маңызды аспектісі олардың кеңірек ғылыми зерттеулерге қосқан үлесі. Таңдалған аймақ жергілікті фаунаны, өсімдіктердің экожүйесін және су ресурстарын басқаруды зерттеуді қоса алғанда, экологиялық тұрақтылыққа қатысты батыл бастамаларға белсенді түрде қатысады. Әртүрлі мекемелердің ғалымдары мен мамандарына зерттеу алаңдарын ұсына отырып, бұл сынақ алаңдары пәнаралық ынтымақтастық пен технологиялық прогреске ықпал етеді.

Айта кетерлігі, бұл нысандар Қазақстан-Британ техникалық университетінің (ҚБТУ) зерттеушілері мен студенттері үшін өте маңызды. Инновациялар мен қолданбалы ғылымның орталығы ретінде ҚБТУ теориялық модельдер мен зертханада әзірленген шешімдерді іс жүзінде растауға болатын нақты тәжірибелік жағдайларға қол жеткізудің пайдасын көреді. Академия мен далалық тәжірибе арасындағы бұл өзара әрекеттестік роботтық платформаның Қазақстанда және одан тыс жерлерде дәлме-дәл ауыл шаруашылығының нақты міндеттеріне жауап беру үшін қатаң сынақтан өтуін, нақтылануын және бейімделуін қамтамасыз етеді.

Топырақ мониторингі мен ауыл шаруашылығының тұрақтылығымен байланысты өзекті мәселелерді тиімді шешу үшін бұл зерттеу инновациялық, шағын ауқымды, арзан және энергияны үнемдейтін мобильді робот платформасын ұсынады. Бұл жүйе топырақ жағдайын бағалауды оңтайландыру үшін арнайы әзірленген, сонымен бірге қол еңбегіне тәуелділікті азайтып, қоршаған ортаға әсерді азайтады. Заманауи датчиктермен жабдықталған робот платформасы топырақтың маңызды қасиеттеріне, соның ішінде ылғал деңгейлеріне, температура ауытқуларына және құрылымдық тұрақтылыққа қатысты нақты уақыттағы деректерді жинауға, өңдеуге және беруге қабілетті. Үздіксіз және жоғары дәлдіктегі бақылауды қамтамасыз ете отырып, бұл технология ауылшаруашылық тиімділігі мен тұрақтылығын айтарлықтай арттырады, сонымен бірге ақпараттандырылған шешім қабылдауды қамтамасыз етеді.



Сурет 3 – Сынақ полигоны.

Алматы облысындағы Баян Сұлтанбекованың агроферма аумағы, дереккөз: Google Earth, <https://earth.google.com/>, автор біріктірген.

Ұсынылған үш доңғалақты робот платформасы көптеген стратегиялық артықшылықтарды ұсынады, бұл оны ауылшаруашылық қолданбалары үшін тамаша шешім етеді. Бұл артықшылықтарға мыналар жатады:

(а) Әртүрлі рельефтерде, соның ішінде тегіс емес және ойлы-қырлы ауылшаруашылық алқаптарында үздіксіз навигацияға мүмкіндік беретін жоғары маневрлік және тұрақтылық.

(b) Деректер жинау процестеріне адамның тікелей араласу қажеттілігін азайтатын автономды және қашықтан басқарылатын жұмыс режимдері.

(с) Деректердің дәлдігін, сенімділігін және тиімділігін арттыруға әкелетін дәл топырақ бақылау сенсорларының жетілдірілген интеграциясы.

(d) Шағын фермерлерге, ғылыми-зерттеу институттарына және ауыл шаруашылығының тәуелсіз мамандарына топырақты бағалаудың озық технологиясын қолжетімді ету, үнемділік.

(е) Түрлі ауылшаруашылық жағдайлары мен мониторинг талаптарын қанағаттандыру үшін жүйені өзгертуге және кеңейтуге болатындығын қамтамасыз ететін бейімделу және масштабтау.

Экономикалық тұрғыдан алғанда, топырақты бағалаудың дәстүрлі құралдарының жоғары құны, әсіресе шағын және орта ауылшаруашылық кәсіпорындары үшін қолжетімділікті шектейді [22]. Қолжетімді, модульдік роботтық жүйені әзірлеу әдеттегі бақылау жабдығына үнемді балама ұсына отырып, бұл мәселені шешеді.

Экономикалық артықшылықтардан басқа, роботтық платформа білім беру мен жұмыс күшін дамытуда шешуші рөл атқарады. Көптеген ауыл шаруашылығы мамандарының қазіргі заманғы мониторинг технологиялары бойынша жеткілікті дайындықтары жоқ, бұл олардың тұрақты тәжірибелерді енгізу мүмкіндіктерін шектейді. Университеттер мен ғылыми-зерттеу мекемелері студенттер мен мамандарға топырақты дәл бағалау бойынша тәжірибелік тәжірибе бере отырып, осы роботтандырылған жүйені өздерінің академиялық оқу бағдарламаларына біріктіре алады. Бұл ауыл шаруашылығы мамандарының келесі ұрпағын тұрақты ауыл шаруашылығы инновацияларын жүргізу үшін қажетті технологиялық тәжірибемен жабдықталғанын қамтамасыз етеді [23].

Ауыл шаруашылығы міндеттерін автоматтандырудың күшеюі жұмыс күшін ауыстыру туралы алаңдаушылық тудырады. Дегенмен, мобильді роботтық платформаларды қабылдау автоматтандыру, робототехниканы бағдарламалау және дәлме-дәл ауыл шаруашылығы сияқты салаларда жұмысшылардың біліктілігін арттыру және қайта даярлау мүмкіндіктерін ашады. Болашақ мамандарға роботты жүйелерді пайдалану және техникалық қызмет көрсету, әсіресе дәл егіншілікке арналған автомобиль платформаларын басқару және бағдарламалау бойынша тәжірибе алу қажет. Бұл дағдыларды дамыту жүргізушісіз көліктер мен автоматтандырылған ауылшаруашылық технологияларының өсуінен туындаған жұмыссыздық қаупін азайтуға, технологиялық тұрғыдан неғұрлым шебер жұмыс күшін дамытуға көмектеседі.

Топырақ мониторингі үшін мобильді роботтық платформаларды дамыту ақылды және тұрақты ауыл шаруашылығына қарай кеңірек ауысымның бөлігі болады. Алайда, бұл технологияларды тиімді енгізудегі негізгі кедергі ауыл шаруашылығы мамандарының біліктілігі мен хабардарлығының жоқтығы. Көптеген мамандар заманауи бақылау жабдықтарының мүмкіндіктерін толық түсінбейді немесе пайдаланбайды, бұл топырақты тиімсіз басқаруға, ресурстарды шамадан тыс тұтынуға және оңтайландыру мүмкіндіктерін жіберіп алады. Технологиялар дамыған сайын, топырақтың дәл мониторингі мен тұрақты жерді басқарудағы робототехниканың болашағын бірнеше негізгі тенденциялар қалыптастырады:

AI және ML алгоритмдері топырақты бақылаудың роботтық жүйелерінің аналитикалық мүмкіндіктерін айтарлықтай арттырады (Vina, 2024). Болашақ роботтық платформалар тарихи және нақты уақыттағы деректер негізінде топырақ сапасының тенденцияларын болжайтын болады. Олар сондай-ақ сенсор деректерін климаттық үлгілермен салыстыру арқылы топырақ жағдайын талдауды жақсартады. Сонымен қатар, AI басқаратын автоматтандыру жерді тұрақты басқару үшін әрекет ететін түсініктер беру арқылы шешім қабылдау процестеріне қолдау көрсетеді.

Деректерді пассивті жинаудан интеллектуалды талдауға көшу арқылы бұл жетістіктер топырақ мониторингі бойынша қазіргі тәжірибенің жетіспеушілігін шешуге көмектеседі, бұл мамандардың ескірген немесе тиімсіз әдістерге сүйенбей, деректерге негізделген ұсыныстарға қол жеткізуін қамтамасыз етеді.

Ауыл шаруашылығы робототехникасындағы тұрақтылық энергияны үнемдейтін шешімдерді қажет етеді. Болашақ топырақ мониторингі платформалары батареяның қызмет ету мерзімін ұзарту және пайдалану шығындарын азайту үшін күн батареялары сияқты жаңартылатын энергия көздерін біріктіреді. Сонымен қатар, кинетикалық энергияны қалпына келтіру жүйелері сияқты технологиялар роботтың автономиясын одан әрі жақсарта алады [24]. Бұл жақсартулар жиі қайта зарядтауға тәуелділікті азайтады және роботтық жүйелерді шалғай ауылшаруашылық аймақтарында пайдалану үшін өміршең етеді.

Бір роботтық блокқа сенудің орнына, топырақты бақылауда тиімділік пен ауқымдылықты арттыру үшін көп роботты жүйелерді (үйірлік робототехника) орналастыруға болады. Бұл жүйелер үлкен ауыл шаруашылығы алқаптары бойынша топырақ жағдайын картаға түсіру үшін бірлесіп жұмыс істейді. Деректерді жинау, рельефті талдау және аномалияны анықтау сияқты міндеттер жұмыс жүктемесінің тиімдірек бөлінуін қамтамасыз ете отырып, бірнеше бөлімшелер арасында бөлінеді [25]. Бұл жүйелердің бірлескен сипаты нақты уақыттағы деректердің қолжетімділігін арттыра отырып, жұмыс уақытын қысқартады.

Бұл таратылған тәсіл AI басқаратын платформалар арқылы оңай түсіндіруге болатын жоғары сапалы деректер көлемін қамтамасыз ету арқылы мамандардың шектеулі білімі мен тәжірибесін өтеуге көмектеседі.

Тұрақты және үзіліссіз өнімділікті қамтамасыз ету үшін роботтық платформа деректерді өңдеудің интеграцияланған мүмкіндіктерімен жабдықталуы мүмкін. Бұл тәсіл нақты уақыт режимінде берілуі қажет деректер көлемін азайту арқылы желідегі жүктемені айтарлықтай азайтады, осылайша деректерді берудегі ықтимал үзілістерді азайтады. Ақпаратты жергілікті түрде өңдеу арқылы жүйе желі қосылымы тұрақсыз немесе шектеулі орталарда да тиімдірек жұмыс істей алады.

Компьютерді көру, сенсорлық деректерді өңдеу және нақты уақыттағы операциялар сияқты тапсырмалар үшін бір тақталы компьютерді қолданған жөн. Көрнекті мысалдардың бірі NVIDIA Jetson платформасы, ол жасанды интеллект қолданбаларына, соның ішінде терең оқыту мен кеңейтілген деректерді талдауға арналған. Бұл ықшам, бірақ қуатты компьютерлер жоғары есептеу тиімділігін ұсынады, бұл оларды үлкен деректер жиынын жылдам және дәл өңдеуді қажет ететін роботтық қолданбалар үшін тамаша таңдау етеді. Мұндай технологияны қолдана отырып, роботтық жүйе сыртқы серверлерге немесе бұлттық есептеулерге шектен тыс сенім артпай-ақ айналаны талдау, сенсордың көрсеткіштерін өңдеу және автономды шешімдер қабылдау мүмкіндігін алады.

Сонымен қатар, AI және машиналық оқыту үшін оңтайландырылған бір тақталы компьютерлерді пайдалану роботтық платформаның бейімделуін арттырады. Ауылшаруашылық қолданбаларында, мысалы, нақты уақыт режимінде деректерді өңдеу роботқа топырақ жағдайын анықтауға, өсімдіктердің денсаулығын жіктеуге және адамның үздіксіз араласуын қажет етпей ресурстарды пайдалануды оңтайландыруға мүмкіндік беру арқылы егіншіліктің дәл әдістерін жақсарты алады. Осы саладағы зерттеулер ілгерілеген сайын, мұндай есептеу бірліктерін біріктіру әртүрлі ауылшаруашылық және өнеркәсіптік орталарда жұмыс істей алатын автономды және интеллектуалды роботтық платформаларды дамытудың маңызды аспектісі болады [26].

IoT және бұлтқа негізделген деректерді бөлісу, IoT қосылған сенсорларды пайдаланудың өсуі, болашақ роботтық платформалар бұлтқа негізделген бақылау жүйелеріне біріктіріледі. Бұл тиімдірек шешім қабылдауға мүмкіндік беретін кез келген жерден топырақ деректеріне қашықтан нақты уақытта қол жеткізуге мүмкіндік береді. Бұл платформалар роботтық бақылау жүйелерін қоршаған ортаны бақылау станцияларымен байланыстырып, ақылды ауылшаруашылық желілерімен үздіксіз қосылатын болады.

Топырақтың деградациясы, тығыздалуы немесе органикалық заттардың сарқылуы туралы автоматтандырылған ескертулер іске қосылады, бұл ықтимал мәселелерге жылдам жауап беруді жеңілдетеді [27]. Бұлттық есептеулер саясаткерлерге, зерттеушілерге және ауылшаруашылық мамандарына негізделген шешімдер қабылдауға көмектесетін үлкен деректерді талдауға да қолдау көрсетеді. Дегенмен, мұндай жүйелерді кеңінен қолдану топырақ мониторингі деректерін дұрыс түсіндіру мен қолдануды қамтамасыз ету үшін ауыл шаруашылығы мамандарының цифрлық сауаттылығын айтарлықтай жақсартуды талап етеді [28].

Көп функционалды және модульдік мобильді робот платформаларын дамыту мүмкіндігі тек топырақ мониторингімен ғана шектелмейді. Олардың модульдік конструкциялары әртүрлі ауылшаруашылық қосымшалары үшін оңай теңшеуге мүмкіндік береді [29]. Бұл платформалар жерді дайындауды оңтайландыру үшін кеңейтілген топырақ құрылымын талдауға қолдау көрсетеді. Сондай-ақ олар топырақтан таралатын ауруларды автоматтандырылған түрде анықтауға, егін шығынын азайтуға мүмкіндік береді. Тағы бір маңызды қолданба – топырақтың ұзақ мерзімді денсаулық стратегиясын жақсартатын дәлдікпен жер картасын жасау.

Бірнеше функцияларды бір платформаға біріктіру арқылы ауылшаруашылық робототехникасы үнемді және қолжетімді болады. Бұл фермерлер мен зерттеушілерге мониторингтің озық шешімдерін қол жетімді ете отырып, қолданыстағы жабдықты толық пайдаланбаудан туындаған тиімсіздікті азайтады.

Тұрақты ауыл шаруашылығының болашағы робототехника, AI, IoT және жаңартылатын энергияның конвергенциясына байланысты. Дегенмен, бұл жетістіктерді ауыл шаруашылығы мамандары оларды тиімді пайдалану үшін жеткілікті түрде оқытса ғана толық жүзеге асыруға болады. Ағымдағы білім олқылықтарын жою және топырақ мониторингінде цифрлық сауаттылықты ілгерілету арқылы бұл инновациялар ресурстарды пайдалануды оңтайландыруға, топырақ денсаулығын басқаруды жақсартуға және климаттық қиындықтарға төзімділікті арттыруға көмектеседі. Ұзақ мерзімді перспективада құны төмен, энергияны

үнемдейтін роботтық платформалар қоршаған ортаға тигізетін әсерді барынша азайта отырып, жерді тиімді басқаруды қамтамасыз ететін тұрақты ауыл шаруашылығының маңызды құралына айналады.

Нәтижелер мен талқылау

Объектіні тану саласында алдыңғы қатарлы тану технологиясын камерамен жабдықталған қондырғыларға біріктіру мәдени өсімдіктер арасында өсетін арамшөптерді анықтау және құжаттау дәлдігі мен тиімділігін айтарлықтай арттыруға мүмкіндік береді. Терең оқытудың заманауи әдістерін қолдана отырып, бұл жүйелер ауылшаруашылық ортасынан нақты уақыттағы деректерді бір уақытта жинай отырып, өсімдік түрлерінің өте дәл жіктелуіне қол жеткізе алады. Бұл мүмкіндік автоматтандырылған талдау негізінде жылдам шешім қабылдауға мүмкіндік беру арқылы ауылшаруашылық операцияларының жалпы тиімділігін арттыруға ықпал етеді [30].

Арамшөптерді анықтаудың негізгі қолдануынан басқа, ауылшаруашылық алқаптарында бар әртүрлі объектілерді тану және жіктеу мүмкіндігі кеңірек мониторинг қолданбалары үшін маңызды уәде береді. Оларға дақылдардың ауруларын анықтау, өсімдіктердің денсаулығын бағалау және қоршаған орта жағдайын бағалау жатады. Сонымен қатар, мұндай жетістіктер ресурстарды бөлуді оңтайландыру, гербицидтерді пайдалануды азайту және қол еңбегіне қойылатын талаптарды азайту арқылы нақты ауыл шаруашылығына қолдау көрсете алатын автоматтандырылған шешімдер қабылдау жүйелерін дамытуға ықпал етеді. Сайып келгенде, ауыл шаруашылығында көру негізіндегі интеллектуалды тану жүйелерін қолдану тиімді жерді басқару тәжірибесін ілгерілету және егін өнімділігінің нәтижелерін жақсарту арқылы тұрақтылыққа ықпал етеді.

Қазіргі заманғы дәлдіктегі ауылшаруашылық 5G желілерін және басқа да жоғары жылдамдықты сымсыз жүйелерді қоса алғанда, алдыңғы қатарлы радиобайланыс технологияларына көбірек тәуелді. Бұл озық коммуникациялық шешімдер автономды техника, сенсорлық желілер, ұшқышсыз ұшатын аппараттар (ҰҰА) және орталықтандырылған басқару хабтары сияқты ауыл шаруашылығы экожүйесінің әртүрлі құрамдас бөліктері арасында үздіксіз және тиімді деректер алмасуды қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады. Деректердің жылдам және үздіксіз берілуін қамтамасыз ете отырып, бұл технологиялар фермерлерге нақты уақыттағы ақпарат негізінде уақтылы және негізделген шешімдер қабылдауға мүмкіндік беретін ауқымды ауыл шаруашылығы операцияларын тиімді басқаруға ықпал етеді [31].

Жоғары дамыған ауылшаруашылық аймақтарында мұндай жоғары жылдамдықты желілерді енгізу үздіксіз қоршаған ортаны бақылауды жеңілдетеді және топырақ ылғалдылығы, температура және зиянкестердің белсенділігі сияқты факторлардың динамикалық өзгерістеріне автоматтандырылған жауаптарды қолдайды. Бұл мүмкіндік ресурстарды бөлуді айтарлықтай оңтайландырады, суару стратегияларын жақсартады және жалпы егінді басқару тиімділігін арттырады [32]. Оған қоса, сенімді коммуникациялық инфрақұрылымның кеңеюі және үздіксіз дамуы сандық ауыл шаруашылығы құралдары, бұлтқа негізделген аналитикалық платформалар және жасанды интеллект негізіндегі шешімдерді қолдау жүйелері арасындағы кеңейтілген байланысты нығайту арқылы дәлме-дәл ауыл шаруашылығын ілгерілетудің негізі. Бұл технологиялар дамып келе жатқанда, олар тұрақты, деректерге негізделген және автономды ауылшаруашылық тәжірибесіне мүмкіндік беру арқылы ауыл шаруашылығы өнімділігін одан әрі өзгертуге мүмкіндік береді.

Нақты уақыттағы операцияларда сенсорлар мен камералардан деректерді тұрақты және сенімді тасымалдауды қамтамасыз ету үшін жіберілетін деректер түрлерін ескере отырып, жеткілікті желі өткізу қабілетін қамтамасыз ету өте маңызды. Бұған камералар түсірген жоғары ажыратымдылықтағы кескіндер, әртүрлі борттық сенсорлардың телеметриялық деректері және роботтың үздіксіз жұмыс істеуі үшін қажетті басқару сигналдары кіреді. Робот платформасының тиімділігі осы әртүрлі деректер ағындарын кідіріссіз немесе үзіліссіз өңдеу мүмкіндігіне байланысты.

Бір роботтық блок үшін әдеттегі талап етілетін өткізу қабілеттілігі шамамен 20 Мбит/с құрайды. Бұл нақты навигация мен шешім қабылдауға мүмкіндік беретін сенсор көрсеткіштері мен кескін деректерін нақты уақыт режимінде өңдеуді қолдау үшін қажет. Дегенмен, роботтық қондырғылардың үлкен тобы бір уақытта жұмыс істейтін сценарийлерде деректерді тасымалдауға сұраныс экспоненциалды түрде артады. Үйлестіруде жұмыс істейтін бірнеше роботтардан тұратын жүйе, әсіресе дәл ауыл шаруашылығында немесе өнеркәсіптік бақылауда, желі жылдамдығы 100 Мбит/с немесе одан жоғары болуы мүмкін. Байланыстың бұл деңгейі нақты уақыттағы компьютерлік көруді өңдеудің тиімді болып қалуын және жүйедегі барлық роботтардың кедергілерсіз немесе кешігу мәселелерісіз байланыса алуын қамтамасыз етеді.

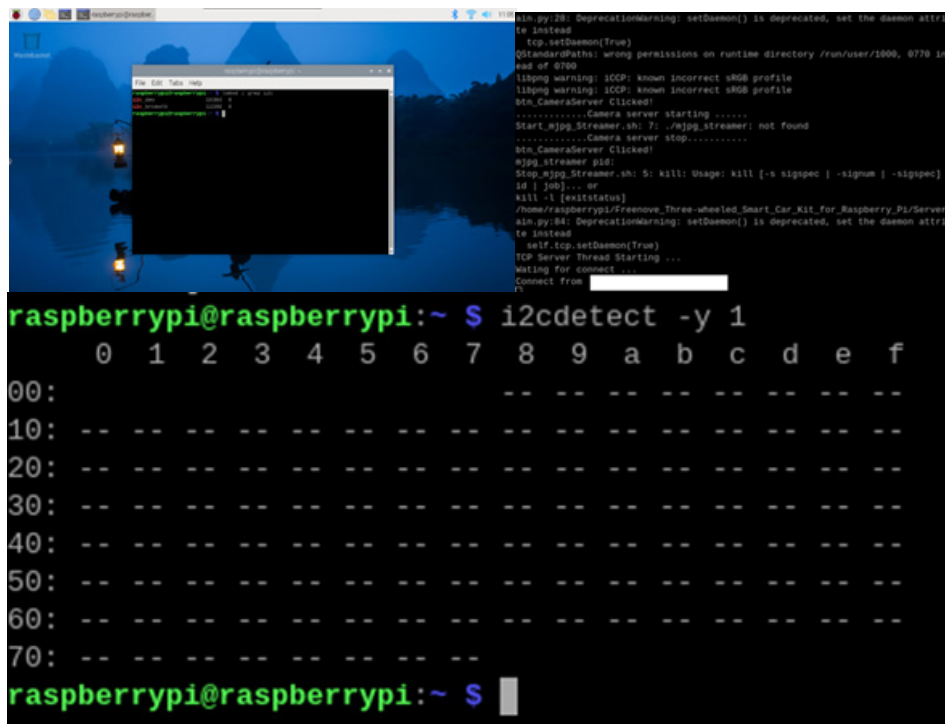
Бұл жоғары өткізу қабілеттілігі талаптарын қанағаттандыру үшін жоғары жылдамдықты сымсыз желілерді енгізу өте маңызды. Ең перспективалы шешімдердің бірі сымсыз байланыстың алдыңғы буындарымен салыстырғанда айтарлықтай жоғары жылдамдықты, төмен кідірісті және жақсартылған желі тұрақтылығын қамтамасыз ететін 5G технологиясын біріктіру. 5G желілерін дәлме-дәл ауыл шаруашылығында және роботтық қосымшаларда қолдану ақпараттың нақты уақыт режимінде өңделуін және берілуін қамтамасыз ете отырып, бірнеше автономды блоктар арасында үздіксіз деректер алмасуға мүмкіндік береді.

Сонымен қатар, 5G қабылдау роботтардың үлкен топтарына қосылым мәселелерісіз күрделі орталарда жұмыс істеуге мүмкіндік беретін топтық робототехниканың ауқымдылығын арттырады. Бұл әсіресе топырақ мониторингін, егінді бағалауды және дәл суаруды жүргізу үшін бірнеше роботтық қондырғылар кең аумақтарда бірге жұмыс істеуі керек ауылшаруашылық қолданбаларында тиімді. Деректердің үлкен көлемін лезде жіберу мүмкіндігі шешім қабылдауды жақсартуға мүмкіндік береді, өйткені AI басқаратын алгоритмдер көптеген көздерден алынған ақпаратты талдап, әрекет ететін түсініктер жасай алады.

Ауыл шаруашылығынан басқа, жоғары жылдамдықты сымсыз байланыс нақты уақыттағы роботтық жұмыс қажет басқа салаларда да маңызды. Өнеркәсіптік автоматтандыруда автономды роботтар қозғалыстарды үйлестіру, сенсор деректерін ортақ пайдалану және адамның араласуынсыз процестерді оңтайландыру үшін жылдам және тұрақты желі қосылымдарына сүйенеді. Сол сияқты, қоршаған ортаны бақылауда жетілдірілген сенсорлармен жабдықталған мобильді роботтық платформалар сенімді желі инфрақұрылымы қолдау көрсеткенде экологиялық деректерді тиімдірек жинап, талдай алады.

Робототехника және сымсыз байланыс саласындағы зерттеулер дамитындықтан сурет 4 толтырады, деректерді нақты уақыт режимінде өңдеуге мүмкіндік берудегі жоғары жылдамдықты желілердің рөлі одан сайын маңыздырақ болады. Желілік технологияның болашақ жетістіктері роботтық платформалардың мүмкіндіктерін одан әрі арттырып, олардың автономдылықпен, тиімділікпен және дәлдікпен жұмыс істеуін қамтамасыз етеді. 5G және ұқсас жоғары жылдамдықты байланыс технологияларының интеграциясы динамикалық және деректерді қажет ететін орталарда күрделі тапсырмаларды орындауға қабілетті интеллектуалды роботтық жүйелерді дамыту жолындағы іргелі қадам [33].

Осы жетілдірілген ауылшаруашылық жүйесінің іргелі және таптырмас элементі ауылшаруашылық деректерінің үлкен көлемін өңдеуге, талдауға және қауіпсіз сақтауға арналған орталық хаб ретінде жұмыс істейтін жергілікті серверлік инфрақұрылым. Бұл серверлер әртүрлі өсімдік түрлеріне, топырақ композицияларына, климаттық жағдайларға және объектіні дәл тану үшін қажетті қоршаған ортаның басқа айнымалыларына қатысты санатталған деректер жиынын қамтитын ауқымды және үздіксіз жаңартылатын дерекқорларды басқаруда шешуші рөл атқарады. Осындай маңызды ақпараттың құрылымдық репозиторийін сақтай отырып, жергілікті серверлер дәл ауыл шаруашылығы технологияларының үздіксіз жұмысын қолдайды және шешім қабылдау процестері үшін сенімді деректерге қол жеткізуді қамтамасыз етеді.



Сурет 4 – Қосылым күйлерінің белсенділігінің мысалы және GPIO шинасына қосылу

Қорытынды

Жасанды интеллектіге негізделген күрделі алгоритмдерді біріктіру жинақталған деректерді құрылымдық және жүйелі түрде өңдеуге мүмкіндік беретін осы жүйелердің аналитикалық мүмкіндіктерін одан әрі арттырады. Бұл жасанды интеллектімен жұмыс істейтін талдау егістік жағдайларын дәлірек түсіндіруге әкеледі, бұл ферманы басқару стратегияларын оңтайландыруға ықпал ететін болжамды модельдеуге және трендтерді анықтауға мүмкіндік береді. Бұған қоса, локализацияланған желі ішінде есептеу тапсырмаларын орталықтандыру арқылы бұл серверлік инфрақұрылым деректерді өңдеудегі кідірістерді азайту арқылы ауылшаруашылық мониторингінің тиімділігін айтарлықтай жақсартыады. Бұл жылдам және интеллектуалды деректерді өңдеу уақытылы араласуды жеңілдетеді, ресурстарды бөлуді оңтайландырады және сайып келгенде заманауи ауылшаруашылық тәжірибелерінің тұрақтылығы мен өнімділігін арттырады. Ауылшаруашылық технологиялары дамып келе жатқанда, жергілікті серверлік инфрақұрылымның деректерге негізделген фермерлік шаруашылықты қолдаудағы рөлі бұрынғыдан да маңыздырақ болады, бұл кең ауқымды ауыл шаруашылығы жүйелерінде үлкен автоматтандыруды, операциялық тиімділікті және негізделген шешім қабылдауды қамтамасыз етеді.

Нысандарды тану жүйелеріне AI енгізу бірқатар маңызды артықшылықтарды ұсынады, сонымен қатар табысты енгізу үшін шешілуі керек белгілі бір қиындықтарды ұсынады. Жағымды жағы, AI басқаратын технологиялар дақылдарды бақылау мен басқаруға қатысты әртүрлі тапсырмаларды автоматтандыру арқылы қол еңбегіне тәуелділікті айтарлықтай азайтады. Бұл автоматтандыру адам қатесін азайтып қана қоймайды, сонымен қатар ауыл шаруашылығын бағалаудың дәлдігі мен дәйектілігін арттырады. Сонымен қатар, AI-мен жұмыс істейтін нысанды тану қоректік заттардың жетіспеушілігі, зиянкестердің зақымдануы және аурудың өршуі сияқты өсімдіктердің денсаулығына қатысты мәселелерді ерте анықтауға мүмкіндік береді, бұл жалпы өнімділік пен тұрақтылықты жақсартатын уақытылы араласуға мүмкіндік береді.

Дегенмен, осы артықшылықтарға қарамастан, ауыл шаруашылығында AI негізіндегі шешімдерді қабылдау бірнеше қиындықтарды тудырады. Негізгі мәселелердің бірі – қажетті аппараттық және бағдарламалық қамтамасыз ету құрамдастарын сатып алу және оларға қызмет көрсету үшін қажет елеулі қаржылық инвестиция. Жоғары өнімді есептеу инфрақұрылымы, күрделі бейнелеу сенсорлары және бұлтқа негізделген деректерді сақтау шешімдері үлкен көлемдегі ауылшаруашылық деректерін өңдеу үшін өте маңызды. Сонымен қатар, AI басқаратын жүйелерді енгізу мамандандырылған персоналды оқытуды талап етеді, өйткені ферма операторлары мен ауыл шаруашылығы техниктері осы озық технологияларды тиімді басқару, түсіндіру және оңтайландыру үшін қажетті тәжірибені дамытуы керек.

Жасанды интеллект негізіндегі ауылшаруашылық қосымшаларының сәттілігіне әсер ететін тағы бір маңызды фактор – жоғары сапалы оқыту деректерінің қол жетімділігі. AI үлгілері өсімдіктер түрлерін, топырақ жағдайларын және қоршаған ортаның айнымалыларын дәл анықтауды қамтамасыз ететін объектіні тану мүмкіндіктерін нақтылау үшін ауқымды және дәл белгіленген деректерге сүйенеді. Сонымен қатар, сенімді есептеу ресурстары мен жақсы құрылымдалған цифрлық инфрақұрылым AI-ды бар ауылшаруашылық тәжірибесіне үздіксіз интеграциялау үшін өте маңызды. Аграрлық сектор дамып келе жатқандықтан, бұл міндеттерді шешу қазіргі заманғы дәл егіншілікте өнімділікті, тұрақтылықты және шешім қабылдау процестерін арттыруда AI әлеуетін барынша арттыру үшін маңызды болады.

Қаржыландыру туралы ақпарат

Бұл мақала Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің № BR27197639 «Жамбыл, Алматы, Жетісу, Абай және Шығыс Қазақстан облыстары үшін сулы горизонттарды басқарылатын толықтырудың гидрогеологиялық стратегияларымен су тасқыны-құрғақшылық салдарын төмендету инновациялары» жобасы аясында жүзеге асырылуда.

ӘДЕБИЕТТЕР

- 1 Abibulla B. Methods for improving energy efficiency in agriculture // International Scientific and Theoretical Conference “Seyfullin Readings – 15: Youth, Science, Technology, New Ideas and Prospects”, dedicated to the 125th anniversary of S. Seifullin. – 2019. – Vol. 237–239.
- 2 Айтхожин С.Қ., Балкибаева А.М., Рамазанова Р.Х., Ермеков Ф.К., Қарсыбаева Қ.А. Қазақстандағы нақты ауыл шаруашылығы жобасының экономикалық бағалауы // Periódico Tchê Química. – 2019. – Vol. 16. – No. 33. – P. 304–314. https://doi.org/10.52571/ptq.v16.n33.2019.319_periodico33_pgs_304_314.pdf
- 3 Алакунова А. Топырақты талдау 1034 сомнан: Хемизация департаменті шаруаларға бағаны жариялады // Aqparat. – 2025. URL: https://aqparat.info/news/2025/01/28/10747876-analiz_pochvy_ot_1034_somov_v_departamen.html
- 4 Alcolea J. Top 10 Vision AI benefits for agriculture // Ultralytics. – 2024. URL: <https://www.ultralytics.com/ru/blog/top-10-benefits-of-using-vision-ai-for-agriculture>
- 5 Аверченко Д. Тобылда көктайғақ болады: қостанайлықтарға әкімдік үндеу тастады // ҚазАқпарат. – 2025. URL: <https://www.inform.kz/ru/led-budut-vzrivat-na-tobole-k-kostanaytsam-obratilis-v-akimate-7a3228>
- 6 Беляева Е. Шығыс Қазақстан облысында құтқарушылар 80 мың шаршы метрден астам мұзды жарып жіберді // Закон. – 2025. – 15 наурыз. URL: <https://www.zakon.kz/sobytiia/6470465-bolee-80-tysyach-kvadratnykh-metrov-lda-vzorvali-spasateli-v-vko.html>
- 7 Bertocco M., Cappellazzo S., Flammini A., Parvis M. A multi-layer architecture for distributed data acquisition // Proc. 19th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference. – 2003. <https://doi.org/10.1109/imtc.2002.1007138>
- 8 Budiharto W., Chowanda A., Gunawan A.a.S., Irwansyah E., Suroso J.S. A review and progress of research on autonomous drone in agriculture, delivering items and GIS // Proc. 2019 2nd World Symposium on Communication Engineering (WSCE). – 2019. – P. 205–209. <https://doi.org/10.1109/wsce49000.2019.9041004>

- 9 Carbone C., Garibaldi O., Kurt Z. Swarm robotics as a solution to crops inspection for precision agriculture // *KnE Engineering*. – 2018. – Vol. 3. – No. 1. – P. 552. <https://doi.org/10.18502/keg.v3i1.1459>
- 10 Debicka M., Jamroz E., Bekier J., Ćwieląg-Piasecka I., Kocowicz A. The influence of municipal solid waste compost on phosphorus transformations in soil // *Agronomy*. – 2023. – Vol. 13. – No. 5. – Art. 1234. <https://doi.org/10.3390/agronomy13051234>
- 11 Demush R. A brief history of computer vision (and convolutional neural networks) // *HackerNoon*. – 2019. URL: <https://hackernoon.com/a-brief-history-of-computer-vision-and-convolutional-neural-networks-8fe8aacc79f3>
- 12 Dileep M.R., Navaneeth A.V., Ullagaddi S., Danti A. A study and analysis on various types of agricultural drones and applications // *Proc. 2020 ICRCICN*. – 2020. – P. 181–185. <https://doi.org/10.1109/icrcicn50933.2020.9296195>
- 13 Дорошкевич Г. Қазақстандық азамат фермасын цифрлық жүйеге айналдырып, жетістікке жетті // *Сандық бизнес*. – 2025. – 19 наурыз. URL: <https://digitalbusiness.kz/2025-03-19/kazakhstanets-sdelal-svoe-fermerskoe-hozyaystvo-tsifrovim-i-preuspel-vot-ego-istoriya/>
- 14 Егорова Н. Ауыл шаруашылығындағы шағын кәсіпкерліктің мәселелері // *Концепт*. – 2016. – P. 48–51. URL: <https://e-koncept.ru/2017/770431.htm>
- 15 Ferreira C.S., Seifollahi-Aghmiuni S., Destouni G., Ghajarnia N., Kalantari Z. Soil degradation in the European Mediterranean region // *Sci. Total Environ.* – 2021. – Vol. 805. – Art. 150106. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150106>
- 16 Furtak K., Wolińska A. Impact of extreme weather events on soil moisture and agricultural quality // *CATENA*. – 2023. – Vol. 231. – Art. 107378. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107378>
- 17 Ғабдуалиева Р., Мелекова А., Жакупова А., Базарова Б. Қазақстанның ауыл шаруашылығы саласын цифрландыру // *BIO Web Conf.* – 2024. – Vol. 82. – Art. 05038. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20248205038>
- 18 Григорук В.В., Әкімбекова Ч.У., Климов Е.В. Органикалық ауыл шаруашылығын институционалдық және экономикалық ынталандыру. – LEM Publishing, 2024. – 72 с.
- 19 Gonzalez-Dugo V., Zarco-Tejada P., Nicolás E. et al. Assessing variability in tree water status with UAV thermal imagery // *Precision Agriculture*. – 2013. – Vol. 14. – No. 6. – P. 660–678. <https://doi.org/10.1007/s11119-013-9322-9>
- 20 Groover P.M. Manufacturing applications of automation and robotics // *Encyclopedia Britannica*. – 2025. – 12 March. URL: <https://www.britannica.com/technology/automation/Manufacturing-applications-of-automation-and-robotics>
- 21 Rehman W.U., Koondhar M.A., Afridi S.K. et al. Role of 5G network in revolutionizing agriculture for sustainable development // *Energy Nexus*. – 2025. – Art. 100368. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2025.100368>
- 22 Ruiz J., Torres E., Villarreal E. Design and construction of a mobile robot with regenerative brake on DC motors // *Int. J. Mater. Sci. Eng.* – 2014. <https://doi.org/10.12720/ijmse.2.1.6-9>
- 23 Seidaliyeva U., Ilipbayeva L., Taissariyeva K., Smailov N., Matson E.T. Advances and challenges in drone detection and classification // *Sensors*. – 2023. – Vol. 24. – No. 1. – Art. 125. <https://doi.org/10.3390/s24010125>
- 24 Shi S., Zhu L., Luo Z., Qiu H. Contributions of climate and anthropogenic factors to NPP variability // *Remote Sensing*. – 2023. – Vol. 15. – No. 3. – Art. 789. <https://doi.org/10.3390/rs15030789>
- 25 Silverberg B.D. Lasers, drones and AI: the future of weeding // *BBC*. – 2023. URL: <https://www.bbc.com/news/business-64742513>
- 26 Steidl V., Bamber J.L., Zhu X.X. Physics-aware machine learning for glacier ice thickness // *Cryosphere*. – 2025. – Vol. 19. – No. 2. – P. 645–661. <https://doi.org/10.5194/tc-19-645-2025>
- 27 Strickland S. Making the 5G precision agriculture connection // *Ericsson Blog*. – 2022. URL: <https://www.ericsson.com/en/blog/north-america/2022/making-the-5g-precision-agriculture-connection>
- 28 Tkáčik M., Březina A., Jádlovská S. Design of prototype for modular mobile robotic platform // *IFAC-PapersOnLine*. – 2019. – Vol. 52. – No. 27. – P. 192–197. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.755>
- 29 Tleubayev A., Bobojonov I., Gagalyuk T., Glauben T. Business group affiliation and financial performance in agriculture // *J. East Eur. Manag. Stud.* – 2022. – Vol. 27. – No. 2. – P. 280–310. <https://doi.org/10.5771/0949-6181-2022-2-280>
- 30 Trianni V. Robot swarms for precision agriculture // *Consiglio Nazionale Delle Ricerche*. – 2016. URL: <https://www.cnr.it/it/comunicato-stampa/7077/robot-swarms-for-precision-agriculture>

31 Tripicchio P., Satler M., Dabisias G., Ruffaldi E., Avizzano C.A. Towards smart farming with drones // Proc. 2015 International Conference on Intelligent Environments. – 2015. – P. 140–143. <https://doi.org/10.1109/ie.2015.29>

32 Tsirtsakis P., Zacharis G., Maraslidis G.S., Fragulis G.F. Deep learning for object recognition: review // Int. J. Cogn. Comput. Eng. – 2025. <https://doi.org/10.1016/j.ijcce.2025.01.004>

33 Turyzbekova. What awaits Kazakhstan in a changing climate: expert opinion // Kazpravda. URL: <https://kazpravda.kz/n/chto-zhdet-kazahstan-v-usloviyah-izmenyayushchegosya-klimata-mnenie-eksperta/>

REFERENCES

1 Abibulla, B. Auyil sharuashylyginda energiya tiimdiligini arttyru adisteri // S.Seifullinnin 125 jyldygyna arnalgan «Seifullin oqulary – 15: jastar, gylym, tekhnologiya, jana ideyalar men perspektivalar» atty halyqaralyq gylymi-teoriyalıq konferentsiya materialdary, 2019, pp. 237–239. URL: <https://kazatu.edu.kz/assets/i/science/sf15-energo-124.pdf>

2 Aitkhozhin, S.K., Balkibaeva, A.M., Ramazanova, R.Kh., Ermekov, F.K., Qarsybaeva, Q.A. Qazaqstandagy naqty auyıl sharuashylygy zhubasynyn ekonomikalık bagalaıy. Periodico Tche Quimica, 16 (33), 304–314 (2019). https://doi.org/10.52571/ptq.v16.n33.2019.319_periodico33_pgs_304_314.pdf

3 Alakunova, A. Topyraqty taldaı 1034 somnan: Khemizatsiya departamenti sharuarlarga bagany zhariyalady. Aqparat. 2025. URL: https://aqparat.info/news/2025/01/28/10747876-analiz_pochvy_ot_1034_somov_v_departamen.html

4 Alcolea, J. Auyıl sharuashylygyna arnalgan en zhaksy 10 Vision AI artyqshylyqtary. Ultralitika. 2024. URL: <https://www.ultralitics.com/ru/blog/top-10-benefits-of-using-vision-ai-for-agriculture>

5 Averchenko, D. Tobylıa koktaıgaq bolady: qostanailyqtarga akimdik undeu tastady. QazAqparat. 2025. URL: <https://www.inform.kz/ru/led-budut-vzrivat-na-tobole-k-kostanaytsam-obratilis-v-akimate-7a3228>

6 Belyaeva, E. Shygys Qazaqstan oblysynda qutqarushylar 80 myn sharshy metrdan astam muzdy zharyp zhiberdi. Zakon. 2025, 15 nauryz. URL: <https://www.zakon.kz/sobytiia/6470465-bolee-80-tysyach-kvadratnykh-metrov-lda-vzorvali-spasateli-v-vko.html>

7 Bertocco, M., Cappellazzo, S., Flammini, A., Parvis, M. Multilevel architecture for distributed data collection // Proc. 19th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (IMTC/2002). 2003. <https://doi.org/10.1109/imtc.2002.1007138>

8 Budikharto, V., Chovanda, A., Gunavan, A.S., Irwansyah, E., Suroso, J.S. Review and progress of autonomous UAVs, delivery and GIS in agriculture. Proc. 2nd World Symposium on Communication Engineering (WSCE), 2019, pp. 205–209. <https://doi.org/10.1109/wsce49000.2019.9041004>

9 Carbone, C., Garibaldi, O., Kurt, Z. Swarm robotics as a solution for crop monitoring in precision agriculture. KnE Engineering, 3(1), 552 (2018). <https://doi.org/10.18502/keg.v3i1.1459>

10 Debichka, M., Dzhamroz, E., Bekier, Dzh., Chvielg-Piasetska, I., Kokovich, A. Turmystyk qatty qaldyqtar kompostynyn topyraqtagy fosfor formalaryna aseri. Agronomy. 13(5), 1234 (2023). <https://doi.org/10.3390/agronomy13051234>

11 Demush, R. Kompiyterlik korudin (zhane konvolyutsiyalyk neironıdyq zhelerdin) qysqasha tarıkhy. HackerNoon. 2019. URL: <https://hackernoon.com/a-brief-history-of-computer-vision-and-convolutional-neural-networks-8fe8aacc79f3>

12 Dilip, M.R., Navanet, A.V., Ullagaddi, S., Danti, A. Auyılsharuashylyq drondarynyn turleri men qoldanylyuin zertteu zhane taldaı. Proc. 5th Int. Conf. on Research in Computational Intelligence and Communication Networks (ICRCICN), 2020, pp. 181–185. <https://doi.org/10.1109/icrcicn50933.2020.9296195>

13 Doroshkevich, G. Qazaqstandyq azamat fermasyn cifrlıq zhiyige aınaldyryp, zhetistikke zhetti. Sandyk biznes. 2025, 19 nauryz. URL: <https://digitalbusiness.kz/2025-03-19/kazahstanets-sdelal-svoe-fermerskoe-hozyaystvo-tsifrovim-i-preuspel-vot-ego-istoriya/>

14 Egorova, N. Auyıl sharuashylygyndagy shagyn kasipkerlikтин maseleleri. Koncept, 48–51 (2016). URL: <https://e-koncept.ru/2017/770431.htm>

15 Ferreira, C.S., Seifollahi-Aghmiuni, S., Destouni, G., Ghajarnia, N., Kalantari, Z. Soil degradation in the European Mediterranean region: processes, status and consequences. Science of the Total Environment, 805, 150106 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150106>

- 16 Furtak, K., Wolinska, A. Impact of extreme weather events on soil moisture, soil quality and agriculture as a consequence of climate change – a review. *CATENA*, 231, 107378 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107378>
- 17 Gabdualieva, R., Melekova, A., Zhakupova, A., Bazarova, B. Qazaqstannyn auyl sharuashylygy salasyn cifrlandyru. *BIO Web of Conferences*, 82, 05038 (2024). <https://doi.org/10.1051/bioconf/20248205038>
- 18 Grigoruk, V.V., Akimbekova, Ch.U., Klimov, E.V. *Organikalyk auyl sharuashylygyn institutsionaldyq zhane ekonomikalq yntalandyru: sholu, derekter zhane engizu boynsha usynystar*. LEM Publishing, 2024. 72 p.
- 19 Gonsales-Dugo, V., Zarko-Tezhada, P., Nikolas, E., Nortes, P.A., Alarkon, Dzh.Zh., Intrigliolo, D.S., Fereres, E. UAV thermography to assess water status variability in five fruit tree species in a commercial orchard. *Precision Agriculture*, 14 (6), 660–678 (2013). <https://doi.org/10.1007/s11119-013-9322-9>
- 20 Groover, P.M. Automation and robotics in manufacturing applications. *Encyclopedia Britannica*. 2025, 12 March. URL: <https://www.britannica.com/technology/automation/Manufacturing-applications-of-automation-and-robotics>
- 21 Rekhman, V.U., Kundkhar, M.A., Afridi, S.K., Albasha, L., Smaili, I.Kh., Tuti, E., Audiya, M., Zakhruni, V., Makharik, I., Akhmed, M. The role of 5G networks in transforming agriculture for sustainable development: a comprehensive review. *Energy Nexus*, 100368 (2025). <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2025.100368>
- 22 Ruiz, J., Torres, E., Villarreal, E. Design and construction of a mobile robot with regenerative braking in DC motors. *Int. Journal of Materials Science and Engineering*, 2(1), 6–9 (2014). <https://doi.org/10.12720/ijmse.2.1.6-9>
- 23 Seidalieva, U., Ilipbaeva, L., Taisarieva, K., Smailov, N., Matson, E.T. Drondardy anyqtau zhane zhiktelu adisterindegi zhetistikter men qyndyqtar: zamanayı sholu. *Sensors*, 24(1), 125 (2023). <https://doi.org/10.3390/s24010125>
- 24 Shi, S., Zhu, L., Luo, Z., Qiu, H. Quantitative analysis of climatic and anthropogenic factors contribution to net primary productivity change, China. *Remote Sensing*, 15(3), 789 (2023). <https://doi.org/10.3390/rs15030789>
- 25 Silverberg, B.D. Lasers, drones and AI: the future of weed control. *BBC News*. 2023. URL: <https://www.bbc.com/news/business-64742513>
- 26 Steidl, V., Bamber, J.L., Zhu, X.X. Physics-informed machine learning for glacier ice thickness estimation: case study of Svalbard. *The Cryosphere*, 19 (2), 645–661. <https://doi.org/10.5194/tc-19-645-2025>
- 27 Striklend, S. Making the 5G precision agriculture connection. *Ericsson Blog*. 2022. URL: <https://www.ericsson.com/en/blog/north-america/2022/making-the-5g-precision-agriculture-connection>
- 28 Tkacik, M., Brezina, A., Jadlovska, S. Design of a modular mobile robot platform prototype. *IFAC-PapersOnLine*, 52(27), 192–197 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.755>
- 29 Tileubaev, A., Bobozhonov, I., Gagalyuk, T., Glauben, T. The relevance and financial performance of business groups in the agrarian sector of transition economies: the case of Russian agroholdings. *Journal of East European Management Studies*, 27(2), 280–310 (2022). <https://doi.org/10.5771/0949-6181-2022-2-280>
- 30 Trianni, V. Robot swarms for precision agriculture. *Consiglio Nazionale Delle Ricerche*. 2016. URL: <https://www.cnr.it/it/comunicato-stampa/7077/robot-swarms-for-precision-agriculture>
- 31 Tripicchio, P., Satler, M., Dabisias, G., Ruffaldi, E., Avizzano, C.A. Towards smart agriculture and sustainable farming with drones. *Proc. Int. Conf. on Intelligent Environments* (Prague, Czech Republic). 2015, pp. 140–143. <https://doi.org/10.1109/ie.2015.29>
- 32 Tsirtsakis, P., Zacharis, G., Maraslidis, G.S., Fragulis, G.F. Deep learning for object recognition: a comprehensive review on models and algorithms. *Int. Journal of Cognitive Computing in Engineering*. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.ijcce.2025.01.004>
- 33 Turysbekova Qubylmaly klimatra Qazaqstandy ne kutip tur: sarapshylardyn pikiri. *Kazpravda*. URL: <https://kazpravda.kz/n/chto-zhdet-kazakhstan-v-usloviyah-izmenyayushchegosya-klimata-mnenie-eksperta/>

^{1*}**Yussupov R.V.,**

Master's student, ORCID ID: 0009-0004-9953-6514,

*e-mail r_yussupov@kbtu.kz

^{1,2}**Kulbekova S.A.,**

MSc, ORCID ID: 0000-0003-1059-7800,

e-mail: kulbekovasholpan@gmail.com

¹**Amanzholova R.S.,**

MSc, ORCID ID: 0000-0001-9129-1074,

e-mail: r.amanzholova@kbtu.kz

¹**Sagin J.,**

PhD, Professor, ORCID ID: 0000-0002-0386-888X,

e-mail: j.sagin@kbtu.kz

¹Kazakh-British Technical University (КБТУ), Almaty, Kazakhstan

²LLP “National Scientific Center for Seismological Observations and Research”
of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan

MOBILE SENSORS FARM SUPPORT

Abstract

Agriculture is becoming increasingly demanding due to climate change challenges, necessitating continuous monitoring and changes, including soil assessment for precision agricultural requirements. Agricultural soils are heavily utilized by farmers through the application of pesticides and nitrate phosphates to enhance yield. The exacerbation of flood-drought conditions is resulting in soil irregularity, necessitating meticulous soil monitoring at each location. Soil monitoring is prohibitively costly for numerous farmers. To address this issue, the implementation of a compact, energy-efficient, low-cost mobile robotic platform equipped with various sensors for soil monitoring would be prudent. Farmers can remotely manage, analyze surface upper soil strata, and examine topography. The relevance to research activities and active recreation may result in a low cost for a series of behaviors that enhance comprehension of the examined environmental details. The specialized three-wheeled mobility platform is a novel apparatus engineered for autonomous navigation and task execution. The robot's three-wheel design confers exceptional mobility and stability, enabling effective operation in restricted areas and across various terrains. It is outfitted with sensors and a control system that guarantees accurate navigational control and obstacle evasion. The programming and modification features enable the robot to be tailored for specialized functions, including data collecting, small load transfer, and environmental monitoring. The robot is applicable for educational, scientific, industrial, and domestic uses. Consequently, the three-wheeled mobile robot serves as a versatile and promising platform for the advancement of contemporary robotic systems.

Keywords: precision farming, robotic systems, methods, interdisciplinary, future monitoring.

^{1*}Юсупов Р.В.,

магистрант, ORCID ID: 0009-0004-9953-6514,

*e-mail: r_yussupov@kbtu.kz

^{1,2}Кулбекова Ш.А.,

магистр, ORCID ID: 0000-0003-1059-7800,

e-mail: kulbekovasholpan@gmail.com

¹Аманжолова Р.Ш.,

магистр, ORCID ID: 0000-0001-9129-1074,

e-mail: r.amanzholova@kbtu.kz

¹Сагин Ж.М.,

PhD, профессор, ORCID ID: 0000-0002-0386-888X

e-mail: j.sagin@kbtu.kz

¹Казахстанско-Британский технический университет, г. Алматы, Казахстан

²ТОО «Национальный научный центр сейсмологических наблюдений и исследований»

МЧС РК, г. Алматы, Казахстан

МОБИЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ФЕРМЕРСТВА

Аннотация

Сельское хозяйство становится все более требовательным к проблемам изменения климата, требующим постоянного мониторинга и адаптации, включая мониторинг почвы для точных сельскохозяйственных нужд. Сельскохозяйственные почвы интенсивно используются фермерами для повышения производительности, которые вносят пестициды и нитрат-фосфаты. Также обостряются проблемы наводнений и засух, это приводит к неровностям почвы, что требует надлежащего мониторинга почвы на каждом участке. Мониторинг почвы обходится многим фермерам очень дорого. Для решения этой проблемы целесообразно использовать небольшую энергоэффективную и недорогую мобильную роботизированную платформу с различными типами датчиков для мониторинга почвы. Фермеры смогут управлять удаленно, исследовать верхние слои почвы и рельеф. Возможность применения в рамках исследовательских задач и активного отдыха может обусловить низкую стоимость целого комплекса действий, обеспечивающих понимание деталей исследуемой среды. Специализированная трехколесная мобильная платформа представляет собой инновационное устройство, предназначенное для автономного передвижения и выполнения различных задач. Благодаря использованию трех колес робот обладает высокой маневренностью и устойчивостью, что позволяет ему эффективно работать в ограниченном пространстве и на различных поверхностях. Робот оснащен датчиками и системой управления, обеспечивающей точное управление навигацией и обход препятствий. Возможности программирования и настройки позволяют адаптировать робота под конкретные задачи, такие как сбор данных, транспортировка небольших грузов, мониторинг окружающей среды и т.д. Робот может использоваться в образовательных целях, научных исследованиях, а также в промышленности и быту. Таким образом, трехколесный мобильный робот представляет собой многофункциональную и перспективную платформу для разработки современных робототехнических систем.

Ключевые слова: точное земледелие, роботизированные системы, методы, междисциплинарный, будущее, мониторинг.

Мақаланың редакцияға түскен күні: 23.09.2025