

## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

## PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 1, Number 335 (2021), 97 – 106

<https://doi.org/10.32014/2021.2518-1726.14>

ӨОЖ 621.372.632:621.365.5

А. Ж. Сағындықова, Н. С. Бекмуратова, А. Б. Дүйсенова

Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Қазақстан.

E-mail: a.sagyndikova@aucs.kz

**АСТЫҚТЫ КЕПТІРУДІҢ  
ҚАРҚЫНДЫ ЭНЕРГИЯ ҮНЕМДЕУ ӘДІСІ**

**Аннотация.** Астықты кептіру және ылғалды жою әдісі әзірленді, ол термодинамика теңдеуімен сипатталған пайда болатын жылу процестерін алуға және өңдеуге негізделген. Бұл әдіс аз зерттелген және жоғары қуатты жиілік түрлендіргішін (бірнеше жүз киловаттқа дейін) және жиілікті (бірнеше жүз кГц-ке дейін) өндіру технологиясының айтарлықтай жетілмегендігіне байланысты аз қолданылған. Бірақ қазіргі уақытта индукциялық жылытуға арналған жабдық дамып келе жатыр және оны дәстүрлі қыздыру әдістерімен салыстырғанда кептіру қондырғыларында қолдану жақсырақ. Астықты кептірудің ұсынылған индукциялық әдісі, онда астық материалы кептіру білігі арқылы ауырлық күші арқылы өтеді. Тәжірибелік зерттеулер жүргізу үшін транзисторлы – тиристорлы құрылғы жасалды, ол басқару блогынан, жиілік түрлендіргіштен, бет шнегі геликоидты шамактан, индуктор орамасынан, ылғал өлшегіштен тұрады. Деректерді алу және өңдеу алгоритмі MATLAB бағдарламалық ортасында жасалды. Жиіліктің одан әрі жоғарылауымен шығын коэффициенті өзгермейді, сондықтан біздің құрылғы ГГц диапазонында жұмыс істейтінін ескере отырып, шығын коэффициенті тұрақты болады, яғни 0,6 тең. Сондықтан астық ылғалдылығының шығын коэффициентіне әсерін зерттеген кезде жиілік өлшеу дәлдігіне әсер етпейді деп сеніммен айта аламыз. Алынған жылу мөлшері, дәнді ішіндегі ылғал оның ылғалдылығының жоғарылауымен ериді. Алғаш рет инженерлік мағынада алынған Максвелл формуласы ылғалмен алынған астықтың жылуын есептеуге жарамды болды. Барлық қондырғының өзіндік құнын төмендету қарапайым индукциялық жылытқыштарды әзірлеуге және енгізуге жүгінуді талап етеді, бұл өзекті мәселе.

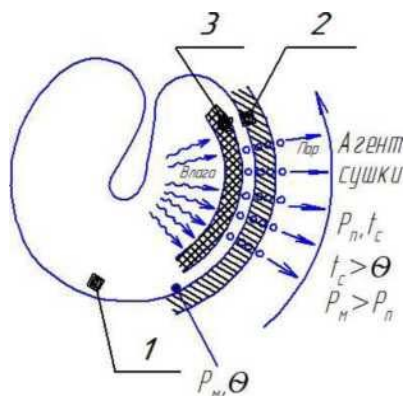
**Түйін сөздер:** астықты кептіру, электромагниттік индукция, шығарылатын жылу мөлшері, Максвелл формуласы.

Фазалық өзгерістер болған кезде жылу және электромагниттік толқындармен сәулелену процестерінде, ыстық беттермен, астықты кептіру теориясының негізі – қыздырылған газдармен әрекеттесу кезінде жылу мен ылғалдың берілу заңдылықтарына негізделген [3].

Астықты кептіру процесі, кез-келген дымқыл материалдар сияқты, тек термофизикалық ғана емес, сонымен қатар ылғалдың материалмен байланыс формасы шешуші рөл атқаратын технологиялық процесс. Астықты кептіру процесін зерттеу материал ішіндегі ылғалдың қозғалу құбылыстарын, будың пайда болуын және ылғал буларының астық бетінен қоршаған ауаға таралуын қарастырумен шектелуі мүмкін. Бұл процесс негізінен кептіру процесінің механизмін ашады. Астықты кептіру, жылыту және салқындату – бұл астықтың температурасы мен ылғалдылығының, сондай-ақ уақыт өте келе жылу мен ылғал ағындарының тығыздығының өзгеруімен бірге жүретін процестер. Астықта кептіру кезінде температура мен ылғалдың градиенті пайда болады, оның әсерінен дән ішіндегі жылу мен ылғал ауысады, жылу және көлемдік кернеулер пайда болады.

Жалпы жағдайда, кептіру кезінде астықтан ылғалды кетіру механизмі схемалық түрде келесідей ұсынылуы мүмкін (1-сурет).

Белгілі бір параметрлері бар кептіру агенті дымқыл дән бетінде қозғалады. Кептіру агентінен жылу конвективті түрде дымқыл дәнге беріледі; оның беті қызады және бетіндегі ылғалдың бір бөлігі буланып кетеді. Нәтижесінде, дәннің қалыңдығында ылғалдылық, температура мен қысым айырмашылықтары пайда болады, оның әсерінен ылғал үнемі буланып кететін жерге жеткізіледі.



1-сурет – Астықты кептіру кезіндегі ылғалды жою тетігінің схемасы:  
1 – дәнi; 2 – шекаралық қабат;  
3 – булану аймағы

Бу молекулалары шекара қабаты арқылы таралады және кептіру агентімен сінеді. Астық бетінен ылғалды кетіру процесінің міндетті шарты – оның бетіндегі  $p_m$  және  $p_n$  кептіру агентіндегі ішінара қысым арасындағы айырмашылықтың болуы.

Ылғал дән бетінен буланбайды, бірақ дәннің шеткі бөлігінде орналасқан 3-ші аймақтан буланады. Сонымен қатар, бұл аймақтың жағдайы өзгеріссіз қалады: ол біртіндеп ішіне жылжиды (тереңдейді). Булану аймағын тереңдетудің басталуын көптеген зерттеушілер астықтан байланысты ылғалды кетірудің басталуымен байланыстырады. Булану аймағын тереңдету кезінде дәнді беті құрғаған, қорғаныс факторы жоқ, сондықтан оны жоғары температураға дейін қыздыруға болады.

Жылу мен ылғалдың берілуінің күшеюі кептіруді тездетуге ықпал етеді, бірақ кернеудің жоғарылауы астық сапасының нашарлауына әкелуі мүмкін-жарықтардың пайда болуы,

жарылу, дәнді дақылдардың шығуының төмендеуі және т.б. сондықтан кептірудің оңтайлы режимін орнату маңызды [4].

Астықты кептіру кезінде жылу беру жылу берудің жалпы заңдарына бағынады және оның ерекше жағдайы болып табылады. Теориялық негізі үшін қызмет етеді бір теориясы жылумасса-алмасу. Негізінде бұл теория процестер жылу тасымалдау және ылғал астық сипатталуы мүмкін аналитикалық. Мұндай сипаттама кез-келген уақытта кез-келген астықтың немесе астық қабатының температурасы мен ылғалдылығын анықтауға, олардың градиенттері мен уақыт өзгерісін табуға, жылу мен ылғал ағындарының тығыздығын есептеуге, осы процестердің одан әрі дамуын болжауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, астық пен астық қабатындағы процестерді математикалық сипаттау кезінде белгілі бір қиындықтар туындайды, өйткені астық құрылымы мен құрамы жағынан гетерогенді. Нәтижесінде астықтың әртүрлі бөліктері әртүрлі өткізгіштікке ие және анизотропты қасиеттерге ие, яғни әртүрлі бағыттардағы әртүрлі өткізгіштік.

Кептірілген дәннің ішіндегі ылғалдың жалпы түрде қозғалу заңын (1) келесі қатынас арқылы білдіруге болады:

$$i = k\nabla\Pi, \quad (1)$$

мұнда  $i$  – ылғал ағынының тығыздығы;  $k$  – материалдың физикохимиялық қасиеттеріне байланысты ылғал берудің кинетикалық коэффициенті (пропорционалдылық коэффициенті);  $\nabla\Pi$  – ылғал беру потенциалының градиенті (процестің қозғаушы күші).

Ылғал өткізгіштік және жылу – ылғал өткізгіштік құбылыстарын ескере отырып, ішкі ылғалдың берілуінің негізгі заңын келесідей жазуға болады:

$$i = i_u + i_T = -kp_0\nabla u - k\rho_0\nabla T, \quad (2)$$

$$i = -k\rho_0(\nabla u - \nabla T), \quad (3)$$

мұнда  $i$ ,  $i_u$  және  $i_T$  – ылғал ағынының тығыздығына сәйкес, ылғал концентрациясының градиенті мен температура градиентінің әсерінен туындаған жалпы,  $\text{кг}/(\text{м}^2\cdot\text{сағ})$ ;  $k$  – материалдың ылғал өткізгіштік коэффициенті,  $\text{м}^2/\text{сағ}$ ;  $\delta$  – материалдың өткізгіштік коэффициенті,  $\text{град}^{-1}$ ;  $\rho_0$  – мүлдем құрғақ материалдың тығыздығы,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\nabla u$  – ылғал концентрациясының градиенті,  $\text{кг}/(\text{құрғақ зат кг})$ ,  $\nabla T$  – температура градиенті,  $\text{град}/\text{м}$ .

Жылу-ылғал өткізгіштік коэффициенті  $\delta = \nabla u / \nabla T$  температура градиентінде денеде ылғал концентрациясының қандай градиенті пайда болатындығын көрсетеді 1 град./м. Формулалардағы "-" белгісі (2, 3) мұны көрсетеді  $i_u$  и  $i_T$  бір бағытқа  $\nabla u$  және  $\nabla T$  қарама-қарсы жағына жіберілді [5].

Егер ылғал концентрациясының градиенті  $\nabla u$  және температура градиенті  $\nabla T$  қарама-қарсы бағытта бағытталған болса, материалдың сыртқы қабаттарының ылғалдылығы ішкі қабаттарға қарағанда аз (және температура керісінше), онда  $\nabla u$  және  $\nabla T$  формулаларда (2,3) қарама-қарсы белгілер болады, ал ылғалдың жалпы ағымының бағыты ылғалдың қарқынды ағынын тудыратын

градиентпен анықталады. Ылғал ағынының бағыты көбінесе ылғал концентрациясының градиентімен анықталады, температура градиенті материал ішіндегі ылғалдың ылғалды қабаттардан аз ылғалды қабаттарға ауысуына қосымша қарсылық тудырады. Бұл құбылыс, мысалы, кептірудің конвективті әдісімен байқалады.

Жылу берудің байланыс әдісімен температура градиенті негізгі болып табылады және кептіру процесінің негізгі сипаттамасы.

Инфрақызыл сәулелермен кептірудің радиациялық әдісімен ылғал мен жылу өткізгіштігі де әртүрлі бағытта бағытталған, бірақ кептіру процесі басқаша жүреді. Кептірудің бастапқы кезеңінде материалдың бетін тез және қатты қыздыруға байланысты жылу ылғал өткізгіштігі ылғал өткізгіштікке қарағанда анағұрлым қарқынды, сондықтан ылғал жылу ағымы бағытында қозғалады. Ылғалдың концентрация градиентінің жоғарылауын тудыратын ылғалдың бетінен орталыққа ауысуы ылғалдың өткізгіштігінің "ингибиторлық" әсерін біртіндеп арттырады және, сайып келгенде, тепе-теңдік күйіне әкеледі-жылу өткізгіштік толығымен ылғал өткізгіштікпен теңестіріледі. Осы сәттен бастап Орталық қабаттардың ылғалдылығы тұрақты болып қалады, ал кептіру булану аймағын біртіндеп тереңдете отырып, материалдан ылғалдың булануы арқылы жүреді.

Жоғары жиілікті токтармен электрлік кептіру әдісімен (жылу ағыны материалдың ішкі қабаттарынан бетіне қарай жылжиды) температура градиенті мен ылғал концентрациясының градиенті бір бағытта бағытталған, сондықтан ылғал мен жылу өткізгіштікке байланысты ылғал ағындары сәйкес келеді, бұл кептіру жылдамдығының едәуір артуына әкеледі.

Кез-келген материалдың жылу қасиеттері оның жылу физикалық сипаттамалары бойынша анықталады: нақты жылу сыйымдылығы, жылу өткізгіштік, температура өткізгіштігі және жылу сіңіру коэффициенті (жылу белсенділігі).

Осылайша, астықты кептіру процесінде астық беті мен қоршаған орта арасында жылу-ылғал алмасу, сондай-ақ оның ішіндегі жылу мен ылғалдың қозғалысы жүреді. Сыртқы ылғал алмасу астық бетіндегі және қоршаған ортадағы будың ішінара қысымының айырмашылығына байланысты. Астықтың ішкі қабаттарынан ылғалдың бетіне ауысуы оның құрылымы мен қасиеттеріне байланысты, бұл өз кезегінде ылғалдың астықпен байланыс формаларына байланысты. Ішкі қабаттардан ылғал, әдетте, жылу ағынымен бір уақытта немесе көбінесе кері бағытта оның бетіне ауысады. Жылу-ылғал алмасу заңдылықтарын біле отырып, астықты кептірудің жоғары сапалы процесін осы процестің минималды энергия шығындарымен қамтамасыз етуге болады. Қазақстанда астық өндірісін арттыру астықты сақтау технологиясын дамытпай және жетілдірісіз мүмкін емес.

Астық дайындау жағдайларының өзгеруіне, оның элеваторлар мен астық қабылдау кәсіпорындарына түсу қарқынының төмендеуіне қарамастан, астықтың едәуір бөлігі әлі де оның сапасына зиянды әсер ететін өте қатаң температуралық режимдерде кептіріледі.

Жалпы мақсаттарға, шығындарды азайтуға және астық сапасын жақсартуға сүйене отырып, астықты кептіру технологиясының тиімділігін арттыру жөніндегі маңызды міндеттерді кептіру объектісі ретінде астық қасиеттерін зерттеуді кеңейте отырып, кептіру процесінің кинетикалық заңдылықтарын орнату, кептірілетін астықтың технологиялық қасиеттерін басқару негіздерін құра отырып, энергия мен ресурстарды үнемдеу әдістерін дамыта отырып, ғылыми негізде ғана сәтті шешуге болады.

Жылу кептіру тірі организм ретінде астықтың бүкіл биологиялық жүйесіне қатты әсер етеді. Өзгерістердің бағыты мен тереңдігі қолданылатын кептіру технологиясына байланысты және оң немесе теріс салдары болуы мүмкін.

Астықты кептіру кинетикасы туралы бытыраңқы әдеби деректер оның технологиялық қасиеттерінің өзгеруіне байланысты емес. Кептіру технологиясының тиімділігін бағалауда кептірілген астық сапасының көрсеткіші көптеген жағдайларда маңызды емес. Кептірудің қолданыстағы температуралық режимдері және кептірудің бір цикліндегі астық ылғалдылығын төмендетудің шекті мәндері кептіру процесінің кинетикасының заңдылықтарына байланысты қатаң реттеледі. Астықты жылыту және кептіру жылдамдықтарының өзара байланысының сандық сипаттамалары жоқ. Кептіру ұзақтығы оны қыздыру жылдамдығын есепке алмай, астық ылғалдылығының берілген төмендеуі негізінде ғана есептеледі. Шахта түріндегі кеңінен қолданылатын кептіргіштерде кептіру кезінде астық қабатының қалыңдығы бойынша біркелкі емес қыздыру туралы деректер жоқ.

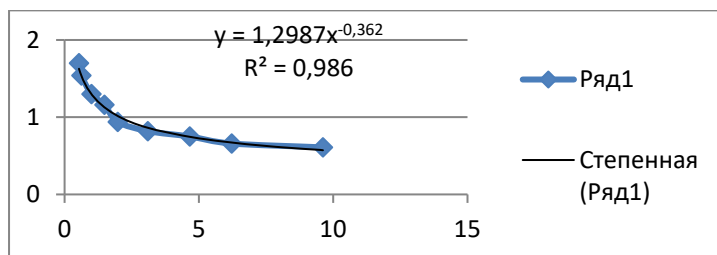
Ауылшаруашылық өндірісінің тәжірибесінде Астықты кептіру процесін күшейту үшін әртүрлі әдістер қолданылады: электроактивті ауаны пайдалану, астықты алдын-ала жылыту, қайта өңдеу

режимдерін қолдану, кептіру аймағын вакуумдау, кептіру камерасының газ құрамын өзгерту және басқалар. Олардың ішінде жақында ультра жоғары жиілікті (микротолқынды) магнит өрісі жиі қолданылады. Біздің елде Астықты кептіру кезінде микротолқынды өрістерді пайдалану тәжірибесі жинақталған. Нәтижесінде ауылшаруашылық кәсіпорындарында қолданылатын қолданыстағы өнеркәсіптік кептіргіштерді жетілдіруге мүмкіндік беретін қондырғылар жасалды. Сондай-ақ, тұқым себу алдындағы өңдеу үшін микротолқынды өрістерді қолдану зерттелді.

Мақала авторлары астықты жоғары жиілікті токтармен кептіру тәжірибелерін жүргізді. Жоғары жиілікті кептіру кезінде жылу беру ультра жоғары (2000–2500 мГц) жиіліктің электр тогының өрісі арқылы жүзеге асырылады, бұл Максвелл теориясының нәтижесі, "электромагниттік индукция жиілігі неғұрлым жоғары болса, соғұрлым қыздырылған денеге жылу тез беріледі". Сондықтан ультра жоғары жиілікті (микротолқынды) токтарды қолдану әлдеқайда тиімді өсімдік тектес ылғалды материалдар диэлектриктер болып табылады және жартылай өткізгіштердің қасиеттеріне ие. Оларға электролит иондары, электрондар, диполь моменттері бар полярлы және полярлы емес диэлектриктердің молекулалары кіреді. Электромагниттік өрісте дипольдер өріс бойымен осьте орналасады. Айнымалы электромагниттік өріске түсіп, олар өрістерді ұстануға тырысып, тербелмелі қозғалыстар жасайды.

**Зерттеу материалдары мен әдістері.** Осы ережелер негізінде астықты кептіру үшін жиіліктің өзгеруін пайдалану бойынша тәжірибе жасалды және жүргізілді. Тәжірибенің мақсаты өзгермелі тәуелсіз факторлармен астықты кептіру қисықтарын алу болды. Астықтың бастапқы ылғалдылығы тәуелсіз факторлар ретінде қабылданды ( $W$ , %), астықтың диэлектрлік тұрақтысы, генератордың жиілігі ( $\omega$ , Гц), шығын коэффициенті.

Болашақта астықтың бастапқы ылғалдылығының жеткілікті жоғары болуына қарамастан, кептіру процестің барлық кезеңінде ылғалдың булану жылдамдығының төмендеуімен, астықтың үнемі өсіп келе жатқан температурасымен жүреді, бұл алынған кептіру қисықтарының сипатында көрінеді, тәжірибе нәтижесінде Excel бағдарламасының көмегімен өңделген әртүрлі жиіліктердегі шығындар коэффициенті арасындағы байланыс алынды (2-сурет).



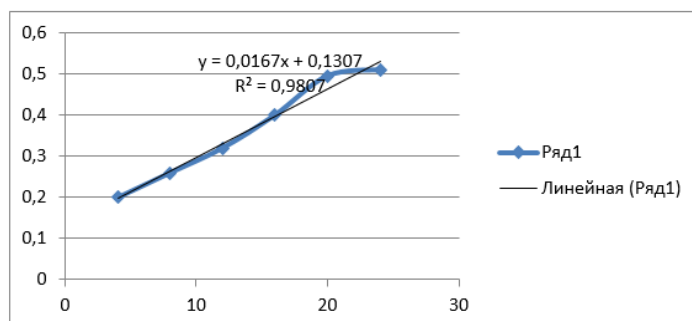
2-сурет – Әр түрлі жиіліктегі шығындар коэффициенті арасындағы байланыс

Ылғал астыққа (12%) әсер ету кезінде шығын коэффициентінің тәуелділігін талдай отырып, оның әртүрлі жиіліктерінде ең алдымен, конкордацияның жоғары коэффициенті 0,986 екенін атап өткен жөн, бұл астық ылғалдылығын жылытуға жұмсалған жиілік пен энергия арасындағы қатаң функционалдық байланысты көрсетеді. Алынған тәуелділікті зерттей отырып, біз 0-ден 120 МГц-ке дейінгі диапазонда бұл қисық монотонды түрде төмендейтінін, содан кейін 0,6 деңгейінде асимптотацияланатынын байқаймыз. Мұнда біз жиіліктің одан әрі жоғарылауымен шығын коэффициенті өзгермейді деген өте маңызды қорытынды алдық, сондықтан біздің құрылғы ГГц диапазонында жұмыс істейтінін ескерсек, шығын коэффициенті тұрақты болады, яғни 0,6. Сондықтан астық ылғалдылығының шығын коэффициентіне әсерін зерттеген кезде жиілік өлшеу дәлдігіне әсер етпейді деп сеніммен айта аламыз. Келесі тәжірибе ылғалдылықтың жоғалу коэффициенті өзгерген кезде жүргізілді, Excel көмегімен өңделген мәліметтер тәжірибе нәтижесінде астықты кептіру қисығы алынды (3-сурет).

Нақты диапазондағы астық ылғалдылығынан шығын коэффициентін 5-тен 25%-ға дейін өзгерту бойынша тәжірибе жүргізу. Біз бұл тәуелділіктің қатаң функционалдық тәуелділікті көрсететін 0,98 конкординг коэффициентімен таза сызықтық екенін көреміз. Бұл функция сызықтық теңдеумен жуықталады

$$k \cdot \text{tg} \sigma = 0,016W + 0,13 \quad (4)$$

осы жерден біз дәнді ішіндегі ылғал алатын жылу мөлшері оның ылғалдылығының жоғарылауымен жоғарылайды. Бұл дымқыл астықты қыздырудың электромагниттік принципінің жоғары тиімділігін көрсетеді-ең алдымен дәннің өзі емес, дәндегі қыздырылған ылғал. Егер кептірудің басқа кез-келген принциптерін қарастыратын болсақ, онда көп бөлігі астықты қосудың сыртқы денелерін жылытуға жұмсалады, бұл биологиялық жағынан мүлдем қажет емес.



3-сурет – Жоғалту коэффициентінің астық ылғалдылығына тәуелділігі

Ақыр соңында, Максвелл формуласын алмастыра отырып, ылғалдылық арқылы шығын коэффициентін жақындатып, біз Максвелл теңдеуінің инженерлік түсіндірмесін аламыз.

Алынған тәуелділіктер нәтижесінде  $1 \text{ м}^3$  материалдан ( $Q$ ) бөлінетін жылу мөлшерін 5 формула бойынша анықтауға болады:

$$Q = 0,555 \cdot E^2 \cdot \omega \cdot (0,13 + 0,016W), \quad (5)$$

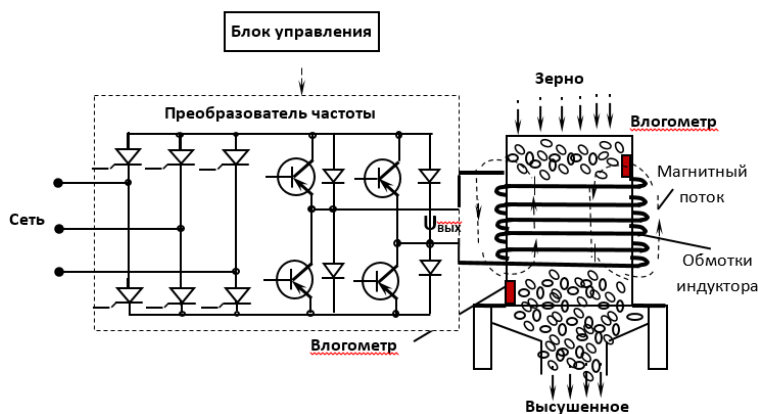
мұнда  $E^2$  – электромагниттік кернеу;  $\omega$  – микротолқынды генератордың жиілігі;  $W$  – астықтың ылғалдылығы.

Үшінші тұжырым: біз алғаш рет инженерлік мағынада қолданылған Максвелл формуласын 3 параметрге байланысты ылғалмен алынған дәннің жылуын есептеу үшін алдық:

- электромагниттік кернеу;
- сәулелену жиілігі;
- астықтың өзіндік ылғалдылығы.

Ұсынылған жұмыс өңделген материалдағы бірнеше көздерден микротолқынды диапазонның электромагниттік өрісінің таралуын зерттеуге бағытталған.

Қолданыстағы технологияларға балама ретінде жоғары жиілікті электромагниттік өрісті пайдалану ұсынылады, ол атмосфераға зияны жоқ, сонымен қатар дәстүрлі әдістердегідей бетіне қарағанда қыздырылған жылудың (дәннің) ішкі бөлігіне тікелей әсер етеді, ал астық ылғалдылығының жоғарылауымен ПӘК артады. Осы мақсатта біз микротолқынды транзисторлы – тиристорлы генераторды ұсынамыз, ол магнетрон генераторынан айырмашылығы жоғары, өйткені магнетрон талшығын қыздыру үшін энергияның көп бөлігі жұмсалмайды (4-сурет).



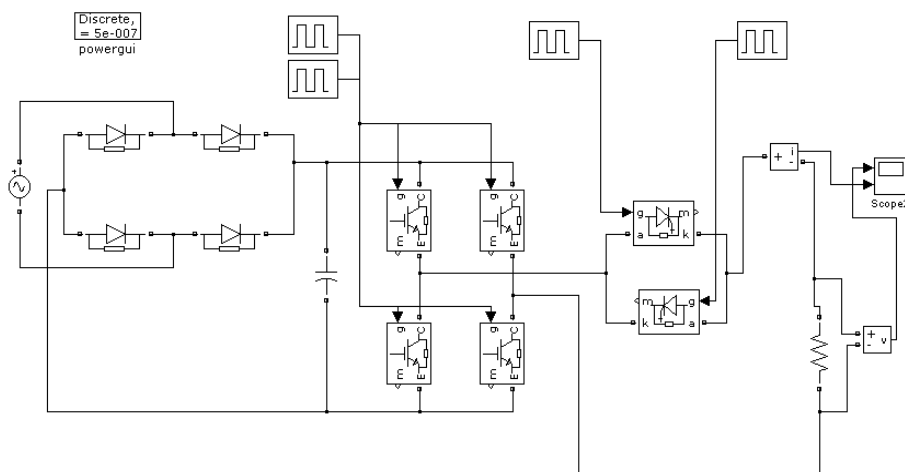
4-сурет 4 – Бет шнегі геликоидальды микротолқынды қондырғының сұлбасы

Астық диэлектриктен цилиндрлік тізбекке геликоидальды бұрандалы бет арқылы беріледі, онда бұранданың көтеру бұрышы әрқашан үйкеліс бұрышының ағымдағы мәніне сәйкес келеді. Мысалы, бірінші кезеңде ылғал астық бұрандалы бетке "жабысып" қалады, содан кейін кебу кезінде үйкеліс коэффициенті төмендейді және астық баяу келесі деңгейге ауысады. Осылайша, осы жұмыс төменгі бөлігінде қажетті ылғалдылық дәні түседі.

Соңғы жылдары техникалық-экономикалық көрсеткіштері жоғары индукциялық жылытқыштар үшін өндірістік жиілікті электр энергиясын түрлендірудің жоғары тиімді және энергияны үнемдейтін жүйелеріне, сондай-ақ өндіруге аз материалдық және қаржылық шығындарға қажеттілік пайда болды [1,2,3].

Түзеткіш пен инвертор жиілік түрлендіргішін білдіреді. Трансформаторды бастапқы тізбекте қолдану бүкіл индукциялық жылытқыштың құнын күрт арттырады, бұл массаның өсуіне әкеледі. Жиілік түрлендіргіштері [4,5] белгілі, онда кернеуді төмендету үшін трансформаторлар қолданылады. Мақсатымыз төмендеткіш трансформатор пайдаланылмайтын жиілік түрлендіргішін құру.

Толық талдау үшін MatLab R12 v. 6.0 ортасында модельдеу жүргізілді, бұл пакет кез-келген күрделіліктегі математикалық есептеулерді шешуге, электрлік және электрондық тізбектердегі процестерді кәсіби талдауға және модельдеуге, өлшеу және тәжірибе нәтижелерін статикалық өндеуге, сонымен қатар графиктерді алуға арналған. Модельдеу кезінде Simulink Library Browser және SIM Power Systems кітапханасы пайдаланылды [6]. 5-суретте таза белсенді жүктеме кезінде бір фазалы транзисторлы – тиристорлы инверторды модельдеу схемасы көрсетілген.

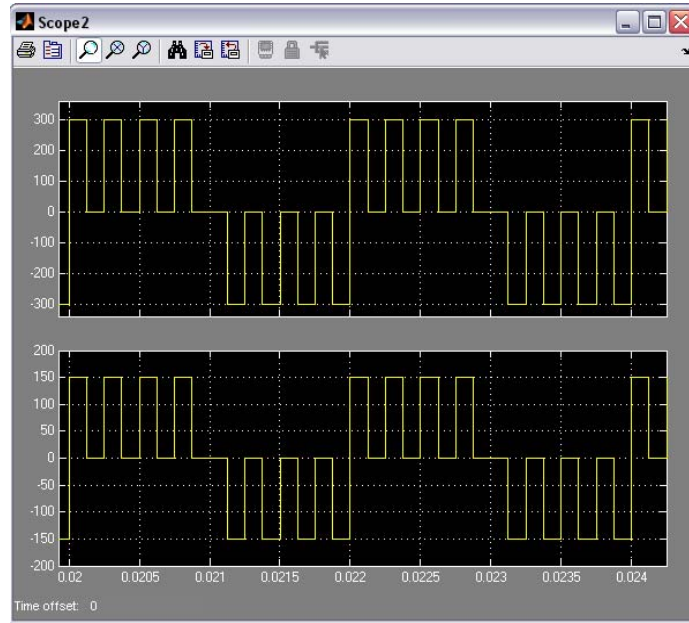


5-сурет – Транзисторлы – тиристорлы түрлендіргіштің жиілігін модельдеу схемасы

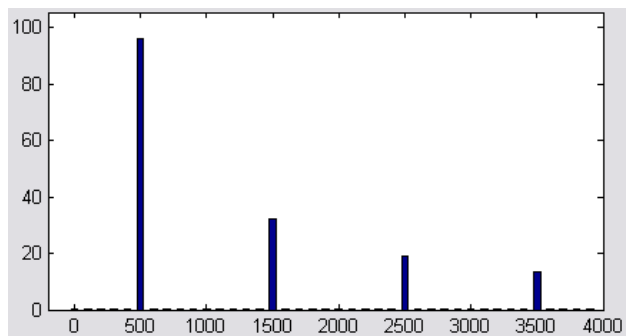
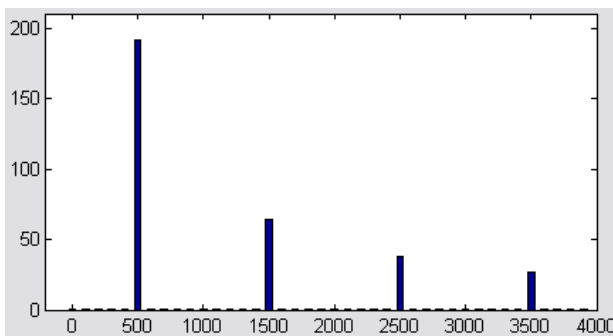
Модельдеу нәтижелері 5-суретте таза белсенді жүктеме кезінде көрсетілген. Суреттен көрініп тұрғандай, таза белсенді жүктеме кезінде жүктемедегі кернеу мен ток айқын көрінеді. Транзистор-тиристор жиілік түрлендіргішінің жұмыс принципі расталады. 6-суретте белсенді индуктивті жүктеме кезінде модельдеу нәтижелері көрсетілген. Суреттен көрініп тұрғандай, жүктемедегі кернеу мен ток айқын көрінбейді және кернеу шығарындылары пайда болады, бұл транзистор – тиристор жиілік түрлендіргішінің жұмысына өте нашар әсер етеді.

7, 8-суретте белсенді индуктивті жүктеме кезіндегі жиілік түрлендіргішінің жүктемесіндегі кернеудің гармоникалық талдауы көрсетілген, бұл 500 Гц негізгі гармоника айқын, ал басқа гармониканың жеткілікті мәні бар екенін көрсетеді.

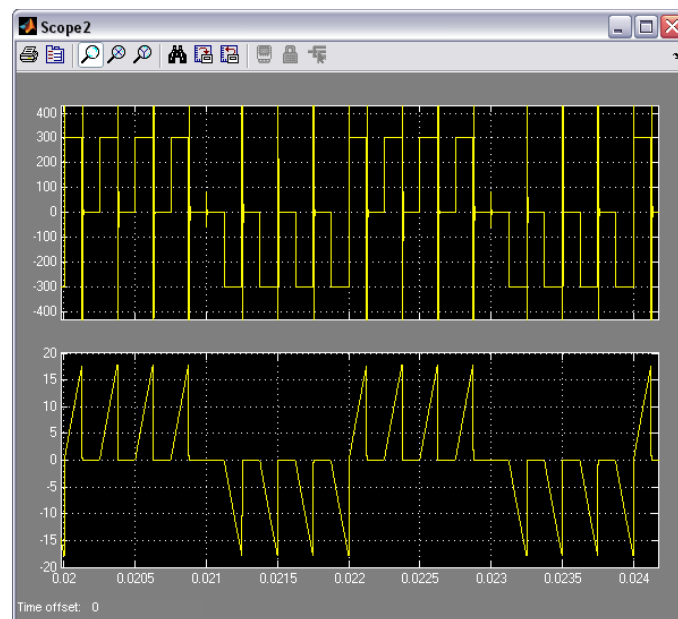
Индукциялық энергияны енгізудің ерекшелігі - құйынды токтардың ағу аймағының кеңістіктік орналасуын реттеу мүмкіндігі. Біріншіден, құйынды токтар индуктор қамтыған аймақта жүреді. Дененің жалпы көлеміне қарамастан индуктормен магниттік байланыста болатын дененің бөлігі ғана қызады. Екіншіден, құйынды токтардың айналым аймағының тереңдігі, демек, энергияның бөліну аймағы, басқа факторлардан басқа, индуктордың ток жиілігіне байланысты (төмен жиіліктерде жоғарылайды және жиіліктің жоғарылауымен төмендейді). Әр процесс үшін (беткі қатаю, қыздыру арқылы) ең жақсы технологиялық және экономикалық көрсеткіштерді қамтамасыз ететін оңтайлы жиілік диапазоны бар. Индукциялық қыздыру үшін 50 Гц-тен 5 МГц-ке дейінгі жиіліктер қолданылады.



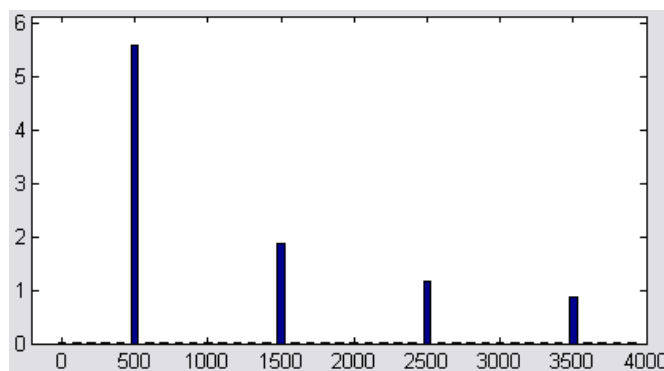
6-сурет – Таза белсенді жүктеме кезінде транзисторлы – тиристорлы жиілік түрлендіргішті модельдеу нәтижелері



7-сурет – Белсенді жүктеме кезіндегі кернеуді (а) және тоқты (б) гармоникалық талдау



8-сурет – Белсенді индуктивті жүктеме кезіндегі жиілік түрлендіргішін модельдеу нәтижелері



9-сурет – Белсенді индуктивті жүктеме кезіндегі токтың гармоникалық талдауы

Индукциялық жылытудың артықшылықтары төменде келтірілген.

1. Электр энергиясын тікелей қыздырылған денеге беру өткізгіш материалдарды тікелей жылытуға мүмкіндік береді. Бұл жағдайда жанама әсер ететін қондырғылармен салыстырғанда қыздыру жылдамдығы артады, онда өнім тек бетінен қызады.

2. Электр энергиясын тікелей қыздырылған денеге беру байланыс құрылғыларын қажет етпейді. Бұл автоматтандырылған өндірістік өндіріс жағдайында, Вакуумдық және қорғаныс құралдарын пайдалану кезінде ыңғайлы.

3. Беттік әсер ету құбылысына байланысты максималды қуат қыздырылған өнімнің беткі қабатында шығарылады. Сондықтан, шындалған кезде индукциялық қыздыру өнімнің беткі қабатын тез қыздыруды қамтамасыз етеді. Бұл салыстырмалы түрде тұтқыр ортада бөліктің бетінің жоғары қаттылығын алуға мүмкіндік береді. Беттік индукциялық сөндіру процесі өнімді қатайтудың басқа әдістеріне қарағанда тезірек және үнемді.

4. Индукциялық қыздыру көп жағдайда өнімділікті арттыруға және еңбек жағдайларын жақсартуға мүмкіндік береді. Индукциялық балқыту пештері, индукциялық пеш немесе құрылғы трансформатордың бір түрі ретінде қарастырылуы болады, онда бастапқы орам (индуктор) айнымалы ток көзіне қосылған, ал екінші орам-қыздырылған дененің өзі болып табылады.

A. Zh. Sagyndykova, N. S. Bekmuratova, A. B. Duisenova

Gumarbek Daukeev Almaty University of Energy and Communications, Kazakhstan

#### INTENSIVE ENERGY SAVING METHOD OF GRAIN DRYING

**Abstract.** The method of drying of grain and removal of moisture which is based on receiving and processing of arising thermal processes described by the thermodynamics equation is developed. This way was a little studied and was less often applied because of considerable imperfection of the production technology of the converter of frequency of big power (to some hundred kilowatts) and frequencies (to some hundred kHz). However, at present the equipment for induction heating gained big development and its application on drying installations in comparison with traditional ways of heating more preferably. Offered induction way of drying of grain where the grain material passes through drying mine by gravity. For carrying out pilot studies, it is developed the transistor–thyristor device, which consists of the control unit, the converter of frequency, the bunker with the screw in it that has helix surface, inductor windings, and a hydrometer. The algorithm of receiving and data processing is developed in the MATLAB software. At further increase in frequency the coefficient of losses won't change, therefore, considering that our device works in GHz range coefficient of losses will be constant, i.e. equal 0,6. Therefore when studying influence of humidity of grain on coefficient of losses we can consider with confidence that frequency doesn't influence the accuracy of measurements. The amount of heat received by moisture in a weevil increases with increase in its humidity. It is a first time when the Maxwell's formula is suitable for calculating a heat taken from grain moisture. Reduction in specific cost of all plants demands the appeal to development and introduction simple on a design of induction heaters that is an actual problem. Agricultural production, unlike other types of production, possesses a



considerable resource – the reserved energy in a biological object. Thus, use of information approach to the description of reactions of biological objects on external influence allows to develop electrotechnologies for increase of productivity, productivity of the grain drying equipment, decrease in power consumption of process of drying of grain.

**Keywords:** grain drying, electromagnetic induction, the amount of generated heat, the Maxwell formula.

**А. Ж. Сагындикова, Н. С. Бекмуратова, А. Б. Дуйсенова**

Алматинский университет энергетики и связи им. Гумарбека Даукеева, Қазақстан

### **ИНТЕНСИВНЫЙ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ МЕТОД СУШКИ ЗЕРНА**

Аннотация. Разработан способ сушки зерна и удаления влаги, который основан на получении и обработке возникающих тепловых процессов, описанных уравнением термодинамики. Этот способ был мало изучен и реже применялся из-за значительного несовершенства технологии производства преобразователя частоты большой мощности (до несколько сотен киловатт) и частоты (до несколько сотен кГц). Но в данное время оборудование для индукционного нагрева получило большое развитие и его применение на сушильных установках по сравнению с традиционными способами нагрева более предпочтительно. Предлагаемый индукционный способ сушки зерна, где зерновой материал проходит через сушильную шахту под действием силы тяжести. Для проведения экспериментальных исследований разработано транзисторно – тиристорное устройство, которое состоит из блока управления, преобразователя частоты, бункера, в котором находится шнек с геликоидной поверхностью, обмотки индуктора, влагомер. Алгоритм получения и обработки данных разработан в среде MATLAB. При дальнейшем увеличении частоты коэффициент потерь не изменится, следовательно, учитывая, что наше устройство работает в ГГц диапазоне, коэффициент потерь будет постоянным, т.е. равным 0,6. Поэтому при изучении влияния влажности зерна на коэффициент потерь мы можем с уверенностью считать, что частота не влияет на точность измерений. Количество тепла, получаемое влагой внутри зерновки, возрастает с увеличением его влажности. Впервые получена прикладная в инженерном смысле, формула Максвелла, пригодная для расчета тепла полученного влагой зерна. Снижение удельной стоимости всей установки требует обращения к разработкам и внедрению простых по конструкции индукционных нагревателей, что является актуальной проблемой.

**Ключевые слова:** сушка зерна, электромагнитная индукция, количество выделяемого тепла, формула Максвелла.

#### **Information about authors:**

Sagyndikova Aigul Zhursinkyzy, Associate Professor of the Department of Energy Supply and Renewable Energy Sources (Gumarbek Daukeev Almaty University of Energy and Communications), Kazakhstan; PhD a.sagyndikova@aes.kz; <https://orcid.org/0000-0001-9988-5694>

Bekmuratova Nurzhama Sarsembaevna, Associate Professor of the Department of Energy Supply and Renewable Energy Sources (Gumarbek Daukeev Almaty University of Energy and Communications), Kazakhstan; N.bekmuratova@aes.kz; <https://orcid.org/0000-0002-6918-9660>

Duisenova Aigerim Bolatovna, Master's degree student of the Department of Energy Supply and Renewable Energy Sources (Gumarbek Daukeev Almaty University of Energy and Communications), Kazakhstan; A.duisenova@aes.kz; <https://orcid.org/0000-0001-7257-7982>

#### **ЛИТЕРАТУРА**

[1] Будников Д.А. Интенсификация сушки зерна активным вентилированием с использованием электромагнитного поля СВЧ: Автореф. ... дис. канд. тех. наук. – Зеленоград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2007. – 16 с.

[2] Курушин А.А., Пластиков А.Н. Проектирование СВЧ устройств в среде CSTMicrowaveStudio. – М.: Издательство МЭИ, 2010. – 160 с.

[3] Лыков А.В., Михайлов Ю.А. Теория переноса энергии и вещества. – Минск: Изд-во Акад. Наук БССР, 1954. – 357 с.

[4] Лыков А.В. Тепло- и массообмен в процессах сушки. Гос- энергоиздат, 1956. 452 с.

[5] Трисвятский Л.А. Хранение зерна. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Колос, 1975. – 400 с.

[6] Barroso J. J. and A. L. de Paula. Retrieval of permittivity and permeability of homogeneous materials from scattering parameters // *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*. – 2010. – Vol. 24, N 11–12. – P. 1563–1574.

[7] Cheng H.P., Dai J., Nemes S., Vijaya Raghavan G.S. Comparison of conventional extraction under reflux conditions and microw ave assisted extraction of oil from popcorn // *Journal of Microwave Power &Electromagnetic Energy*. – 2007. – Vol. 41, N 1. – P. 36–44.

[8] Metaxas A.C., Meredith R. J. *Industrial Microwave Heating*. Peter Peregrinus LTD., IEE, London, UK, 1983.

[9] Ragha L., Mishra S., Ramanchadran V., a.l. Effects of low-power microwave fields on seed germination and growth rate // *Journal of Electromagnetic Analysis and Applications*. – 2011. – Vol. 3, N 5. – P. 165–171.

[10] Soproni V.D., Hathazi F.I., Arion M. N.Aspects regarding the adapting and optimization of mixed drying systems microwave-hot air for the processing of agricultural seeds. – *PIERS Proceedings*, 210–213, Beijing, China, 2009.

## REFERENCES

[1] Budnikov D.A. Intensification of grain drying by active ventilation using the electromagnetic field of the microwave: Author's abstract. ... dis. Cand. those. sciences. Zernograd: FGOU VPO ACHGAA, 2007. 16 p.

[2] Kurushin A.A., Plastikov A.N. *Design of microwave devices in the environment of CSTMicrowaveStudio*. M.: Publishing House of the MEI, 2010. 160 p.

[3] Lykov A.V., Mikhailov Yu.A. *Theory of energy and matter transfer*. Minsk: Izd-vo Akad. of Sciences of the BSSR, 1954. 357 p.

[4] Lykov A.V. *Heat and mass transfer in drying processes*. State-energoizdat, 1956. 452 p.

[5] Travelsky L.A. *Grain Storage*. Ed. 4th, reprint. and additional. M.: Kolos, 1975. 400 p.

[6] Barroso J.J. and A. L. de Paula. Retrieval of permittivity and permeability of homogeneous materials from scattering parameters // *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*. 2010. Vol. 24, N 11–12. P. 1563–1574.

[7] Cheng H.P., Dai J., Nemes S., Vijaya Raghavan G.S. Comparison of conventional extraction under reflux conditions and microw ave assisted extraction of oil from popcorn // *Journal of Microwave Power &Electromagnetic Energy*. 2007. Vol. 41, N 1. P. 36–44.

[8] Metaxas A.C., Meredith R. J. *Industrial Microwave Heating*. Peter Peregrinus LTD., IEE, London, UK, 1983.

[9] Ragha L., Mishra S., Ramanchadran V., a.l. Effects of low-power microwave fields on seed germination and growth rate // *Journal of Electromagnetic Analysis and Applications*. 2011. Vol. 3, N 5. P. 165–171.

[10] Soproni V.D., Hathazi F.I., Arion M. N.Aspects regarding the adapting and optimization of mixed drying systems microwave-hot air for the processing of agricultural seeds. – *PIERS Proceedings*, 210–213, Beijing, China, 2009.