

Е.С. Ильясов<sup>1,2</sup>, Г.Б. Кашаганова<sup>1</sup>, W. Wojcik<sup>3</sup>, Б.Е. Амиргалиев<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Almaty Technological University, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Алматы, Қазақстан

<sup>3</sup>Lublin Polytechnic University, Люблин, Польша

<sup>4</sup>Astana IT University, Астана, Қазақстан

E-mail: guljan\_k70@mail.ru

## БИОМАССА ӨНДІРІСІНДЕ ҚОЛДАНЫЛАТЫН ДАТЧИКТЕР МЕН ІОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН МАҢЫЗЫ МЕН ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

**Аңдатпа.** 2050 жылға қарай әлем халқының саны 9,7 миллиардқа жетеді деп күтілуде, бұл энергия тұтынудың өсуіне ықпал етеді. Биомасса – жаңартылатын энергия көздерінің бірі, оның құрамына ағаш, ауыл шаруашылығы қалдықтары, тұрмыстық қалдықтар және ағынды сулар кіреді. Биомассаны пайдалану қазба отындарына тәуелділікті азайтуға және экологиялық салдарды төмендетуге мүмкіндік береді. 2023 жылы биомассадан өндірілетін электр энергиясы жаңартылатын энергия көздерінің жалпы көлемінің 8%-ын құрады. АҚШ, Қытай, Үндістан, Германия және Италия биомассаны белсенді зерттейтін және пайдаланатын жетекші елдер болып табылады.

Биомассаны түрлендірудің негізгі технологияларына газдандыру, жану, пиролиз, ферментация және анаэробты ашу жатады. Қазақстан үшін жаңартылатын энергия көздеріне көшу маңызды міндет болып табылады, өйткені халық санының өсуі мен экономиканың дамуы энергияға сұранысты арттырады. Ауыл шаруашылығы қалдықтарын пайдалану арқылы Қазақстанның энергетикалық тәуелсіздігін арттыруға және қоршаған ортаға зиянды әсерді азайтуға болады.

Биомасса өндірісінде датчиктерді қолдану үрдістерді бақылау мен оңтайландыруға мүмкіндік береді. Оптикалық, температуралық, газ, ылғалдылық және химиялық датчиктер биомасса өндірісінің тиімділігі мен тұрақтылығын арттырады. Датчиктер жылыжайлар, фотобиореакторлар және су сапасын бақылау жүйелерінде қолданылады. Сымды және сымсыз датчиктерді пайдалану арқылы автоматтандыру деңгейін жоғарылатып, өндірістік үрдістердің тұрақтылығын қамтамасыз етуге болады.

Бұл мақалада биомассаны өндіру және олардан газ, жылу энергиясы, биоотын алу жолдары қарастырылған. Сонымен қатар, биомасса өндірісінде қолданылатын датчиктер мен Іот технологияларының қолдану арқылы негізгі оңтайлы параметрлерін таңдау көрсетілген.

**Түйінді сөздер.** Биомасса, талшықты датчиктер, талшықты температура датчиктері, талшықты Брэгг торлары, термокамералар.

### Кіріспе.

2025 жылдың қаңтарындағы жағдай бойынша, жер халқының саны 8,2 миллиард адамға жетті. Біріккен Ұлттар Ұйымының болжамына сәйкес, бұл көрсеткіш 2050 жылға қарай 9,7 миллиардқа дейін өседі. Халық санының өсуі энергияны тұтынудың артуына алып келуде, әсіресе жер шары халқының басым бөлігі тұратын қалаларда. Биомасса – жаңартылатын энергияның маңызды көзі болып табылады. Ол ағаш, үгінді, сабан, тұқым, көң, қағаз және тұрмыстық қалдықтар, ағынды сулар сияқты әртүрлі материалдарды қамтиды. Биомассаны пайдалану қазба отындарына тәуелділікті азайтуға және экологиялық салдарды төмендетуге ықпал етеді. 2023 жылы биомассадан өндірілетін электр энергиясының үлесі жаңартылатын энергия көздерінің жалпы көлемінің 8%-ын құрады, бұл шамамен 697 ТВт/сағ-қа тең. Биомассаны жаңартылатын энергия көзі ретінде

белсенді зерттеп, қолданатын негізгі елдер қатарына АҚШ, Қытай, Үндістан, Германия және Италия жатады. Бұл саладағы жетекші ғылыми мекемелер – Қытай Ғылым Академиясы, АҚШ-тың Ұлттық жаңартылатын энергия зертханасы, Дания техникалық университеті және Қытайдың Білім министрлігі. Зерттеулер негізінен биомассадан сұйық отын алу технологияларын және оны пайдаланудың басқа да инновациялық әдістерін әзірлеуге бағытталған. Биомасса саласындағы халықаралық ынтымақтастық ғылыми кластерлерді қалыптастырады, олардың орталықтары АҚШ, Үндістан және Ұлыбритания сияқты елдерде орналасқан. Мұндай ынтымақтастық биомассаны жаңартылатын энергия көзі ретінде тиімді пайдалану үшін қажетті білім мен технология алмасуға ықпал етеді. Биомасса – бұл өсімдіктерден (соның ішінде балдырлар, ағаштар және егістік дақылдар) алынатын барлық органикалық материалға арналған жалпы термин. Биомасса жасыл өсімдіктердің фотосинтез арқылы күн сәулесін өсімдік материалына айналдыруы нәтижесінде түзіледі және жердегі, сондай-ақ судағы барлық өсімдіктер мен органикалық қалдықтарды қамтиды [1].

Қазақстанда биомасса жаңартылатын энергия көзі ретінде үлкен маңызға ие. Ол өсімдіктер мен жануарлар қалдықтарын, ауыл шаруашылығы мен орман өнеркәсібінің өнімдерін, сондай-ақ органикалық тұрмыстық қалдықтарды қамтиды және оларды энергия өндіру үшін пайдалануға болады. Елде ауыл шаруашылығы жақсы дамығандықтан, жыл сайын биомассаның үлкен көлемі жинақталады, бұл оны электр және жылу энергиясын өндіруде пайдалануға мүмкіндік береді. Биомассаны жылу электр станцияларында көмірдің орнына пайдалану да маңызды қадам болып табылады. Бұл тәсіл парниктік газдар шығарындыларын азайтып, қоршаған ортаның ластануын төмендетуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, Қазақстанда биоотын өндірісін дамытуға үлкен әлеует бар, өйткені елде майлы дақылдар (рапс, соя, күнбағыс) кең көлемде өсіріледі, бұл биоэтанол мен биодизель өндірудің негізгі шикізат көзі бола алады. Қазақстандық ғалымдар биомассаны қайта өңдеу және оны энергия көзі ретінде пайдалану саласында зерттеулер жүргізуде. Биоотын, биогаз және қатты биологиялық отын (пеллеттер, брикеттер) өндірісін дамыту бойынша жаңа технологиялар енгізілуде. Осылайша, биомассаны тиімді пайдалану Қазақстанның энергетикалық тәуелсіздігін арттырып, экологиялық таза технологияларды енгізуге мүмкіндік береді.

Биомасса Қазақстанда жаңартылатын энергия көздерінің бірі ретінде маңызды орын алады. Ол ауыл шаруашылығы, орман шаруашылығы және өнеркәсіптік қалдықтардан алынатын органикалық материалдардан тұрады. Қазақстанның кең аумақтары мен аграрлық секторының даму деңгейі биомассаны тиімді пайдалану үшін үлкен әлеуетке ие.

Қазақстандағы биомассаның маңызы:

Энергетикалық әлеуеті: биомасса ауыл шаруашылығы қалдықтарынан (сабан, жүгері сабағы, күнбағыс қауызы және т.б.), мал шаруашылығы қалдықтарынан (көң, биогаз), сондай-ақ орман және тамақ өнеркәсібінің қалдықтарынан алынады. Қазақстанның ауыл шаруашылық аймақтарында биомассаны биоотын және биогаз ретінде пайдалану мүмкіндігі бар.

Экологиялық аспектілер: биомассаны пайдалану көміртегі қалдықтарын азайтуға ықпал етеді. Қалдықтарды қайта өңдеу арқылы топырақтың ластануын төмендетуге көмектеседі.

Экономикалық тиімділігі: энергия көздерінің әртүрлілігін қамтамасыз етеді. Ауылдық жерлерде жаңа жұмыс орындарын ашуға ықпал етеді. Биогаз және биологиялық тыңайтқыш өндірісі ауыл шаруашылығының тиімділігін арттыруға көмектеседі.

1) Қолдану салалары:

а) Электр және жылу энергиясы – Биомассадан электр станцияларында немесе қазандықтарда жылу мен энергия өндіруге болады.

б) Биоотын өндірісі – Биодизель, биоэтанол сияқты экологиялық таза отын түрлерін жасауға мүмкіндік бар.

с) Биогаз өндірісі – Мал шаруашылығының қалдықтарынан биогаз өндіру ауылдық аймақтарда энергияға деген қажеттілікті жабуға көмектеседі.

Қазақстанда биомассаны дамыту перспективалары:

а) Мемлекет жаңартылатын энергия көздерін дамытуға ерекше көңіл бөлуде, оның ішінде 2030 жылға дейін жаңартылатын энергияның үлесін 15%-ға дейін арттыру жоспары бар.

б) Ауыл шаруашылығы қалдықтарын кәдеге жарату арқылы биомасса өндірісін арттыруға болады.

с) Биомасса энергиясы көмір мен табиғи газға балама бола алады, әсіресе ауылдық және шалғай аудандарда.

Жалпы, Қазақстанда биомасса жаңартылатын энергия көзі ретінде әлеуетті ресурс болып табылады. Оны дұрыс пайдалану арқылы экономикалық, экологиялық және әлеуметтік пайда алуға болады.

### Материалдар мен тәсілдер.

Биомасса энергиясы әртүрлі технологияларды пайдалану арқылы түрлі мақсаттар үшін әртүрлі формада болуы мүмкін. Ол сұйық, қатты немесе газ тәрізді күйде болуы мүмкін. Биомассаны пайдалану, негізінен, қолданылатын биомасса түріне байланысты әртүрлі биомасса түрлендіру технологиялары арқылы жүзеге асады. Биомассаны түрлендіру және пайдалану технологиялары дәстүрлі немесе жергілікті технологиялардан бастап, озық немесе терең зерттелген технологияларға дейін кең ауқымды қамтиды [2].

Биомассаны түрлендірудің ең кең таралған технологиялары:

1) Газдандыру. 2) Жану. 3) Пиролиз. 4) Ферментация. 5) Анаэробты ашу.

Төменде 1-сурет белгіленген диаграмма биомассаны түрлендіру технологияларының әртүрлі пүрдістерін пайдалы энергия түріне айналдырудың конфигурациясын қысқаша сипаттайды.

Энергия – Қазақстанның экономикалық және әлеуметтік дамуын жеделдетудің маңызды әрі таптырмас факторы. Елдегі халық санының өсуі, урбанизация және өнеркәсіптік сектордың дамуы энергияға деген сұранысты жыл сайын арттырып келеді. Сонымен қатар, қазба отын қорларының сарқылуы және олардың ұзақ мерзімді перспективада қолжетімділігі Қазақстан үшін де өзекті мәселе болып отыр. Экологиялық проблемалар мен климаттың өзгеруіне байланысты төмен эмиссиялық энергетикалық жүйелерге көшу қажеттілігі күн тәртібінде тұр. Қазақстан 2016 жылы Париж келісіміне қосылып, жаһандық температураның көтерілуін 1,5-2 °C деңгейінде шектеу міндеттемесін қабылдады [3].

1 кесте – Биомасса энергиясының артықшылықтары мен кемшіліктері

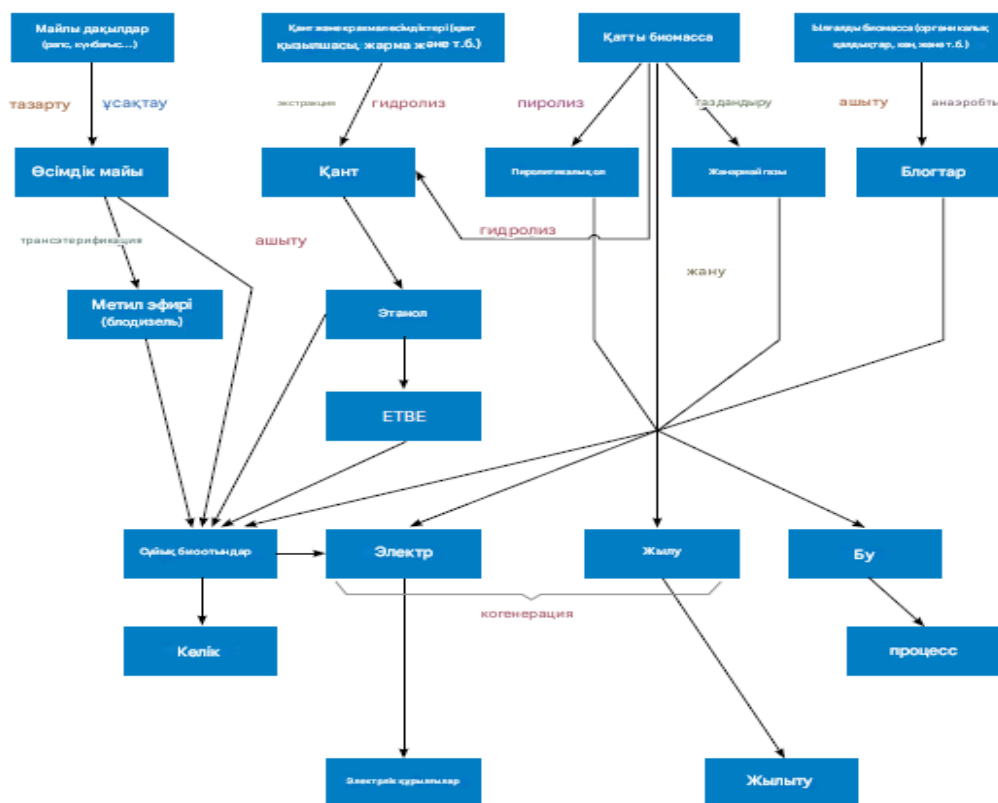
Артықшылықтары	Кемшіліктері
Жаңартылатын ресурс: Биомасса – өсімдіктер, ағаш, органикалық қалдықтар сияқты жаңартылатын энергия көзі.	Жерді пайдалану үшін бәсекелестік: Азық-түлік өндірісімен және табиғи экожүйелермен бәсекелесе алады.
Парниктік газдар шығарындыларын азайту: Биомасса энергиясы көміртегі бейтарап болуы мүмкін.	Ресурстардың тұрақтылығы: Топырақтың тозуы, су ресурстарының сарқылуы сияқты мәселелерге әкелуі мүмкін.
Қалдықтарды басқару: Ауылшаруашылық және тұрмыстық қалдықтарды энергия көзі ретінде пайдалануға мүмкіндік береді.	Қоршаған ортаға әсері: Жану үрдісінде ауаға ластаушы заттар бөлінуі мүмкін.
Әртүрлі қолдану мүмкіндігі: Электр энергиясы, жылу, биодизель, биоэтанол өндіруге жарамды.	Технологиялық және экономикалық қиындықтар: Жоғары күрделі шығындар мен технологиялық шектеулер бар.
Ауылдық аймақтарды дамыту: Жұмыс орындарын	Тасымалдау және сақтау мәселелері: Биомассаның

күру арқылы ауылдық жерлердің дамуына ықпал етеді.

үлкен көлемділігі, ылғалдылығы логистикалық қиындықтар тудырады.

Бұл кесте биомасса энергиясының негізгі артықшылықтары мен кемшіліктерін жүйелі түрде салыстыруға көмектеседі.

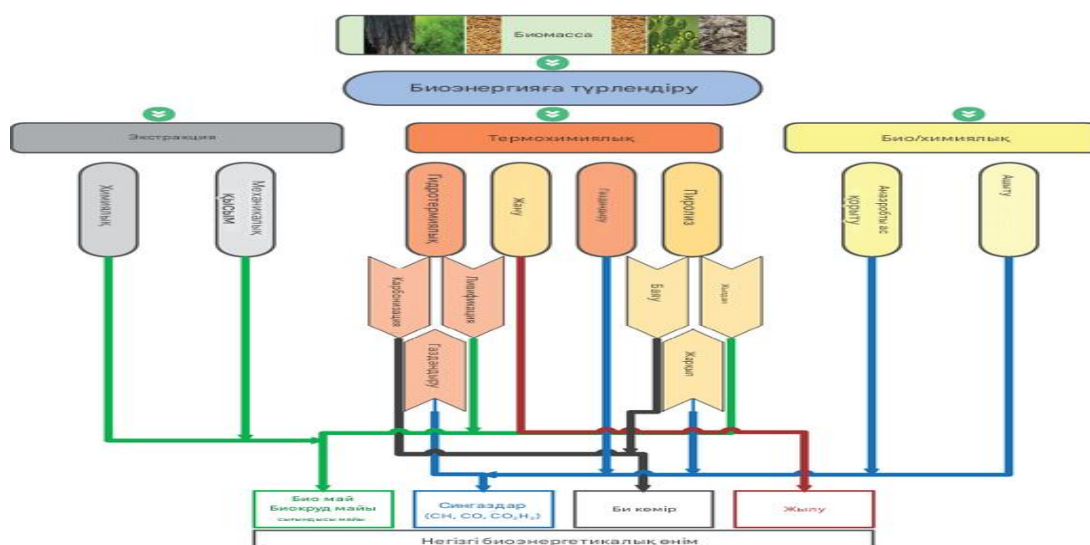
Еліміздің энергетикалық жүйесін трансформациялау және тұрақты даму мақсаттарына қол жеткізу үшін жаңартылатын энергия көздерін, соның ішінде биомассаны қолдану ерекше рөл атқарады. Биомасса – өсімдіктер мен ауыл шаруашылығы қалдықтары арқылы күн энергиясын химиялық энергия түрінде сақтай алатын жаңартылатын және экологиялық таза энергия көзі. Қазақстанның кең аумағы, ауыл шаруашылығы саласының қарқынды дамуы және орман ресурстары биомассаны энергия көзі ретінде тиімді пайдалануға мүмкіндік береді. Биомасса жылу энергиясын, электр энергиясы және көлік отыны сияқты әртүрлі секторларда қолдануға болады. Мысалы, ауыл шаруашылығының қалдықтары мен мал шаруашылығының өнімдері термохимиялық немесе биохимиялық үрдістер арқылы энергия тасымалдаушыларға айналуы мүмкін. Қазақстанда мұндай технологияларды енгізу елдің энергетикалық тәуелсіздігін арттырып қана қоймай, қоршаған ортаға келтірілетін зиянды азайтуға да ықпал етеді. Биомассадан алынатын биоотын – көміртегі бейтараптығы жоғары, қоршаған ортаға зияны төмен энергия көзі, оны елдегі энергия балансына енгізу тұрақты дамуға маңызды қадам болмақ.



1 сурет – Биомасса энергиясын түрлендіруге шолу [2]

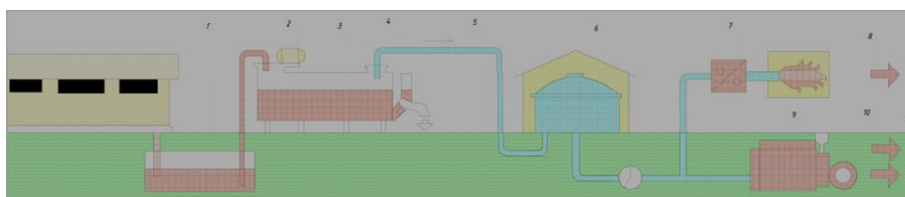
### Нәтижелер және талқылау.

Биомасса өндірісінде датчиктерді пайдалану міндетті және өзекті болып табылады, өйткені олардың үрдістерді бақылау мен оңтайландырудың жоғары деңгейін қамтамасыз ету қабілеті өнімділікті арттырады және шығындарды азайтады. Қазіргі заман өсімдіктердің, су клубтарының немесе өндірістердің, композицияның өсуіне тікелей әсер ететін нақты жағдайларды талап етеді.



2 сурет – Биомасса шикізатынан биоэнергия өндірудің жалпы үрдістері [3]

Біріншіден, датчиктер жарық, температура, ылғалдылық, көмірқышқыл газы мен оттегінің концентрациясы сияқты қоршаған ортаның оңтайлы параметрлерін сақтауға мүмкіндік береді. Бұл факторлар фотосинтез үрдістері мен биомассаның өсу жылдамдығы мен сапасына байланысты адамзаттың дамуы үшін міндетті шарт болып табылады. Екіншіден, дачиктер шығындарды азайтуға және тұрақтылықты арттыруға көмектеседі. Олар параметрлерді дәл өлшеуге мүмкіндік береді, бұл су, энергия немесе тыңайтқыш сияқты ресурстардың артық шығынын азайтуға мүмкіндік береді. Бұл биомассаларды тиімдірек етеді және олардың қоршаған ортаға әсерін азайтады. Тағы бір маңызды аспект – дачиктердің автоматтандыру үрдісіндегі рөлі. Датчиктермен жабдықталған заманауи басқару жүйелері адам факторын азайтуға, басқарудың тұрақтылығы мен дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді. Мысалы, IoT жүйелеріне қосылған сымсыз дачиктер уақыттың бірінші сәтінде негізгі көрсеткіштерді бақылауға және шарттардың өзгеруіне жедел жауап беруге мүмкіндік береді. Биомасса өндірісінде қолданылатын дачиктерді өлшенетін параметр түріне, жұмыс принципіне, қолдану аймағына және қосылу әдісіне қарай жіктеуге болады. Олар үрдістердің тиімділігі мен тұрақтылығына әсер ететін негізгі параметрлерді басқаруды қамтамасыз етеді.



3 сурет – Қорадағы биогазды қайта өңдеу технологиясы

3 - суреттегі сұлбада: 1 - ауыл шаруашылығы жануарларының қалдықтарын сақтауға арналған резервуар (көң); 2 - өңдеуге көң беретін фекальды сорғы; 3 - қазан (реактор), шикізатты бөлшектеу және ашыту үрдісі; 4 - өңделген шикізатты шығаруды қамтамасыз ететін элемент; 5 - ағызу құбыры; 6 - газ ұстағыш, биогаз батареясы; 7 – газды жылу энергиясына түрлендіретін газ генераторының жұмысы кезінде (газ оттығы). Заманауи биотехнология метанның экологиялық жағдайға зиянды әсерін бейтараптандыру үшін ғана емес, адам игілігі үшін де, сонымен қатар айтарлықтай экономикалық пайда алу үшін де жұмыс істейді.

2 кесте – Биомасса өндірісіндегі датчиктердің жіктелуі

Жіктеу түрі	Датчиктердің мысалдары	Қолдану
Өлшенетін параметрлер	Оптикалық, температуралық	Жарықты, температураны, $CO_2$ деңгейін бақылау
Әрекет принципі	Оптикалық, электрохимиялық	Жарықты, қоршаған ортаның химиялық құрамын өлшеу
Қолдану саласы	Жылыжайлар, фотобиореакторлар	Өсімдіктердің немесе микробалдырлардың өсу жағдайларын бақылау
Қосылу әдісі	Сымды, сымсыз	Автоматтандыру жүйелеріне қосылу

Датчиктердің негізгі түрлеріне оптикалық, температура, газ, ылғалдылық, деңгей және химиялық датчиктер жатады. Оптикалық датчиктер жарықтың қарқындылығын, толқын ұзындығын және ортаның мөлдірлігін өлшейді. Температура датчиктері биомассаның өсуі үшін маңызды температура режимін басқаруға мүмкіндік береді. Газ датчиктері фотосинтезге және тыныс алуға қажетті көмірқышқыл газы мен оттегінің концентрациясын бекітеді. Ылғалдылық датчиктері ауадағы немесе ортадағы ылғал деңгейін өлшейді, ал деңгей датчиктері контейнерлердегі сұйықтық мөлшерін бақылайды. Химиялық датчиктер үрдіс үшін маңызды қоректік заттардың, рН және басқа заттардың мазмұнын талдайды.

Әрекет принципі бойынша датчиктер оптикалық, электрохимиялық, ультрадыбыстық, сыйымдылық және жылу болып бөлінеді. Оптикалық датчиктер өлшеу үшін жарықты пайдаланады, электрохимиялық заттар ортадағы химиялық өзгерістерге жауап береді. Ультрадыбыстық датчиктер дыбыстық толқындардың көмегімен жұмыс істейді, ал сыйымдылықтар сыйымдылықтың өзгеруін жазады. Жылу датчиктері температураны жылу кедергісі арқылы өлшейді. Датчиктер жылыжайларда, фотобиореакторларда, су сапасын бақылау жүйелерінде және үрдістерді автоматтандыруда қолданылады. Жылыжайларда олар өсімдіктердің өсуі үшін маңызды болып табылатын жарықты, ылғалдылықты, температураны және  $CO_2$  бақылауын қамтамасыз етеді. Фотобиореакторларда датчиктер жарықты, ортаның мөлдірлігін және газ алмасуды бақылайды. Судың сапасын бақылау жүйелерінде олар лайлану мен химиялық заттардың концентрациясын жазады. Автоматтандырылған жүйелер үрдістерді бақылау және басқару үшін әртүрлі датчиктердің тіркесімін пайдаланады.

Қосылу әдісі бойынша датчиктер сымды және сымсыз болып бөлінеді. Сымды датчиктер басқару жүйелеріне кабельдер арқылы қосылады, ал сымсыз деректер үшін Wi-Fi, Bluetooth немесе IoT пайдаланады. Әртүрлі датчиктерді қолдану барлық үрдістердегі дәл бақылауға мүмкіндік береді, бұл биомасса өндірісін тиімдірек және үнемді етеді. Осы мақсатта ең қолайлы ол талшықты датчиктерді (ТД) пайдалану болып табылады. Талшықты датчиктер электронды құрылғыларға қарағанда бірқатар артықшылықтарға ие. Оптикалық талшықтарды сезімтал элементтер ретінде пайдаланудың арқасында электромагниттік өрістермен ді, жанама электромагниттік сәулеленуді, арналардың айқаспалы кедергілерін өлшеу нәтижесіне әсер етпейді, жерге тұйықталу тізбектерімен және гетерогенді өткізгіштердің түйіскен жерлеріндегі кернеулерімен байланысты мәселелер жоқ, электр қауіпсіздігі айтарлықтай артады. Талшықты датчиктер қоршаған ортаның зиянды әсеріне жоғары төзімділікке ие; шағын өлшемдер мен салмақ; жоғары механикалық беріктік; жоғары температураға, дірілге және т.б. төзімділік; деректерді берудің жоғары жылдамдығы. Сонымен қатар, талшықты датчиктер абсолютті жарылыс қауіпсіздігіне байланысты жарылғыш ортада қолданыла алады. Олар химиялық инертті, қарапайым дизайны және жоғары сенімділігі бар.

Толқын ұзындығына негізделген датчиктердің ең кең таралғаны – талшықты Брэгг торы. Талшықты Брэгг торлары (ТБТ) бірмодалы оптикалық талшықтың өзек бөлігінде сыну көрсеткішінің периодты өзгеруін жасау арқылы қалыптастырылады. Сыну көрсеткішінің бұл периодты өзгеруі әдетте талшықтың өзек бөлігіне ультракүлгін сәулеленудің қарқынды интерференциялық үлгісін әсер ету арқылы жасалады. Осылайша тудырылған сыну көрсеткішінің өзгеруі тор ретінде әрекет ететін интерференциялық үлгіні құрайды.

1970-жылдардан бастап, алғашқы талшықты Брэгг торы пайда болғаннан кейін, ТБТ негізіндегі датчиктері зерттеушілердің қызығушылығын оятып, тез даму кезеңіне енді. Дәстүрлі электрлік датчиктермен салыстырғанда, оптикалық талшықты датчиктер кішігірім өлшемі, электромагниттік кедергілерге төзімділігі, коррозияға төзімділігі және үлестірілген өлшеу сипаттамалары сияқты артықшылықтарға ие. ТБТ негізіндегі датчиктері дәстүрлі Талшықты датчиктер артықшылықтарын сақтап қана қоймай, сонымен қатар абсолютті өлшеу, мультиплекстеу, төмен шығындар және қарапайым өндірістік орау сияқты артықшылықтарға қол жеткізе алады. Сондықтан ТБТ негізіндегі датчиктері мұнай-газ сейсмикалық барлауында, аэроғарыш саласында, геологияда, көлік өнеркәсібінде, гидротехникада, энергетика жүйелерінде, машина жасау, агроөнеркәсібінде және басқа да салаларда кеңінен қолданылады. Қазіргі уақытта әртүрлі инженерлік және азаматтық құрылыстардың жағдайын мониторингілеуге ерекше көңіл бөлінуде, бұл талшықты Брэгг торы (ТБТ) негізіндегі датчиктер арқылы оңай жүзеге асырылады. ТБТ өзіндік негізгі функцияларын шағылыстыру, дисперсиялау және сүзгілеу арқылы орындай алады, бұл сенсорлық қолданбаларда оңай пайдаланылады. Ультракүлгін (УК) сәулесін сіңіру үрдісі, талшықтың өзегінің сыну көрсеткішін өзгертетін фотосезімталдық деп аталады, бұл ТБТ қалыптастырады. Тор түріне байланысты ТБТ біркелкі, ұзын, чирпирленген, көлбеу немесе фазалық ығысуы бар болуы мүмкін, ол оптикалық талшықтың өзегі ішінде сыну көрсеткішінің периодтық өзгерісін қамтиды.

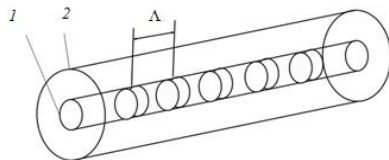
ТБТ оптикалық талшықтың өзегі компоненттерінің сыну көрсеткіші модуляциясына белгілі бір өзгерістер енгізу арқылы қалыптасады, бұл дифракциялық тор принципіне негізделген. Оптикалық талшық ішіндегі мұндай торлы құрылым арқылы жарық сигналы жіберілгенде, жарықтың бір бөлігі тордың әрбір жазықтығынан шағылысады. 5- суретте талшықты Брэгг торларының сұлбасы көрсетілген. Шағылысқан жарықтың әрбір бөлігі бірігіп, біртұтас шағылысқан жарық сәулесін құрайды, бұл тек Брэгг шарты орындалған жағдайда мүмкін болады, ол мына теңдеумен сипатталады:

$$\lambda_B = 2 n_{eff} \Lambda, \quad (1)$$

мұндағы:  $\Lambda$  – тордың периоды, тордың көршілес жазықтықтары арасындағы қашықтықты анықтайды;  $n_{eff}$  – талшықтың өзегінің тиімді сыну көрсеткіші;  $\lambda_B$  – Брэгг толқын ұзындығы.

ТБТ негізіндегі датчиктердің жұмыс принципі 6-суретте көрсетілген, онда Брэгг толқын ұзындығына жақын орталық толқын ұзындығы бар кең жолақты жарық көзі (мысалы, жарықдиод) оптикалық талшыққа түседі. Жарық тор арқылы таралады, және сигналдың бір бөлігі Брэгг толқын ұзындығында шағылысады. Қосымша бөлікте жалпы таратылған сигналдан сигналдың шағын бөлігі алынып тасталатыны көрсетілген. Бұл Брэгг торының тиімді оптикалық сүзгі екенін айқын көрсетеді. Талшықты Брэгг торының құрылымы сыну көрсеткішінің мәндеріне немесе тордың периодына байланысты өзгеруі мүмкін. Тор периоды бірдей немесе өзгермелі болуы мүмкін, сонымен қатар ол суперқұрылым шегінде локализацияланған немесе үлестірілген болуы мүмкін. Қалыптасқан торларға байланысты талшықты Брэгг торлары: біркелкі Брэгг торлары, чирпирленген Брэгг торлары, көлбеу Брэгг торлары, аподизацияланған, ұзынпериодты торлар, фазалық ығысуы бар Брэгг торлары немесе суперқұрылымды Брэгг торлары болуы мүмкін. Бұл торлар әдетте кремнийге негізделген талшықтарға енгізіледі, бірақ ТБТ

микроқұрылымды оптикалық талшықтарға енгізу бойынша көптеген зерттеулер жүргізілді, нәтижесінде микроқұрылымды ТБТ немесе полимерлік ТБТ қалыптастырылды, олар сенсорлық қолданбаларды жақсарту үшін бірегей мүмкіндіктерді ұсына алады.



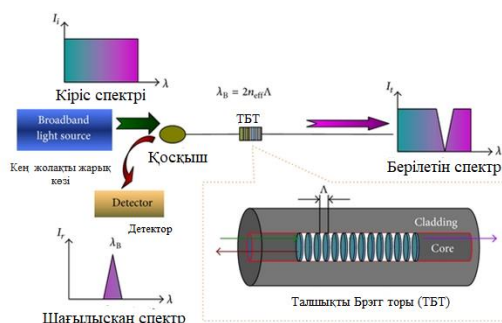
1 – талшықтық жарықөткізгіштің фотосезімталдық өзегі; 2 – кварцтік қоршау;  
 $\Lambda$  – торлар периоды.

5 сурет –Талшықты Брэгг торларының сұлбасы

Ары қарай ТБТ негізіндегі датчиктерді қолдана отырып, биомасса температурасын бақылауды қарастырамыз. ТБТ негізіндегі талшықты датчиктер биомассамен байланысты үрдістерде температураны өлшеу үшін өте қолайлы болатын бірқатар артықшылықтарға ие. Біріншіден, олар технологиялық параметрлерді бақылау үшін өте маңызды болып табылатын жоғары дәлдіктегі өлшеулерді қамтамасыз етеді. Екіншіден, ТБТ сыртқы әсерлерге, мысалы, электромагниттік шашыратқыларға, коррозияға және агрессивті орталарға төзімді, бұл оларды биомассаны газдандыру немесе жағу сияқты күрделі жағдайларда пайдалануға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, олардың кішігірім өлшемдері және икемділігі датчиктерді газ генераторлары немесе реакторлар сияқты күрделі жүйелерге оңай интеграциялауға мүмкіндік береді. ТБТ көп арналылығы бір оптикалық талшықта бірнеше торларды орналастыруға мүмкіндік береді, бұл бір уақытта бірнеше нүктеде температураны өлшеуге мүмкіндік береді, ал олардың ұзақ мерзімділігі және төмен қызмет көрсету талаптары оларды экономикалық тиімді шешім етеді.

ТБТ биомассамен байланысты әртүрлі үрдістерде кеңінен қолданылады. Мысалы, биомассаны газдандыру кезінде газ генераторындағы температураны бақылау үрдісін оңтайландыру және жоғары калориялы газ алу үшін маңызды фактор болып табылады. Датчиктер реактор ішінде орнатылып, нақты уақыт режимінде температуралық профильді бақылауға мүмкіндік береді, бұл үрдіс параметрлерін оперативті түрде реттеуге мүмкіндік береді. Биомассаны жағу жүйелерінде температураны дәл өлшеу үрдіс тиімділігін арттыруға, зиянды заттардың шығарындыларын азайтуға және энергия шығынын минимизациялауға көмектеседі. Сонымен қатар, ТБТ биомассаны сақтау қоймаларында немесе оны кептіру үрдісінде температураны бақылау үшін пайдаланылуы мүмкін, бұл өздігінен тұтанудың алдын алу және шикізатты біркелкі өңдеу үшін өте маңызды. Биомассаның газ генераторындағы температураны өлшеу үшін ТБТ негізіндегі талшықты датчиктерді реактордың әртүрлі деңгейлеріне орнатуға болады. Температура деректері оптикалық талшық арқылы спектрометр немесе арнайы бағдарламалық құрал арқылы талданатын деректерді жинау жүйесіне беріледі. Бұл ауа беру жылдамдығы немесе қыздыру температурасы сияқты үрдіс параметрлерін жылдам реттеуге мүмкіндік береді. ТБТ негізделген талшықты температура датчигі оптикалық талшықта белгілі бір толқын ұзындығын шағылыстыру құбылысын пайдаланады. ТБТ– бұл оптикалық талшықтың өзекше бөлігіндегі сыну көрсеткішінің периодтық модуляциясы. Талшық арқылы жарық өткенде, тор периодына және материалдың сыну көрсеткішіне байланысты белгілі бір толқын ұзындығын (Брэгг толқын ұзындығы,  $\lambda_B$ ) шағылыстырады.





6 сурет – ТБТ негізіндегі датчиктердің жұмыс принципі

Биомассаның температурасының өзгеруі оптикалық талшықтың термиялық кеңеюіне және сыну көрсеткішінің өзгеруіне әкеледі, нәтижесінде Брэгг торның периоды мен шағылыстыру қасиеттері өзгереді. Бұл өзгерістер толқын ұзындығының ығысуына әкеліп, температураны дәл өлшеуге мүмкіндік береді. Бұл өзгерістер Брэгг толқын ұзындығының ( $\Delta\lambda_B$ ) ығысуына әкеледі, ол температураның өзгеруіне ( $\Delta T$ ) пропорционалды болады. Бұл тәуелділік мына формуламен сипатталады:

$$\Delta\lambda_B = \alpha \cdot \Delta T, \quad (2)$$

мұндағы  $\alpha$  — температураға сезімталдық коэффициенті (стандартты талшықты торлар үшін әдетте 10–12 пм/°С шамасында).

ТБТ негізіндегі талшықты датчик өлшеу аймағына, мысалы, газ генераторының ішіне немесе тікелей биомасса қабатына орнатылады, мұнда ол реактор қабырғаларына бекітіледі немесе шикізатпен тікелей байланыстыру үшін интеграцияланады. Биомасса температурасы өзгерген кезде оптикалық талшыққа термиялық әсер етіледі, нәтижесінде Брэгг толқын ұзындығының ығысуы туындайды, ол кең жолақты жарық көзі мен спектрометр немесе интерферометр арқылы тіркеледі. Алынған деректер оптикалық талшық арқылы интеррогаторға жіберіледі, онда толқын ұзындығының ығысуы калибрлеу қисығы арқылы температура мәніне түрленеді, бұл үрдісті жедел түрде бақылауға және реттеуге мүмкіндік береді. Механикалық зақымданудан және қауіпті ортадан қорғау үшін талшық термотұрқты қабықшаға, мысалы, болаттан жасалған қорғаныс қабықшасына орналастырылуы мүмкін, бұл экстремалды жағдайларда датчиктердің ұзақ мерзімді және сенімді жұмыс істеуін қамтамасыз етеді. 7 суретте биомасса параметрлерін өлшеуге арнылған құрылғының жалпы сұлбасы келтірілген.



7 сурет – Өртүрлі параметрлерді өлшеуге арналған ТБТ негізіндегі талшықты датчик жалпылама конфигурациясы

Биомасса температурасын өлшеуге арналған құрылғы келесі негізгі компоненттерден тұрады:

1) Интеррогатор (оптикалық анализатор). Талшықты датчиктерден алынған сигналдарды өңдеу және талдау арналған. Интеррогатор талшық арқылы жіберілген жарықтың шағылысу спектрін талдайды және толқын ұзындығының ығысуын анықтайды. Желілік жылдамдық: 1–10 Гц (өлшеу жиілігі). Шығу деңгейі: Сандық сигнал (температура мәндері). 2) ТБТ негізіндегі талшықты датчик. Реактор ішіндегі

температураны, қысымды, деформация ылғалдылық, газ құрамы және тағы басқа параметрлерді нақты өлшеуге арналған. Ол жарықтың белгілі бір толқын ұзындығын шағылыстырады. Температура өзгерген кезде торлық периоды және сыну көрсеткіші өзгереді, нәтижесінде шағылысқан жарықтың толқын ұзындығы ығысады. Бір талшықта бірнеше тор орнатуға болады. Масылға температура диапазоны:  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ -тан  $+800\text{ }^{\circ}\text{C}$ -қа дейін (жоғары температураларға арналған арнайы қабықшалармен). 3) Бақылау бағдарламалық құрылғы. Алынған деректерді сақтау, визуализациялау және талдау. Интеррогатордан алынған сигналдар компьютерге беріледі, онда арнайы бағдарламалық қамтамасыз ету деректерді өңдейді және графиктер түрінде көрсетеді. Бағдарламалық қамтамасыз ету: MATLAB, LabVIEW немесе арнайы дамытылған бағдарламалар.

Биомасса параметрлерін өлшеу үшін бұл құрылғыға қосымша:

1) Реактор (газ генераторы немесе печь) Биомассаны газдандыру, жағу немесе пиролиз үрдістерін жүргізу. Биомасса реактор ішінде әртүрлі температуралық аймақтардан өтеді: кептіру ( $100\text{--}200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), пиролиз ( $200\text{--}600\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) және газдандыру/жағу ( $600\text{--}1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Температура диапазоны:  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ -тан  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ -қа дейін. Қысым: 1–2 бар (атмосфералық қысымнан жоғары емес). Биомасса түрі: Ағаш қалдықтары, ауылшаруашылық қалдықтары, торф және т.б. 2) Кең жолақты жарық көзі. Оптикалық талшық арқылы жарықты жіберу. Жарық көзі оптикалық талшыққа кең спектрлі жарықты жібереді, ол ТБТ өзара әрекеттеседі. Толқын ұзындығы диапазоны: 1500–1600 нм (инфрақызыл аймақ). Қуаты: 10–20 мВт. 3) Биомассаны жіберу жүйесі. Биомассаны реакторға бірқалыпты жіберу. Биомасса бункерден шнектық немесе конвейерлік жүйе арқылы реакторға жіберіледі. Жіберу жылдамдығы: 1–10 кг/сағ. Биомасса ылғалдылығы: 10–20%. 4) Ауа жіберу жүйесі. Реакторға ауаны жіберу (газдандыру немесе жағу үшін). Компрессор немесе желдеткіш арқылы ауа реакторға бірқалыпты жіберіледі. Ауа ағыны жылдамдығы: 1–5 м<sup>3</sup>/сағ. Қысым: 1–1,5 бар.

Талшықты температура датчигімен қосымша ылғалдық, қысым, газ және химиялық датчиктер қолданылады.

### **Қорытынды.**

Қазақстан үшін биомассаны жаңартылатын энергия көзі ретінде кеңінен пайдалану – елдің энергетикалық қауіпсіздігін нығайту мен экологиялық тұрақтылығын қамтамасыз етудің маңызды қадамы болып табылады. Ауыл шаруашылығы қалдықтарын энергияға айналдыру технологияларын енгізу арқылы елдің қазба отындарына тәуелділігі төмендеп, жасыл экономикаға көшуге жол ашылады.

Биомассаны өндіру және өңдеу үрдістерінде датчиктер мен IoT технологияларын қолдану өндіріс тиімділігін арттыруға, ресурстарды оңтайлы пайдалануға және экологиялық әсерді азайтуға мүмкіндік береді. Заманауи датчиктер технологиялар биомассаны түрлендіру үрдістерінде нақты бақылауға, параметрлерді үздіксіз қадағалауға және деректерді автоматты түрде өңдеуге жағдай жасайды. Жарық, температура, газ құрамы, ылғалдылық және химиялық құрамды бақылайтын датчиктер өсімдіктердің, балдырлардың және басқа да органикалық шикізаттардың өсуін оңтайландыруда маңызды рөл атқарады. Сонымен қатар, сымды және сымсыз датчиктер жүйелердің үйлесімді қолданылуы өндірістік үрдістерді толықтай автоматтандыруға және басқарудың тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Талшықты датчиктерді биомасса өндіру саласында пайдалану ең тиімді құрал болып табылатыны мінсіз. ТБТ негізіндегі талшықты датчиктер биомассамен байланысты үрдісте, олардың параметрлерін жоғары дәлдікпен өлшеуге мүмкіндік береді. Олар технологиялық үрдістердің тиімділігін және қауіпсіздігін арттыруға, сонымен қатар эксплуатациялық шығындарды азайтуға ықпал етеді. ТБТ негізіндегі талшықты датчиктер автоматизация жүйелері мен Заттар интернеті (IoT) жүйелерімен біріктіруге болады, бұл деректерді қашықтан бақылауға және нақты уақыт режимінде талдауға мүмкіндік береді. Бұл биомассаны өңдеу үрдістерін

басқарудың «ақылды» жүйелерін құруға мүмкіндік береді, онда температура, қысым және басқа параметрлер туралы деректер қондырғының жұмысын оңтайландыру үшін пайдаланылады. Бұл технологиялар өндірістік шығындарды төмендетуге, үрдістердің тұрақтылығын қамтамасыз етуге және Қазақстанда жаңартылатын энергия көздерін дамытуға маңызды үлес қосады. Биомасса параметрлерін толығырақ анықтауға, талдауға және талшықты датчиктердің оңтайлы параметрлерін таңдауға тағы зерттеулер жалғасын алады.

## ӘДЕБИЕТТЕР

[1] Miguel-Angel Perea-Moreno, Esther Samerón-Man, Esther Samerón-Man/ Biomass as Renewable Energy: Worldwide Research Trends. - 2019, 11(3), 863

[2] Apotei Kusi Gabriel / Biomass as an alternative source of energy in Ghana: - School of Technology.2019. – 88p.

[3] Alireza Shafizadeh and Payam Danesh / Biomass and Energy Production: Thermochemical Methods. – Egypt, - 2022. – 322

[4] Кашаганова Г.Б. Көлбеу талшықты брэгг торларына негізделген талшықты датчиктердің негізгі параметрлерін және оларға сыртқы факторлардың әсерін зерттеу. ҚазККА Хабаршысы № 4 (123), 2022

## REFERENCES\*

[4] Kashaganova G.B. Kөлbeu talshyqty brjegg torlaryna negizdelgen talshyqty datchikterdin negizgi parametrlerin zhәне olarға syrtykы faktorlardyң әserin zertteu. KazKKA Habarshysy № 4 (123), 2022

**Gulzhan Kashaganova**, PhD, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, guljan\_k70@mail.ru

**Yerzhan Ilyassov**, doctoral student, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, ilyassov.yerzhan@mail.ru

**Waldemar Wojcik**, doctor of technical sciences, professor, Lublin Polytechnic University, Lublin, Poland, waldemar.wojcik@pollub.pl

**Beibut Amirgaliyev**, candidate of technical sciences, professor, Astana IT University, Astana, Kazakhstan, beibut.amirgaliyev@aitu.edu.kz

## IMPORTANCE AND FEATURES OF SENSORS AND IOT TECHNOLOGIES USED IN BIOMASS PRODUCTION

**Abstract.** The world population is expected to reach 9.7 billion by 2050, which will contribute to an increase in energy consumption. Biomass is one of the renewable energy sources, which includes wood, agricultural waste, household waste and wastewater. The use of biomass can reduce dependence on fossil fuels and reduce environmental consequences. In 2023, electricity generated from biomass accounted for 8% of the total amount of renewable energy sources. The United States, China, India, Germany and Italy are the leading countries that actively study and use biomass.

The main biomass conversion technologies include gasification, combustion, pyrolysis, fermentation and anaerobic disclosure. For Kazakhstan, the transition to renewable energy sources is an important task, as population growth and economic development increase energy demand. Through the use of agricultural waste, it is possible to increase the energy independence of Kazakhstan and reduce the harmful impact on the environment.

The use of sensors in biomass production makes it possible to control and optimize processes. Optical, temperature, gas, humidity and Chemical Sensors Increase the efficiency and stability of biomass production. Sensors are used in greenhouses, photobioreactors and water

quality control systems. With the use of wired and wireless sensors, it is possible to increase the level of automation and ensure the stability of production processes.

This article discusses the ways of producing biomass and obtaining gas, thermal energy, biofuels from them. In addition, the selection of the main optimal parameters using sensors and IoT technologies used in the production of biomass is shown.

**Keywords.** Biomass, fiber optic sensors, temperature sensors, Fiber Bragg gratings, thermal cameras.

**Гульжан Кашаганова**, PhD, Almaty Technological University, Алматы, Казахстан, guljan\_k70@mail.ru

**Ержан Ильясов**, докторант, Al-Farabi Kazakh National University, Алматы, Казахстан, ilyassov.yerzhan@mail.ru

**Вальдемар Вуйцик**, д.т.н., профессор, Lublin Polytechnic University, Люблин, Польша, waldemar.wojcik@pollub.pl

**Бейбут Амиргалиев**, к.т.н., профессор, Astana IT University, Астана, Казахстан, beibut.amirgaliyev@aitu.edu.kz

## ЗНАЧЕНИЕ И ОСОБЕННОСТИ ДАТЧИКОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ИОТ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ПРОИЗВОДСТВЕ БИОМАССЫ

**Аннотация.** Ожидается, что к 2050 году население мира достигнет 9,7 миллиарда человек, что будет способствовать увеличению потребления энергии. Биомасса-один из возобновляемых источников энергии, который включает древесину, сельскохозяйственные отходы, бытовые отходы и сточные воды. Использование биомассы может снизить зависимость от ископаемого топлива и снизить экологические последствия. В 2023 году электроэнергия, вырабатываемая из биомассы, составляла 8% от общего объема возобновляемых источников энергии. США, Китай, Индия, Германия и Италия являются ведущими странами, которые активно изучают и используют биомассу.

Основные технологии преобразования биомассы включают газификацию, сжигание, пиролиз, ферментацию и анаэробное открытие. Для Казахстана переход на возобновляемые источники энергии является важной задачей, так как рост населения и развитие экономики повышают спрос на энергию. Используя сельскохозяйственные отходы, можно повысить энергетическую независимость Казахстана и уменьшить вредное воздействие на окружающую среду.

Использование датчиков при производстве биомассы позволяет контролировать и оптимизировать процессы. Оптические, температурные, газовые, влажные и химические датчики повышают эффективность и стабильность производства биомассы. Датчики используются в теплицах, фотобиореакторах и системах контроля качества воды. Используя проводные и беспроводные датчики, можно повысить уровень автоматизации и обеспечить стабильность производственных процессов.

В этой статье рассматриваются способы производства биомассы и получения из нее газа, тепловой энергии, биотоплива. Кроме того, показан выбор основных оптимальных параметров с использованием датчиков и технологий IoT, используемых при производстве биомассы.

**Ключевые слова.** Биомасса, волоконные датчики, датчики температуры, волоконные решетки Брэгга, термокамеры.

\*\*\*\*\*

Редакцияға түсті / Поступила в редакцию / Received 11.09.2024

Жариялауға қабылданды / Принята к публикации / Accepted 11.02.2025