

А.Б. Тасмаганбетов*, PhD, қауымд. профессор¹

Б.С. Есенгельдин, э.ғ.д., профессор²

З.Б. Ахметова, э.ғ.к., қауымд. профессор³

А.М. Сапарғали, э.ғ.м., оқытушы¹

Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан¹

Павлодар педагогикалық университеті

Павлодар қ., Қазақстан²

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық

университеті, Алматы қ., Қазақстан³

* – негізгі автор (хат-хабарларға арналған автор)

e-mail: aslandelo@mail.ru

ҚАЗАҚСТАНДА БИОЭНЕРГИЯНЫ ӨНДІРУДЕ ЗАМАНАУИ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ҚОЛДАНУ БОЛАШАҒЫ

Мақалада биоэнергияны дамыту үшін заманауи технологияларды қолдану мүмкіндіктері мен перспективалары қарастырылған. Авторлар елдегі жаңартылатын энергияның бір түрі ретінде биоэнергетиканың дамуына кедергі келтіретін негізгі проблемаларды анықтады. Бұл проблемалар салыстырмалы экономикалық және нарықтық артықшылықтардың болмауына, технологиялар мен техникалық шектеулерге, қалдықтарды басқарудың нашарлығына, биоэнергияны өндіру процесінің жанама өнімдерін басқаруға байланысты орын алды.

Зерттеу энергия өндіру үшін биомассаны пайдалану тиімділігі бойынша эксперименттер жүргізілді. Бұл эксперименттер екі тәсілдің көмегімен жүзеге асырылды – сапалық және сандық. Сапалы тәсіл биоэнергияны дамыту жөніндегі халықаралық мекемелердің есептерін сипаттамалық және салыстырмалы талдауға негізделген. Сандық тәсіл екі факторлы корреляциялық-регрессиялық модельді құруға негізделген бағалау әдістемесінен тұрады, онда нәтижелі (эндогендік) факторлық белгі биогаздың (у) жалпы өндірісі болып табылады.

Мақалада биоэнергия өндірісінің өндірістік әлеуетін арттыру бойынша ұсыныстар берілген: жабдықты сату, орнату және пайдалану шығындарының тиімділігін ескере отырып, технологиялар нарығын үнемі зерделеу; биоэнергия өндірісінің техникалық-экономикалық көрсеткіштерінің тәуекелдерін азайту мүмкіндігін ескеру; биоэнергияны өндіру үшін тиімді биомасса жеткізу тізбегін қамтамасыз ету; энергия өндіру үшін пайдаланылатын биомасса құрамын басқару стратегиясын әзірлеу.

Кілт сөздер: биомасса, биоэнергия, биогаз, ауыл шаруашылығы, жаңартылатын энергия, технология, ауыл шаруашылығы, қалдықтар, қаржыландыру, ынталандыру, ауылдық жерлер.

Ключевые слова: биомасса, биоэнергетика, биогаз, сельское хозяйство, возобновляемые источники энергии, технологии, сельское хозяйство, отходы, финансирование, стимулы, сельская местность.

Keywords: biomass, bioenergy, biogas, agriculture, renewable energy, technology, agriculture, waste, financing, incentives, rural areas.

JEL classification: Q21, Q28

Кіріспе. Қазіргі уақытта биоэнергетика саласын дамыту парниктік газдар шығарындыларын азайту және қазба отындарын ауыстыру үшін қажет. Биоэнергетика жаңартылатын энергияның тиімді көзі және қазба отындарын пайдалануды азайтуға қолайлы балама болып саналады. Дегенмен, оның төмен көміртегі көзі болуы оның қалай өндірілетініне және пайдаланылатынына байланысты. Биоэнергетиканың негізгі түрлеріне биомасса және жаңартылатын тұрмыстық қалдықтар (биогаз, сұйық биоотын) жатады. Жаңартылатын тұрмыстық қалдықтарды пайдалана отырып, биоэнергияны өндіру әртүрлі технологияларға шығындарды талап етеді. Бұл технологиялар газдандыруды, электр энергиясын өндіруді, жылу өндіруді, тасымалдауды және басқа құрылғыларды қамтуы мүмкін.

Нарықта биоэнергетикалық технологиялардың көптеген түрлері бар. Оларды икемді және энергия өндіруге қолайлы ету туралы сұрақтар көптеген адамдар үшін өзекті болып табылады. Сайып келгенде, тұрақты, икемді биоэнергетикалық технологиялар маусымдық және ауа-райына байланысты шикізаттың болуы немесе қол жетімділігі сияқты әртүрлі пішіндер мен сападағы биомасса шикізатын пайдалануды қамтиды.

Бұл мәселені шешуге бағытталған зерттеулер мен стратегиялар жетекші жаңартылатын энергия көзі болғанына қарамастан, қазіргі және тұрақты биоэнергетиканың икемділік әлеуетін елемейді [1].

Қазақстан Республикасында тұрмыстық және ауыл шаруашылығы қалдықтары бар. Пайда болған қалдықтардың мөлшері қалдықтарды азайтуға көмектесетін технологиялар мен процестерге сұранысқа әкелді. Елде жаңартылатын энергияның бір түрі ретінде биоэнергетиканың дамуына кедергі келтіретін мәселелерге мыналар жатады: салыстырмалы экономикалық және нарықтық артықшылықтардың болмауы; технологиялар мен техникалық шектеулер, қалдықтарды басқарудың нашарлығы, биоэнергияны өндіру процестерінің жанама өнімдерін басқару.

Осыған байланысты соңғы онжылдықтарда биогаз өндіруге мүмкіндік беретін полигондардағы қатты тұрмыстық қалдықтар, ауылшаруашылық дақылдары және қалалық ағынды сулар сияқты әртүрлі қалдық ағындардың анаэробты ашытуына негізделген қалдықтарды басқару технологиялары маңызды рөл атқарды. Қалдықтар ауылшаруашылық өндірісі, егін жинау және өңдеу кезінде пайда болады. Қалдықтарға қажетсіз өсімдіктер немесе арамшөптер, жүгері қопсытқыштары, күріш қабығы, дәнді және күріш сабаны, қоқыс пен мал көні жатады. Сондықтан биоэнергия өндірісінің тиімділігін арттыру үшін инновациялық технологияларды дамыту мәселелерін қарастыру өте өзекті болып табылады.

Зерттеудің мақсаты елдегі жаңартылатын энергияның бір түрі ретінде биоэнергия өндірісінің өндірістік әлеуетін арттыру жолдарын анықтау болып табылады. Сонымен қатар, биоэнергияны дамыту жөніндегі халықаралық мекемелердің есептерін сипаттамалық және салыстырмалы талдауға негізделі отырып, екі факторлы корреляциялық-регрессиялық модельді құру, биоэнергия өндірісінің өндірістік әлеуетін арттыруға бағытталған биоэнергия өндірісінің техникалық-экономикалық көрсеткіштерінің тәуекелдерін азайту мүмкіндігін белгілеу, биоэнергияны өндіру үшін тиімді биомасса жеткізу тізбегін қамтамасыз ету және энергия өндіру үшін пайдаланылатын биомасса құрамын басқару стратегиясын әзірлеу секілді міндеттер қарастырылған.

Зерттеу барысында энергия өндіру үшін биомассаны пайдалану тиімділігі бойынша эксперименттер жүргізіледі. Бұл эксперименттер екі тәсілмен жүзеге асырылды – сапалық [2] және сандық [3]. Сонымен бірге, зерттеу барысында талдау және жүйелеу, жалпылау және салыстырмалы талдау әдістерін пайдалана отырып, корреляциялық-регрессиялық талдау әдістерімен қатар сызықтық теңдеулер жүйесі қолданылды.

Зерттеу нысаны ретінде Ақтөбе облысының ұсақ мал шаруашылықтары таңдалды.

Әдебиеттік шолу. Қазіргі жағдайда сенімді энергия көздерін дамытуға бағытталған биоэнергетикалық зерттеулер ғылыми журналдарда жарияланды және көптеген мемлекеттердің нормативтік құжаттарының негізін қалады.

Дегенмен, көптеген елдер биомасса ресурстарының көптігіне қарамастан биоэнергетиканы тұрақты пайдаланудан әлі де алыс.

Биоэнергетика технологиясын дамыту жоғары күрделі шығындарды талап етеді және өтелу мерзімі көптеген жобаларды инвесторлар үшін экономикалық тұрғыдан тартымсыз етеді. Ол үшін инвесторлар арасында ғана емес, халық арасында да биоэнергетиканы пайдаланудың пайдасы туралы түсіндіру жұмыстарын жүргізу қажет. Сондықтан қаржылық, әлеуметтік және ақпараттық тетіктердің әсерін, биоэкономика туралы білімді, сондай-ақ қоршаған ортаға пайдасын модельдейтін құрылымдық теңдеуді қолдануға назар аудару керек [4].

Кейбір ғалымдар инвесторларды тарту үшін биоэнергетикалық жобалардың бастапқы күрделі шығындарын төмендететін қаржылық тетіктерді әзірлеуді ұсынады [5].

Азық-түлік пен ауылшаруашылық қалдықтарының көп мөлшері тұрмыстық қалдықтар ретінде шығарылады. Бұл биогендік қалдықтардың құрамында қант мөлшері жоғары және полигондарға тасталады немесе өртеніп, елеулі экологиялық проблемалар туғызады. Азық-түлік пен ауылшаруашылық қалдықтарының анаэробты бірлескен ашытуы биогаздың құндылығын арттырудың тұрақты жолын қамтамасыз етеді [6].

Бұл әртараптандыру және энергияға қол жеткізу, қатты тұрмыстық қалдықтар мен ауылшаруашылық қалдықтарын басқару бойынша мемлекеттік саясатты жүргізуді талап етеді. Мұндай саясатты жүргізу энергия өндіру үшін биомассаны пайдалануға ықпал етеді [7].

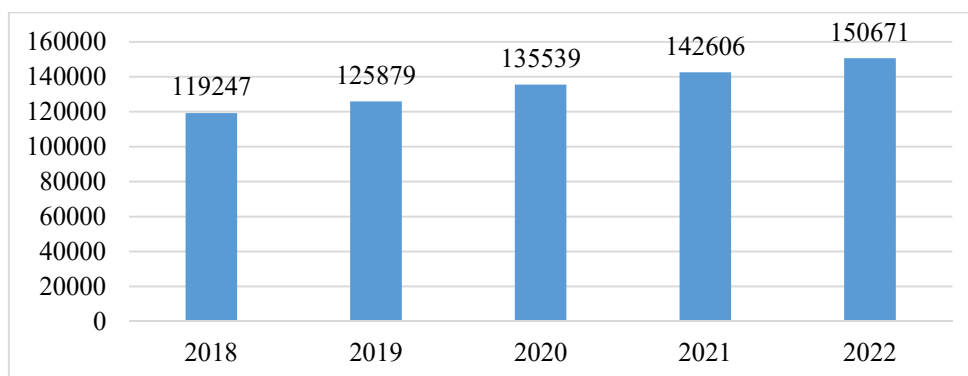
Көптеген ғалымдар биомассадан газ алудың әртүрлі процестерін зерттеп жатыр. Мысалы, бірқатар ғалымдар атмосферадағы бұмен жанама газдандыруды қарастырады [8]. Көптеген ғалымдар ауылшаруашылық қалдықтары зиянсыз биоэтанолға айналуы мүмкін деп санайды [9]. Кейбір отандық ғалымдар биоэнергияны дамыту жолдарының бірі ретінде оның экологиялық мәселесін

ескере отырып энергетикалық қауіпсіздікпен байланыстырса [10], ендігі бірсыпыра ғалымдар оның келешегі мен әлеуеті зор екендігін көрсетеді [11,12].

Сонымен, биомасса мен жаңартылатын тұрмыстық қалдықтарды энергия мен отын өндірісі ретінде кеңінен пайдаланудың алдын алуға кедергілердің бірі оның жоғары құны болып табылады, өйткені биоэнергияны өндірудің тиімді технологиясы, тиісті техникалық-экономикалық бағалау және логистиканы басқару стратегиясы әлі жоқ.

Негізгі бөлім. Дүние жүзіндегі өнеркәсіптік қызметтің өсуіне байланысты жаһандық жылынудың таралуы нарық үшін оң перспективалар жасайды. Тұтынушылар электр энергиясын өндіру үшін биоотын мен биомассаны пайдалану арқылы тұрақты дамуға назар аударады.

IRENA статистикасына сәйкес жыл сайын биоэнергетикалық жабдықтың белгіленген қуаты артып келеді (1 сурет).



1-сурет. Әлемдік биоэнергия нарығында орнатылған биоэнергетикалық құрылғылардың қуаты, МВт*

* [13] дереккөзі негізінде авторлармен құрастырылған

Биоэнергетика нарығындағы ең ірі компаниялар биоэнергетика нарығында өз позицияларын сақтау үшін биоэнергетика саласындағы жаңа технологияларын, зерттеулерін және әзірлемелерін дамытуда.

Электр энергиясы мен жылуды өндіру үшін заманауи биомассаны болашақта пайдалану негізінен арзан шикізаттың болуына байланысты.

Сандық тәсіл екі факторлы корреляциялық-регрессиялық модельді құруға негізделген бағалау әдістемесінен тұрады [14, 15], онда нәтижелі (эндогендік) факторлық белгі биогаздың (y) жалпы өндірісі болып табылады.

Тәуелсіз (экзогендік) факторлық белгі ретінде жалпы биомасса (x) таңдалды.

Жалпы алғанда, екі факторлы корреляциялық-регрессиялық модель келесі түрге ие:

$$\hat{y}_x = a_0 + a_1 \cdot x \quad (1)$$

a_0 және a_1 параметрлерін табу үшін келесі сызықтық теңдеулер жүйесі қолданылады:

$$\begin{cases} a_0 \cdot n + a_1 \cdot \sum x = \sum y \\ a_0 \cdot \sum x + a_1 \cdot \sum x^2 = \sum y \cdot x \end{cases} \quad (2)$$

Тәуелсіз факторлық белгіде бар резервтерді анықтау үшін \hat{y}_x икемділік коэффициенті қолданылады, ол x факторлық белгісінің 1% - ға өзгеруімен нәтижелі белгінің орташа өзгерісін көрсетеді.

Жалпы алғанда серпімділік коэффициенті келесідей анықталады:

$$\Theta = a_1 \cdot \frac{\bar{x}}{\bar{y}} \quad (3)$$

мұндағы a_1 – x факторындағы регрессия коэффициенті;

\bar{x} – тәуелсіз факторлық белгінің орташа мәні;

\bar{y} – зерттелетін көрсеткіштің орташа мәні.

Θ – тәуелсіз факторлық белгінің бір пайыздық өзгерісімен тиімді факторлық белгінің қанша пайызға өзгертетінін көрсететін серпімділік коэффициенті.

Модель параметрлерін анықтау үшін (1) авторлар қой мен ешкі бойынша жалпы биомасса және жалпы биогаз өндірісі бойынша жеке есептеулер жүргізді (1 кесте).

1-кесте

Қой мен ешкіге арналған (1) үлгідегі a_0 және a_1 параметрлерін есептеуге арналған деректер*

жыл	Мың бас	Жалпы биомасса, тонн/ тәулік, x	Биогаздың жалпы өндірісі, мың. м ³ / тәулік, y	x*x	x*y
2018	252,1	7 719,9	419,8	59 596 856	3 240 814
2019	258,4	7 621,5	429,7	58 087 262	3 274 959
2020	261,8	7 629,2	431,9	58 204 693	3 295 051
2021	265,9	7 663,7	442,7	58 732 298	3 392 720
2022	268,7	7 799,6	450,2	60 833 760	3 511 380
Барлығы		38 433,9	2 174,3	295 454 868,8	16 714 924

* Авторлармен құрастырылған

Биомассаны пайдалану мынадай бағыттарда жүргізілуі мүмкін: тікелей жағу, ауыл шаруашылығы және тұрмыстық қалдықтардан биогаз өндіру, мотор отынын алу үшін этил спиртін өндіру. Осыған байланысты биомасса халықтың тығыздығы төмен және ірі өнеркәсіптік энергия тұтынушылары жоқ аумақтардың көпшілігінде басым болатын таратылған энергия жүктемелерін жабу үшін пайдаланылуы мүмкін. Биомассаның тағы бір ерекшелігі-оның түзілуінің үнемі жалғасып отыратын процесі, бұл биомассаның білім беру және тұтыну тепе-теңдігі сақталған кезде оны пайдалануды ұйымдастыруға мүмкіндік береді.

Биомассадан энергия алудың ең ұтымды әдісі-анаэробты (метан) ашыту, нәтижесінде ыдырау өнімдері пайда болады: биогаз және ашытылған масса, газ тәрізді отын және органикалық тыңайтқыш ретінде практикалық құндылығы жоғары. 1 кестенің қорытынды мәндерін ауыстырғаннан кейін сызықтық теңдеулер жүйесі (2) келесідей болады:

Кестенің мәндерін ауыстырғаннан кейін сызықтық теңдеулер жүйесі (2) келесідей болады:

$$\begin{cases} 5 \cdot a_0 + 38\,433,9 \cdot a_1 = 2\,174,3 \\ 38\,433,9 \cdot a_0 + 295\,454\,868,8 \cdot a_1 = 16\,714\,924 \end{cases} \quad (4)$$

Осы жүйені шеше отырып, мұндағы:

$$\begin{cases} a_0 = -111,19 \\ a_1 = 0,071 \end{cases} \quad (5)$$

Осылайша, жалпы биогаз өндірісінің қой мен ешкіден алынған жалпы биомассаға тәуелділігін көрсететін ізделетін модель (1) келесідей болады:

$$\hat{y}_x = 0,071 \cdot x - 111,19 \quad (6)$$

Тәуелсіз (экзогендік) факторға енгізілген резервтерді анықтау үшін (3) формула бойынша серпімділік коэффициенті есептеледі.

$$\Theta = 0,071 \cdot \frac{(38\,433,9/5)}{(2\,174,3/5)} = 1,256 \quad (7)$$

Жалпы, мыналарға қол жеткізілді:

1. (6) үлгісіндегі a_1 коэффициентінің белгісі экономика мен логикадағы процестердің нақты ағымына сәйкес келеді.

2. Қой мен ешкіден алынған жалпы биомасса 1% - ға артқан кезде биогаздың жалпы өндірісі 1,256% - ға артады.

Биогазды энергия қондырғыларын қолдану таратылған генерация қағидаттары негізінде шағын жаңартылатын энергетиканы дамытудың перспективалық бағыты болып табылады. Жергілікті отын ресурстарын пайдалану жекелеген аудандардың энергияға тәуелсіздігін арттыруға мүмкіндік беретіндіктен, биогаз энергетикасы Ақтөбе облысының ірі қой және ешкі шаруашылықтары үшін перспективалы болуы, сондай-ақ шаруашылықтың оқшауланған жұмыс режиміне өтуі мүмкін. Осыған байланысты малдардан алынатын биомассаның бар энергия әлеуетін бағалау өзекті міндет болып табылады. Анаэробты ашыту кезінде малдардан алынатын қалдықтардың биомассасының энергетикалық әлеуеті малдың санымен, бір бас көңінің орташа шығымдылығымен және көңінің энергетикалық көрсеткіштерімен анықталады.

Осылайша, жүргізілген зерттеу нәтижелері бойынша Ақтөбе облысында биогаз энергетикасын дамыту үшін жағдайлар бар деп айтуға болады. Мал шаруашылығы шаруашылықтары басының өзгеруінің оң серпіні өңірдің энергия қауіпсіздігін арттыруды қамтамасыз ете отырып, биомасса негізінде электр энергиясын өндіруді одан әрі ұлғайтуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, шаруашылықтардың облыс аумағы бойынша таралуы биомассаны қайта өңдеу орнына жеткізуді қиындатады. Осыған байланысты биомассаны тасымалдау шығындарын бағалай отырып, биогаз электр станциясын салу үшін алаңды таңдау міндеті кейіннен қарау үшін өзекті болып табылады.

Қорытынды. Соңғы жылдары биоэнергияны және оның жанама өнімдерін қоршаған ортаға қалдықсыз толық пайдалану үшін әртүрлі технологиялар мен әдістер әзірленді. Биоэнергия жаһандық парниктік газдар шығарындыларының керемет шешімі болмаса да, оның қалдықтарды басқару әлеміндегі орны айтарлықтай нығайды және жақын арада да дами береді. Бұл таза отынға жасалған маңызды қадам болса да, әлі де жақсартуға мүмкіндік бар.

Елдегі биоэнергия өндірісінің өндірістік әлеуетін арттыру үшін келесідей шараларды жүзеге асыру қажет:

- жабдықты сату, орнату және пайдалану шығындарын ескере отырып, технологиялар нарығын үнемі зерделеу. Биоэнергияны енгізудегі негізгі кедергілердің бірі оның әлеуетті пайдалануына зиян келтіретін шығындар болып табылады. Сондықтан жаңа технологиялар нарығын үнемі зерделеу қалыптасқан дәстүрлі энергетикалық технологияларды ауыстыруға немесе жаңғыртуға мүмкіндік береді;

- биоэнергия өндірудің техникалық-экономикалық көрсеткіштерінің тәуекелдерін төмендету мүмкіндігін ескеру. Шын мәнінде, биоэнергетика соңғы уақытта жаңартылатын энергияның ең маңызды көзіне айналды. Биомассаны пайдалану таза энергияны өндіруде сәтті болғанымен, биомассаны энергияға төзімділік пен үйлесімділікке қалай айналдыруға көп көңіл бөлінді;

- биоэнергияны өндіру үшін тиімді биомасса жеткізу тізбегін қамтамасыз ету. Ресурстардың қол жетімділігінің тұрақты шектеріне әсер ететін көптеген факторлар бар, жалпы тенденцияларға ресурстардың кеңістікте бөлінуі, олардың көлемдік тығыздығы кіреді, бұл көлік техникасына, қашықтыққа және ресурстарды, қайта өңдеу орындарын және соңғы нүктелерді байланыстыратын қол жетімді инфрақұрылымға әсер етеді;

- энергия өндіру үшін пайдаланылатын биомасса құрамын басқару стратегиясын әзірлеу. Бұл аспектіде биомассаның айрықша ерекшеліктерін ескеру қажет (мысалы, төмен көлемдік тығыздық, аймақтық фрагментация, жоғары ылғалдылық, маусымдық және ауа-райының болжамсыздығы және төмен энергия).

Осылайша, биоэнергияны түрлендіру технологиясының жетістіктері биоэнергетика нарығында танымал болып келе жатқан негізгі үрдіс болып табылады. Бұл жағдайда биомасса өндірісінен бастап оны өңдеу зауыттарына жеткізуге дейінгі операцияларға назар аудару керек. Сондықтан болашақта биомассаның энергияға айналуын жан-жақты бағалау үшін экономикалық талдауды қоршаған ортаны талдаумен біріктіру қажет.

Мақаланы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырған (грант № AP13268757).

ӘДЕБИЕТТЕР

1. Schipfer F., Mäki E., Schmieder U., Lange N., Schildhauer T., Hennig C., Thrän D. Status of and expectations for flexible bioenergy to support resource efficiency and to accelerate the energy transition // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2022. – №158. – P. 94-112.
2. Нусратуллин И.Б. Методы исследования в экономике: учебное пособие. – Уфа. Изд-во Башкирского технологического института, 2015. – 285 с.
3. Орехов А.М. Методы экономических исследований. – М.: ИНФРА-М, 2009. – 315 с.
4. Liobikienė G., Miceikienė A. The role of financial, social and informational mechanisms on willingness to use bioenergy // *Renewable Energy*. – 2022. – 194. – P. 21-27.
5. Seetharaman K., Moorthy N., Patwa S., Gupta Y. Breaking barriers in deployment of renewable energy // *Heliyon*. – 2019. – № 5. – P. 114-127.
6. Rowan M., Umenweke G.C., Epelle E.I., Afolabi I.C., Okoye P.U., Gunes B., Okolie J.A. Anaerobic co-digestion of food waste and agricultural residues: An overview of feedstock properties and the impact of biochar addition // *Digital Chemical Engineering*. – 2022. – № 4. – P. 100-114.
7. Chukwudi O.O., Chigbogu G.O., Tochukwu N.N., Tonia N.N., Igbokwe V.C., Ugwuoji E.T., Ugwuodo C.J. Cattle manure as a sustainable bioenergy source: Prospects and environmental impacts of its utilization as a major feedstock in Nigeria // *Bioresource Technology Reports*. – 2022. – №19. – P. 101-115.
8. Haynes T.H., Harvey S. Exergy-based comparison of indirect and direct biomass gasification technologies within the framework of Bio-SNG production // *Biomass Conversion and Biorefinery*. – 2013. – № 3. – P. 36-42.
9. Jayakumar M., Gindaba G.T., Gebeyehu K.B., Periyasamy S., Jabesa A., Baskar G., John B.I., Pugazhendhi A. Bioethanol production from agricultural residues as lignocellulosic biomass feedstock's waste valorization approach: A comprehensive review // *Science of The Total Environment*. – 2023. – №87. – P. 163-178.
10. Yessengeldin B., Mukhamediyeva G., Sitenko D., Zhumanova A. Problems and Perspectives of Energy Security of Single-Industry Towns of the Republic of Kazakhstan // *International Journal of Energy Economics and Policy*. – 2018. – 8. – P. 116-121.
11. Abayev A. Possibilities of solar energy utilization for the development of rural areas of the Republic of Kazakhstan // *International Journal of Energy Economics and Policy*. – 2018. – 8. – P. 89-94.
12. Bolyssov T. Features of the Use of Renewable Energy Sources in Agriculture // *International Journal of Energy Economics and Policy*. – 2019. – 9. – P. 363-368.
13. Renewable energy statistics [Electronic resource] // International Renewable Energy Agency. – 2023. – URL: <https://www.irena.org/Publications/2023/Jul/Renewable-energy-statistics-2023>.
14. Гусаров В.М. Статистика: учебное пособие. – М.: Единство-Дана, 2003. – 239 с.
15. Шмайлов Р.А., Минашкин В.Г., Садовникова Н.А. Практикум по теории статистики: учебное пособие. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 314 с.

REFERENCES

1. Schipfer F., Mäki E., Schmieder U., Lange N., Schildhauer T., Hennig C., Thrän D. Status of and expectations for flexible bioenergy to support resource efficiency and to accelerate the energy transition // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2022. – №158. – P. 94-112.
2. Nusratullin I.B. Metody issledovaniya v ekonomike: uchebnoe posobie [Research methods in economics: a textbook]. – Ufa. Izd-vo Bashkirskogo tekhnologicheskogo instituta, 2015. – 285 s. [in Russian].
3. Orekhov A.M. Metody ekonomicheskikh issledovaniy [Methods of economic research]. – М.: INFRA-M, 2009. – 315 s. [in Russian].
4. Liobikienė G., Miceikienė A. The role of financial, social and informational mechanisms on willingness to use bioenergy // *Renewable Energy*. – 2022. – 194. – P. 21-27.
5. Seetharaman K., Moorthy N., Patwa S., Gupta Y. Breaking barriers in deployment of renewable energy // *Heliyon*. – 2019. – № 5. – P. 114-127.
6. Rowan M., Umenweke G.C., Epelle E.I., Afolabi I.C., Okoye P.U., Gunes B., Okolie J.A. Anaerobic co-digestion of food waste and agricultural residues: An overview of feedstock properties and the impact of biochar addition // *Digital Chemical Engineering*. – 2022. – № 4. – P. 100-114.

7. Chukwudi O.O., Chigbogu G.O., Tochukwu N.N., Tonia N.N., Igbokwe V.C., Ugwuoji E.T., Ugwuodo C.J. Cattle manure as a sustainable bioenergy source: Prospects and environmental impacts of its utilization as a major feedstock in Nigeria // *Bioresource Technology Reports*. – 2022. – №19. – P. 101-115.
8. Haynes T.H., Harvey S. Exergy-based comparison of indirect and direct biomass gasification technologies within the framework of Bio-SNG production // *Biomass Conversion and Biorefinery*. – 2013. – № 3. – P. 36-42.
9. Jayakumar M., Gindaba G.T., Gebeyehu K.B., Periyasamy S., Jabesa A., Baskar G., John B.I., Pugazhendhi A. Bioethanol production from agricultural residues as lignocellulosic biomass feedstock's waste valorization approach: A comprehensive review // *Science of The Total Environment*. – 2023. – №87. – P. 163-178.
10. Yessengeldin B., Mukhamediyeva G., Sitenko D., Zhumanova A. Problems and Perspectives of Energy Security of Single-Industry Towns of the Republic of Kazakhstan // *International Journal of Energy Economics and Policy*. – 2018. – 8. – P. 116-121.
11. Abayev A. Possibilities of solar energy utilization for the development of rural areas of the Republic of Kazakhstan // *International Journal of Energy Economics and Policy*. – 2018. – 8. – P. 89-94.
12. Bolyssov T. Features of the Use of Renewable Energy Sources in Agriculture // *International Journal of Energy Economics and Policy*. – 2019. – 9. – P. 363-368.
13. Renewable energy statistics [Electronic resource] // International Renewable Energy Agency. – 2023. – URL: <https://www.irena.org/Publications/2023/Jul/Renewable-energy-statistics-2023>.
14. Gusarov V.M. Statistika: uchebnoe posobie [Statistics: textbook]. – M.: Edinstvo-Dana, 2003. – 239 s. [in Russian].
15. Shmajlov R.A., Minashkin V.G., Sadovnikova N.A. Praktikum po teorii statistiki: uchebnoe posobie [Workshop on the theory of statistics: Textbook]. – M.: Finansy i statistika, 2006. – 314 s. [in Russian].

Тасмаганбетов А.Б., Есенгельдин Б.С., Ахметова З.Б., Сапарғали А.М.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ БИОЭНЕРГИИ В КАЗАХСТАНЕ

Аннотация

В статье рассмотрены возможности и перспективы применения современных технологий для развития биоэнергии. Авторами выявлены основные проблемы, препятствующие развитию биоэнергетики как формы возобновляемой энергии в стране. Эти проблемы связаны с отсутствием сравнительных экономических и рыночных преимуществ, технологиями и техническими ограничениями, плохим управлением отходами, управлением побочных продуктов процесса производства биоэнергии.

В исследовании проведены эксперименты по эффективности использования биомассы для выработки энергии. Данные эксперименты реализованы с помощью двух подходов – качественный и количественный. Качественный подход построен на описательном и сравнительном анализе отчетов международных учреждений по развитию биоэнергии. Количественный подход заключается в методике оценки, основанная на построении двухфакторной корреляционно-регрессионной модели, в которой результирующим (эндогенным) факторным признаком является общая выработка биогаза (y).

В статье даны рекомендации по увеличению производственного потенциала производства биоэнергии: постоянно изучать рынок технологий с учетом эффективности продажи, установки и эксплуатационных затрат оборудования; учитывать возможность снижения рисков технико-экономических показателей выработки биоэнергии; обеспечить эффективные цепочки поставки биомассы для производства биоэнергии; разработать стратегию управления содержанием биомассы, используемых для производства энергии.

Tasmaganbetov A., Yessengeldin B., Akhmetova Z., Sapargali A.

PROSPECTS FOR APPLICATION OF MODERN TECHNOLOGIES FOR BIOENERGY GENERATION IN KAZAKHSTAN

Annotation

The article discusses the possibilities and prospects for using modern technologies for bioenergy development. The authors identified the main problems hindering bioenergy development as a form of renewable energy in the

country. These problems are related to a lack of comparative economic and market advantages, technology and technical limitations, poor waste management, and management of by-products of the bioenergy production process.

The study conducted experiments on the efficiency of using biomass for energy generation. These experiments were implemented using two approaches – qualitative and quantitative. The qualitative approach is based on descriptive and comparative analysis of reports from international institutions on bioenergy development. The quantitative approach consists of an assessment methodology based on a two-factor correlation-regression model construction, in which the effective (endogenous) factor characteristic is the total biogas production (y).

The article provides recommendations for increasing the production potential of bioenergy production: constantly study the technology market considering the efficiency of sales and installation and operating costs of equipment; take into account the possibility of reducing the risks of technical and economic indicators of bioenergy production; ensure efficient biomass supply chains for bioenergy production; develop a strategy for managing the content of biomass used for energy production.

