



УДК 662.997:537.22:539.104:661.472

ПЕРСПЕКТИВЫ ПОЛУЧЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ТОПЛИВА ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ БИОМАССЫ И ОТХОДОВ В АЗЕРБАЙДЖАНЕ*

О.М. Саламов¹, Ф.Ф. Алиев²

¹Институт радиационных проблем НАН Азербайджана
д. 9, ул. Б. Вахабаде, г. Баку, AZ 1143, Азербайджан
тел.: (99412) 539-32-24, доп. 125; факс: (99412) 539-83-19; e-mail: oktay_dae@mail.ru

²Международная экоэнергетическая академия
д. 5, ул. М. Арифа, Баку, AZ 1073, Азербайджан
тел.: (+99412) 538-23-70

doi: 10.15518/isjaee.2019.01-03.025-041

Заключение совета рецензентов: 28.11.18 Заключение совета экспертов: 05.12.18 Принято к публикации: 10.12.18

Рассмотрены возможности получения жидкого и газообразного топлива из разных видов биомассы (БМ) и горючих твердых отходов (ГТО) различного происхождения. Проанализированы имеющиеся мировые запасы традиционных видов топлива и указан вред, наносимый экологии при их использовании. Приведены табличные данные по условной теплоте сгорания (УТС) основных традиционных и альтернативных видов твердого, жидкого и газообразного топлива и проведено сопоставление этих данных с УТС различных видов БМ и ГТО. Изучены возможные методы утилизации БМ и ГТО, а также методы превращения их в альтернативные виды топлива, особенно в горючие газы.

Приведены достоверные данные об имеющихся запасах нефти и газа в Азербайджане. Выявлено, что запасы нефти в Азербайджане могут полностью иссякнуть через 33,5 года, а запасы газа – через 117 лет, без учета темпов роста экспортируемой части этих видов топлива в европейские страны. Для решения этой проблемы в первую очередь необходимо как можно больше использовать альтернативные и возобновляемые источники энергии, особенно солнечную и ветровую энергии, поскольку Азербайджан обладает большими запасами этой энергии. Кроме того, все регионы республики богаты БМ, а крупные города, особенно промышленные – ГТО, из которых путем пиролиза, а также газификации можно получить высококачественную горючую газовую смесь в составе: $H_2 + CO + CH_4$, – с наименьшим количеством вредных отходов. Остатки реакции термохимического разложения БМ и ГТО на горючие газы могут также применяться в качестве минеральных удобрений в сельском хозяйстве. В работе приведены данные об имеющихся ресурсах БМ и ГТО в Азербайджане, а также дан прогноз по этим ресурсам и их энергоёмкости в энергетическом секторе республики.

Учитывая большую энергоёмкость процессов пиролиза и газификации БМ и ГТО, в настоящее время для проведения этих реакций в качестве источников энергии используются высокотемпературные солнечные установки с ограниченной мощностью, а в дальнейшем предпочтение будет отдаваться ветроэлектрическим установкам и солнечным фотоэлектрическим станциям промышленного масштаба.

Ключевые слова: биомасса; древесные отходы; скорлупа грецкого ореха и фундука; параболический концентратор; термохимический реактор; пиролиз; газификация; биогаз; горючий газ; метанол; этанол; целлюлоза; лигнин.

PROSPECTS OF OBTAINING ALTERNATIVE FUEL FROM VARIOUS BIOMASS AND WASTE SPECIES IN AZERBAIJAN

O.M. Salamov¹, F.F. Aliyev²

* Саламов О.М., Алиев Ф.Ф. Перспективы получения альтернативного топлива из различных видов биомассы и отходов в Азербайджане // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAE), 2019;01-03:25-41.



¹Institute of Radiation Problems of Azerbaijan National Academy of Sciences
9 B. Vahabzadeh Str., Baku, AZ 1143, Azerbaijan
tel.: (+994 12) 4383224; Fax: (+994 12) 4398318, e-mail: oktay_dae@mail.ru

²International Ecoenergy Academy
5 M. Arifa Str., Baku, AZ 1073, Azerbaijan
tel.: (+99412) 538 23 70

doi: 10.15518/isjaee.2019.01-03.025-041

Referred 28 November 2018 Received in revised form 5 December 2018 Accepted 10 December 2018

The paper discusses the possibility of obtaining liquid and gaseous fuels from different types of biomass (BM) and combustible solid waste (CSW) of various origins. The available world reserves of traditional types of fuel are analyzed and a number of environmental shortcomings that created during their use are indicated. The tables present the data on the conditional calorific value (CCV) of the main traditional and alternative types of solid, liquid and gaseous fuels which compared with CCV of various types of BM and CSW. Possible methods for utilization of BM and CSW are analyzed, as well as the methods for converting them into alternative types of fuel, especially into combustible gases.

Reliable information is given on the available oil and gas reserves in Azerbaijan. As a result of the research, it was revealed that the currently available oil reserves of Azerbaijan can completely dry out after 33.5 years, and gas reserves—after 117 years, without taking into account the growth rates of the exported part of these fuels to European countries. In order to fix this situation, first of all it is necessary to use as much as possible alternative and renewable energy sources, especially wind power plants (WPP) and solar photovoltaic energy sources (SFES) in the energy sector of the republic. Azerbaijan has large reserves of solar and wind energy. In addition, all regions of the country have large reserves of BM, and in the big cities, especially in industrial ones, there are CSW from which through pyrolysis and gasification is possible to obtain a high-quality combustible gas mixture, comprising: $H_2 + CO + CH_4$, with the least amount of harmful waste. The remains of the reaction of thermochemical decomposition of BM and CSW to combustible gases can also be used as mineral fertilizers in agriculture. The available and projected resources of Azerbaijan for the BM and the CSW are given, as well as their assumed energy intensity in the energy sector of the republic.

Given the high energy intensity of the pyrolysis and gasification of the BM and CSW, at the present time for carrying out these reactions, the high-temperature solar installations with limited power are used as energy sources, and further preference is given to the use of WPP and SFES on industrial scale.

Keywords: biomass; wood waste; walnut and hazelnut shells; parabolic concentrator; thermochemical reactor; pyrolysis, gasification; biogas; combustible gas; methanol; ethanol; cellulose, lignin.



Октай Мустафа
оглы Саламов
Oktay Mustafa Salamov

Сведения об авторе: канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры «Экологии» Азербайджанского университета архитектуры и строительства, почетный профессор и доктор наук Международной экоэнергетической академии по развитию альтернативной энергетики; ведущий научный сотрудник Института радиационных проблем Национальной академии наук Азербайджана; член редакционной коллегии и редакционного совета Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология», член совета экспертов Международного научного журнала «Гелиотехника».

Образование: Азербайджанский технический университет (1973 г.).

Область научных интересов: солнечная и ветровая энергетика; математическое моделирование альтернативных энергоустановок различного назначения; водородная энергетика и теплоэнергетика, в частности, горячее водоснабжение и теплоснабжение с применением комбинированных солнечно-ветровых энергоустановок и др.

Публикации: 220, в том числе 55 авторских свидетельства СССР, а также патенты РФ, Евразийского патентного ведомства (ЕАПВ) и Азербайджанской Республики.

Information about the author: Ph.D. in Physics and Mathematics, Associate Professor in Institute of Radiation Problems, Azerbaijan National Academy of Sciences; Honorary Professor-Doctor of Sciences of International Ecoenergy Academy in Alternative Energy Development; Associate Professor of the Department “Ecology” of the Azerbaijan University of Architecture and Construction; a member of the Editorial Board and the Editorial Council of the International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology; a member of the Council of Experts of the International Scientific Journal for Heliotechnics.

Education: Azerbaijan Technical University, 1973.

Research interests: solar and wind power engineering; mathematical simulation of alternative power plants of different use; hydrogen power-engineering and thermal power-engineering, in particular, heat and hot water supply applying combined solar-wind power plants, etc.

Publications: 220, including 55 Certificates of Authorship USSR and Patents in RF, the Eurasian Patent Office (EAPO) and Azerbaijan Republic.



Фархад Феганович
Алиев
Farhad Faqan Aliyev

Сведения об авторе: канд. наук в области устойчивого развития энергетики, вице-президент Международной экоэнергетической академии; начальник отдела международных отношений при Азербайджанском архитектурно-строительном университете, преподаватель кафедры экологии.

Образование: Атлантический международный университет (США; 2012 г.).

Область научных интересов: возобновляемые источники энергии; энергоэффективность; экология.

Публикации: 25.

Information about the author: Ph.D. in Sustainable Energy Development, Vice President of the International Ecoenergy Academy; Chief of the International Relations Department at the Azerbaijan University of Architecture and Construction; Lecturer at the Ecology Department at the same university.

Education: American Atlantic International University, 2012.

Research interests: renewable energy sources; energy efficiency; ecology.

Publications: 25.

1. Введение

В настоящее время большое внимание уделяется мерам по экономии топлива и энергии, созданию энергосберегающих технологий, изысканию новых путей производства экологически чистых, неисчерпаемых и легко транспортируемых видов топлива с малыми капитальными расходами и все большему использованию для этой цели альтернативных и возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Прогнозы показывают, что имеющиеся запасы основных видов традиционного топлива (ТТ) – нефти, газа, каменного угля и урана – могут полностью исчерпаться через 48, 64, 330 и 60 лет соответственно [1–3]. Однако, если рассматривать отдельные страны, в разных источниках по этому поводу даются различные прогнозы. Так, если по имеющимся запасам газа Иран занимает первое, а США – пятое место, то по количеству производимого газа США занимает первое, а Иран – третье место. Отсюда следует, что имеющиеся запасы газа у США могут быть исчерпаны намного раньше, чем у Ирана. Это также относится к запасам других видов топлива. В любом случае в следующем веке многие страны могут остаться без традиционных видов топлива.

В результате обобщения данных, полученных при анализе литературных источников, выявлено, что в

Азербайджане наблюдается такая же тревожная ситуация. Страна не входит в число первой 10-ки нефтедобывающих стран, а среди 103 стран мира, включая страны ОПЕК, по запасам нефти занимает 20-е место [2]. Авторы данной статьи определили, что с учетом нынешнего темпа производства и экспортирования нефти через 20–30 лет Азербайджан может превратиться в страну-импортера. Кроме того, установлено, что по запасам газа Азербайджан с показателем 991,1 млрд м³ среди 107 газодобывающих стран занимает 27-е место [3]. По прогнозам [2], запасы нефти в Азербайджане должны иссякнуть через 34 года, по более оптимистичным прогнозам первого вице-президента SOKAR академика Х. Юсифзаде [4, 5] – через 71 год. Что касается времени окончательного исчерпания запасов газа, то этот показатель по прогнозу источника [3] составляет 33,5 лет (без учета темпов роста продаж газа в ряд европейских стран), а по прогнозу Х. Юсифзаде [5] – 117 лет.

С учетом сложившейся экологической ситуации, а также ресурсных характеристик основных видов ТТ как во всем мире, так и в Азербайджане, в будущем необходимо более интенсивное использование альтернативных и возобновляемых источников энергии (ВИЭ), а также получение альтернативного топлива (АТ) из биомассы (БМ) и горючих твердых отходов (ГТО) различного происхождения.

Список обозначений	
<i>Аббревиатуры</i>	
ВИЭ	Возобновляемые источники энергии
АТ	Альтернативное топливо
БМ	Биомасса
ВЭС	Ветроэлектрическая станция
ГГС	Горючая газовая смесь
ГТО	Горючие твердые отходы
ГЭС	Гидроэлектрическая станция
ДРДГ	Датчик разности давлений газов
ИСР	Интенсивность солнечной радиации
ПК	Параболический концентратор
РРД	Регулятор разности давлений
СВТУ	Солнечная высокотемпературная установка
СФИЭ	Солнечные фотоэлектрические источники энергии
СЭС	Солнечная электрическая станция
ТТ	Традиционное топливо
ТЭЦ	Теплоэлектрическая централь



UTC	Условная теплота сгорания
ЧЧСС	Число часов солнечного сияния
AF	Alternative fuel
BM	Biomass
CCV	Conventional calorific value
CSW	Combustible solid waste
PK	Parabolic concentrator
TF	Traditional fuel
SHTPP	Solar high-temperature power plant

2. Теоретическая часть. Характеристики различных видов ТТ и АТ, а также БМ и ГТО

В будущем для обеспечения населения тепловой и электрической энергией необходимо в больших масштабах производить различные виды АТ, которые разделяются на три группы: твердые (древесные брикеты, активированный уголь и т.д.), жидкие (метанол, этанол, различные органические масла) и газообразные (водород, горючие газовые смеси (ГГС), биогаз и т.д.). При этом особый интерес в качестве источника энергии представляют различные виды ВИЭ, особенно солнечная и ветровая энергия. Помимо этого, для получения АТ следует применять такие виды сырья, которые могут быть отнесены к категории «неисчерпаемых ресурсов». Для энергетической оценки в табл. 1 приведена удельная теплотворная способность (УТС) как основных, так и искусственных (синтетических) видов ТТ, используемых в данное время в быту, транспортных средствах и различных областях промышленности, а в табл. 2 – УТС некоторых видов БМ, в том числе отходов сельскохозяйственных растений, часть которых используется в качестве топлива, для обеспечения нужд сельского населения [6]. К таким видам БМ относятся сухие дрова и древесные материалы, которые, как и другие виды продуктов (табл. 2), могут использоваться в качестве сырья для получения экологически чистых видов АТ.

Кроме того, имеются многочисленные промышленные и бытовые ГТО, которые в табл. 2 и 3 (УТС некоторых видов ГТО, которые в большинстве случаев идут в отходы и практически не используются) не указаны: карболитовые изделия; различные типы (натуральных, синтетических и хлоропреновых) каучуков; разные типы линолеума (одно- и двухслойный ПВХ, ПВХ на войлочной основе, ПВХ на теплой и на тканевой основах, а также резиновый); поливинилхлорид (ПВХ); пенопласты типа ПХВ-1, ФС-7 и ФФ; пенополистирол ПСБ-С; древесноволокнистые плиты; полиэтилены высокого и низкого давления; пенополиуретан; поликарбонат; полипропилен; полистирол; резиновые изделия, в том числе автомобильные шины, шланги, уплотнители и т.д.; руберо-

ид; дерматин; капрон и другие отходы. Минимальное и максимальное значения УТС таких видов ГТО составляют 14,3 МДж/кг (линолеум ПВХ) и 47 МДж/кг (полиэтилен высокого давления) соответственно, а УТС большинство из них меняется в пределах 15 ÷ 30 МДж/кг.

В большинстве случаев ГТО используются как вторичное сырье для производства новых продуктов, а часть утилизируется путем непосредственного сжигания в специальных топках или котлах для выработки пара с последующим использованием для получения электрической энергии или для горячего водоснабжения и теплоснабжения частных домов и жилых массивов, находящихся вблизи завода по обработке ГТО.

Таблица 1
УТС основных и искусственных (синтетических) видов ТТ

Table 1
CCV basic and artificial (synthetic) types of TF

Виды топлива	УТС	
	МДж/кг	кВт/ч
Уголь каменный	27,0	7,51
Уголь бурый	13,0	3,61
Уголь бурый (брикеты)	20,2	5,62
Уголь бурый (пыль)	25,0	6,95
Антрацит	30,8	8,56
Кокс доменный	30,4	8,45
Полукокс	27,3	7,59
Торф	16,3	4,53
Торф волокнистый	21,8	6,06
Шлак	27,5	7,65
Нефть	44,00	12,23
Керосин	43,50	12,09
Бензин А-72 (ГОСТ 2084-67)	44,2	12,29
Бензин авиационный Б-70 (ГОСТ 1012-72)	44,1	12,26
Бензин АИ-93 (ГОСТ 2084-67)	43,6	12,12
Дизельное топливо зимнее (ГОСТ 305-73)	43,6	12,12
Мазут	40,61	11,29
Метан	50,0	13,9
Природный газ	33,5	9,31
Попутный газ	41,5	11,54
Пропан (сжиженный)	45,57	12,67

Таблица 2
УТС различных видов БМ
и сельскохозяйственных растений
Table 2
CCV of various types of BM
and agricultural plants

Виды продуктов лесного происхождения, БМ и отходов	УТС	
	МДж/кг	кВт/ч
Древесные гранулы (паллеты)	18,5	5,14
Дрова сухие	14,24	3,96
Дрова влажные (влажность до 60 %)	8,12	2,26
Дрова березовые сухие	12,5	3,48
Древесина (бруски влажностью 14 %)	13,8	3,84
Древесина в штабелях	16,6	4,61
Древесина дубовая	19,9	5,53
Древесина еловая	20,3	5,64
Древесина зеленая	6,3	1,75
Древесина сосновая	20,9	5,81
Сено	16,7	4,64
Солома	17,0	4,73
Целлюлоза	16,4	4,56
Щепа	10,93	3,04
Опилки	8,37	2,33
Лузга подсолнуха, сои	17,00	4,73
Лузга рисовая	13,31	3,70
Костра льна	15,93	4,43
Початок кукурузы (влажность 10%)	14,65	4,08
Стебли хлопчатника	14,53	4,04
Виноградная лоза (влажность 20%)	14,00	3,89

Таблица 3
УТС некоторых видов ГТО
Table 3
CCV for some types of CSW

Виды отходов	УТС	
	МДж/кг	кВт/ч
Бумага	17,6	4,89
Картон	16,5	4,59
Резина	33,5	9,31
Стекло органическое (оргстекло)	27,7	7,70
Текстолит	20,9	5,81
Толь	16	4,45
Шерсть и шерстяные волокна	23,1	6,42

Из всех видов БМ, указанных в табл. 2, только влажная древесина имеет низкое значение УТС, но в быту в редких случаях древесину используют и во влажном состоянии. Следует отметить, что влажность хорошо высушенной древесины составляет менее 20 %, что существенно влияет на значение её УТС.

Большинство продуктов (табл. 2 и 3), кроме влажной и сухой древесины, стеблей хлопчатника и виноградной лозы, несмотря на приемлемые показатели УТС, не могут быть использованы непосредственно в качестве бытового топлива, так как даже десяток килограмм таких видов ГТО (бумага, картон, солома, опилки и т.д.) не позволит приготовить горячую пищу или вскипятить воду. Это связано с низкой плотностью всех этих видов и тем, что при их горении на открытом пламени свыше 90 % тепла выбрасывается в окружающую среду. Помимо этого, при их сжигании выделяются парниковые и другие вредные газы, в том числе хлористые, флюористые, фтористые и другие органические соединения, что делает их также непригодными для непосредственного применения в качестве бытового топлива. Однако ситуация меняется после превращения БМ и ГТО в жидкие или газообразные виды АТ. Одновременно решается проблема транспортировки – по трубопроводам на любое расстояние с наименьшими капитальными затратами.

Для получения различных АТ, кроме биогаза, в качестве сырья пригодны любые виды БМ, в том числе древесина, древесные отходы, все виды ГТО, указанные в табл. 2 и 3, особенно ГТО, насыщенные целлюлозой и лигнином, а также другие промышленные, строительные и разные органические отходы, не указанные в табл. 2 и 3.

Одним из перспективных видов газообразного топлива является водород. В настоящее время водород в основном получают путем паровой конверсии метана, но с учетом нынешних темпов роста потребности в водороде как топливе и как сырье для многих отраслей промышленности можно сделать вывод о том, что этот метод уже в середине XXI века потеряет свою значимость. Это связано и с исчерпанием запасов метана, и с экологическим уроном от применения этого метода. Наиболее экологически чистым методом получения H_2 является электролиз воды, единственный недостаток которого – относительно большая энергоёмкость. Для снижения расхода электроэнергии в традиционных электролизных установках процесс проводится при высоких температурах или же под давлением [7]. Другим выходом из указанной ситуации является использование ВИЭ, особенно солнечной и ветроэлектрической энергии на СЭС и ВЭС как по отдельности, так и совместно, то есть в комбинированной форме [8–10].

В табл. 4 приведены УТС выборочных синтетических видов АТ, которые дают возможность определить эффективность использования различных видов БМ и ГТО в качестве сырья [11].

Таблица 4

УТС некоторых синтетических видов АТ

Table 4

CCV of some synthetic types of AF

№	Виды топлива	Удельная теплота сгорания	
		МДж/кг	кВт/ч
1	Уголь древесный (активированный)	33,0	9,17
2	Метиловый спирт (метанол)	21,1	5,87
3	Этиловый спирт (этанол)	30,6	8,51
4	Водород	119,83	33,31
5	Водород в смеси с метаном (50 % H ₂ и 50 % CH ₄ по массе)	85	23,63
6	Водород в смеси с метаном и моноокисью углерода (33 % H ₂ , 33 % CH ₄ и 33 % CO по массе)	60	16,68
7	Водород в смеси с моноокисью углерода (50 % H ₂ и 50 % CO по массе)	65	18,07

Как видно из табл. 4, водород отличается высокой степенью УТС, и чем больше процентная доля его по массе в составе горючей газовой смеси (ГГС) H₂ + CO + CH₄, в сравнении с другими компонентами, тем выше УТС этой смеси (так называемых генераторных газов). Кроме того, водород по УТС во многом превосходит различные виды БМ, в том числе сельскохозяйственных растений и продуктов лесного происхождения (табл. 2), а также промышленных, бытовых, строительных и других ГТО (табл. 3). Что касается жидких видов топлива то, как показано в табл. 4, наименьший УТС имеет метиловый спирт, однако и этот показатель значительно больше УТС всех видов БМ и ГТО.

Для наиболее точной оценки выборочных синтетических видов АТ в табл. 5 приведены их эквиваленты относительно некоторых видов ТТ, БМ и ГТО, указанных в табл. 1, 2 и 3.

Необходимо отметить, что метан, имеющий максимальное значение УТС (табл. 4), относится и к категории ТТ, и к АТ, поскольку его можно получить искусственным путем из навоза домашнего скота и птиц в различных биогазовых установках. Основным преимуществом указанного метода получения метана является то, что не требуется дополнительного источника энергии, поскольку процесс осуществляется с помощью живых микроорганизмов за счет выделенных из них ферментов (биологических катализаторов). При биохимическом разложении навоза и других отходов происходят различные гомогенные (в жидкой фазе), а также гетерогенные (с участием твердой и газовой фазы) процессы, которые в свою очередь разделяются на аэробные (происходящие в присутствии кислорода или воздуха) и анаэробные (с участием диоксида углерода).

К твердым синтетическим видам АТ относится древесный (активированный) уголь, для получения которого также не требуются посторонние источники энергии. Однако, как было указано, область при-

менения этого типа угля ограничена, в частности, в большой энергетике он обычно не применяется.

Анализ табл. 5 показал, что оба синтетических вида жидкого топлива, особенно метанол, относительно некоторых видов ТТ и АТ (нефть и нефтепродукты, природный газ, метан, пропан и т.д.) уступают по УТС. Однако, по сравнению с различными видами БМ, а также промышленных, сельскохозяйственных и бытовых ГТО, эквивалент метанола выше единицы, а по сравнению с влажной древесиной – выше 5, что делает их привлекательными в качестве моторного топлива для различных отраслей промышленности, особенно транспортного сектора. Активированный уголь и этанол тоже уступают по УТС лишь синтетическим видам газообразного топлива, в частности водороду и его смеси с другими газовыми компонентами. В настоящее время во многих странах мира, особенно в Бразилии, синтетический метанол и этанол, полученные из сахарного тростника, используются в качестве автомобильного топлива, которое полностью заменяет бензин [12].

Газообразные синтетические виды АТ более перспективны по сравнению с жидкими видами топлива, так как УТС всех разновидностей газообразного топлива выше основных видов ТТ, а эквиваленты превышают единицу. Как видно из табл. 5, УТС водорода в некоторых случаях достигает даже рекордного значения – 19. Так, его эквиваленты относительно влажной древесины и опилок составляют соответственно 14,29 и 18,87. Однако водород пока не может применяться в качестве бытового топлива: его смесь с воздухом, особенно с кислородом, в объемном проценте от 4 % до 96 % взрывоопасна. В связи с этим при производстве водорода с применением электролиза воды особое внимание уделяется повышению чистоты как водорода, так и кислорода, что во многом зависит от точности поддержания равного давления.



Таблица 5
Эквиваленты основных видов ТТ и АТ, а также БМ и ГТО относительно выборочных видов синтетического АТ

Equivalents of the main types of TF and AF, as well as BM and GSW with respect to selective types of synthetic AF

Table 5

№	Разные виды топлива, БМ, а также бытовых, с/х и промышленных ГТО	Эквиваленты альтернативных видов топлива*						
		1	2	3	4	5	6	7
1	Уголь каменный	1,122	0,781	1,134	4,444	2,890	2,040	2,210
2	Уголь бурый	2,538	1,623	2,353	9,174	6,537	4,614	4,998
3	Торф	2,024	1,294	1,876	7,353	5,213	3,680	3,987
4	Нефть	0,750	0,450	0,695	2,725	1,932	1,364	1,478
5	Керосин	0,759	0,485	0,704	2,755	1,955	1,380	1,495
6	Бензин А-72	0,747	0,477	0,693	2,710	1,924	1,358	1,471
7	Бензин авиационный Б-70	0,749	0,478	0,694	2,717	1,929	1,362	1,475
8	Бензин АИ-93	0,757	0,484	0,702	2,747	1,950	1,376	1,491
9	Дизельное топливо зимнее	0,757	0,484	0,702	2,747	1,950	1,376	1,491
10	Мазут	0,813	0,519	0,754	2,850	2,094	1,478	1,601
11	Метан	0,660	0,422	0,612	2,398	1,700	1,200	1,300
12	Природный газ	0,985	0,630	0,913	3,571	2,537	1,791	1,940
13	Пропан (сжиженный)	0,724	0,463	0,672	2,632	1,865	1,316	1,426
14	Древесные гранулы (паллеты)	1,859	1,140	1,724	6,757	4,788	3,380	3,662
15	Дрова сухие	2,315	1,477	2,146	8,333	5,963	4,209	4,560
16	Дрова березовые сухие	2,639	1,686	2,445	9,615	6,797	4,798	5,198
17	Древесина дубовая	1,658	1,060	1,538	6,024	4,271	3,015	3,266
18	Древесина еловая	1,626	1,040	1,508	5,917	4,188	2,956	3,202
19	Древесина зеленая	5,236	3,344	4,785	18,87	13,49	9,522	10,32
20	Древесина сосновая	1,580	1,010	1,464	5,747	4,070	2,873	3,112
21	Сено	2,049	1,311	1,901	7,463	5,278	3,726	4,036
22	Солома	1,942	1,242	1,802	7,042	5,002	3,531	3,825
23	Щепа	3,021	1,931	2,801	10,99	7,781	5,492	5,950
24	Опилки	3,937	2,519	3,650	14,29	10,14	7,158	7,754
25	Лузга подсолнуха, сои	1,942	1,242	1,802	7,042	5,002	3,531	3,825
26	Лузга рисовая	2,481	1,587	2,300	9,009	6,390	4,511	4,887
27	Костра льна	2,070	1,325	1,919	7,519	5,332	3,764	4,078
28	Початок кукурузы	2,252	1,449	2,088	8,197	5,801	4,095	4,436
29	Хлопчатник (стебли)	2,273	1,453	2,105	8,264	5,855	4,133	4,477
30	Виноградная лоза	2,358	1,508	2,188	8,547	6,074	4,288	4,645
31	Бумага	1,876	1,199	1,739	6,803	4,832	3,411	3,695
32	Картон	2,000	1,279	1,855	7,246	5,152	3,637	3,940
33	Резина	0,985	0,630	0,913	3,577	2,537	1,791	1,940
34	Стекло органическое (оргстекло)	1,192	1,312	1,105	4,329	3,070	2,167	2,348
35	Текстолит	1,580	1,010	1,464	5,747	4,070	2,873	3,112
36	Толь	2,062	1,318	1,912	7,463	5,311	3,749	4,061
37	Каучуки разные	0,776	0,497	0,720	2,817	1,999	1,411	1,529
38	Линолеумы разные	1,590	1,016	1,475	5,780	4,095	2,891	3,132
39	Пенопласты разные	1,297	0,829	1,203	4,717	3,341	2,358	2,554
40	Пенополиуретан	1,359	0,869	1,259	4,926	3,500	2,471	2,677
41	Поливинилхлорид (ПВХ)	1,595	1,019	1,479	5,780	4,108	2,900	3,142
42	Полистирол	0,846	0,541	0,784	3,067	2,179	1,538	1,666
43	Полиэтилен	0,705	0,451	0,654	2,558	1,816	1,282	1,389
44	Рубероид	1,119	0,715	1,037	4,065	2,882	2,034	2,203
45	Плита древесноволокнистая	1,580	1,010	1,464	5,747	4,070	2,873	3,112

*Цифры 1–7, расположенные в верхней части таблицы, относятся соответственно к альтернативным видам топлива, указанным в табл. 4.

В Азербайджане в 90-е годы прошлого века были разработаны некоторые разновидности малогабаритных высокоточных регуляторов разности давлений (РРД) водорода и кислорода, в которых были применены различные модификации датчиков разности давления газов (ДРДГ), в том числе U-образные дифференциальные манометры, а в качестве исполнительного механизма были использованы электро-

магнитные реле как с двумя выпускными клапанами, установленными на линиях выброса обоих газов в атмосферу, так и с одним клапаном, установленным на линии выброса только одного (обычно кислорода) газа и функционирующего по принципу «до себя». Кроме того, были разработаны другие РРД с различными высокочувствительными малогабаритными поплавковыми ДРДГ, в которых были применены

магнитный, оптический и радиационный типы управления [7–10,13–17].

3. Анализ способов получения энергии и АТ из БМ и ГТО

В настоящее время для получения энергии из различных видов БМ и ГТО применяются следующие способы: 1) сжигание; 2) пиролиз; 3) газификация; 4) получение синтетического топлива (синтез-газа); 5) ферментация; 6) анаэробное сбраживание отходов и отмирающих растений в водных средах; 7) получение биогаза из навоза, птичьего помета и т.д.

К сожалению, во многих странах мира, в том числе в Азербайджане, БМ и ГТО утилизируют путем непосредственного сжигания с дальнейшим получением электрической энергии или тепла для горячего водоснабжения и отопления населения, живущего вблизи места обработки. Выбор такого способа связан с тем, что технология процесса очень проста, достаточно хорошо изучена и с коммерческой точки зрения доступна. Но не все виды ГТО подходят для непосредственного сжигания, так как в этом случае образуются экологически вредные газы, а также другие летучие компоненты в виде смеси паров и испаренных смол и масел, которые выбрасываются в атмосферу (особенно опасны 33–45 в табл. 5). Поэтому для сжигания подходят только отходы растительного происхождения, указанные в табл. 5 под номерами 14–32 (прежде чем подавать ГТО в котлы заводов для сжигания, обязательно следует провести их сортировку). Другим недостатком прямого сжигания ГТО является низкая эффективность процесса, так как на открытом пламени значительная часть тепла теряется впустую. Однако при оптимальной подаче окислителя (воздуха или кислорода) в камеру сгорания ГТО, особенно растительного происхождения, в частности древесных отходов, достигаются достаточно высокие показатели энергии, так как все газы, полученные в результате разложения исходного сырья, а также остатки в виде активированного угля полностью сгорают. Для сравнения можно указать, что при использовании дров непосредственно в качестве топлива в обычных печах для приготовления пищи или подогрева воды, эффективность процесса составляет не более 2 %, то есть около 98 % тепла выбрасывается в атмосферу по дымовым трубам. Кроме того, поскольку поступление воздуха к таким печам не регулируется и не оптимизируется, происходит неполное сгорание древесины, что приводит к образованию ядовитых газов (СО), особо опасных для жизни людей. Другие виды БМ и ГТО для указанной цели вовсе не подходят.

Превращение ГТО в горючие смеси газов ($H_2 + CO + CH_4$) осуществляют двумя способами: 1) при температуре (300 ÷ 500 °С) и полном отсутствии воздуха (пиролизный процесс); 2) при температуре 800 ÷ 900 °С в присутствии малого количества кислорода (газификация) или воды (паровая газификация).

При пиролизе получается относительно малое количество горючей газовой смеси по сравнению с газификацией, однако количество полученного древесного угля составляет 10 ÷ 25 %, а во втором случае – не более 10 %. При этом свыше 60 % исходного сырья превращается в горючую смесь газа, состоящую в основном из водорода и монооксида углерода. Несмотря на то, что древесный (активированный) уголь в сравнении с исходным сырьем (древесина и т.д.) является более энергоемким видом топлива, его УТС, как видно из табл. 4 и 5, намного меньше водорода, а также других горючих смесей газов, указанных в табл. 5 в строчках под номерами 5–7. С учетом этого, газификация БМ и ГТО, осуществляемая при температурах 900 ÷ 1 800 °С, привлекает намного большее внимание, чем первый и второй методы: исходное сырьё полностью газифицируется, в конце реакции остается только зола в малом количестве [18–21].

Самым привлекательным для газификации сырьем будет БМ сухой древесины, а также древесных отходов (древесные гранулы (паллеты), щепа, опилки). Это связано с тем, что в состав древесины, а также древесных отходов входит 45 ÷ 60 % целлюлозы, 15 ÷ 35 % лигнина и 15 ÷ 25 % гемицеллюлозы. Кроме того, элементный анализ показал, что в сухой древесине содержатся некоторые количества пектата кальция и магния, смолы, камеди, жиров, танинов, пигментов и минеральных веществ. Сухая древесина содержит около 50 % углерода, 6 % водорода, 44 % кислорода, ~ 0,2 % азота и не более 1 % серы, а количество минеральных веществ (зола) в ней составляет порядка 0,2 ÷ 1,0 %. Однако в ветках и корнях древесины количество золы может быть несколько больше и достигать 2 % и 5 % соответственно. В основном древесная зола состоит из Na_2CO_3 и K_2CO_3 , от 10 % до 25 % которых может растворяться в воде. К нерастворенной части золы относятся: известь, углекислые, кремнекислые и фосфорнокислые соли магния, железа и марганца, которые являются очень важными компонентами [22–24].

Ферментация, анаэробное сбраживание отходов и отмирающих растений в водных средах и получение биогаза из навоза, птичьего помета в данной работе не рассматриваются, поскольку в Азербайджане данным методам практически не уделяется внимания (незначительные работы ведутся только по последнему способу).

4. Предполагаемые запасы различных видов БМ в Азербайджане

Азербайджан обладает большими ресурсами растительных видов БМ. Так, на территории Азербайджана, кроме указанных в табл. 2 видов, имеются стебли камыша (тростника) и табака, а также чертополоха, красной и белой бузины, папоротника и т.д. Все эти растения произрастают как на равнинных, так и в горных местностях всех районов республики, особенно распо-



ложенных в южной части Большого Кавказа, начиная от Шемахи до Белакана, и на территории Нагорного Карабаха и Нахичеванской АО Азербайджанской Республики. На данном этапе определение точного количества таких видов БМ затруднительно, однако предполагается, что использование этих видов БМ при производстве жидкого и газообразного топлива сможет обеспечить республику не только электрической, но и в определенной степени тепловой энергией.

В качестве сырья для получения АТ наиболее интересны древесные отходы. Как показывают прогнозы, только в г. Баку имеется более 2 000 мебельных и других (деревообрабатывающие, плотницкие и т.д.) цехов, каждый из них в течение месяца производит около 150 ÷ 200 кг сухих опилок и 500 ÷ 700 кг других отходов (куски досок, рейки, фанера и щепа). В торговых центрах по продаже древесных материалов количество этих отходов гораздо больше. Таким образом, только в г. Баку в течение одного месяца более 2 000 т ($[(150+200)/2 + (500+700)/2] = 175 + 600 = 775 \cdot 2\,000 = 1\,550$ т; остальные 450 т – отходы торговых центров древесных материалов) сухих опилок и древесных отходов выбрасывается на мусорные свалки, при том что из них можно получить $\sim 22,4 \cdot 10^6$ МДж, или $6,22 \cdot 10^6$ кВт·ч энергии, а за год – 74,6 млн кВт·ч. Если преобразовать это в полезную энергию, с учетом КПД современных теплоэлектростанций, то получится $74,6 \cdot 0,4 \approx 40 \cdot 10^6$ кВт·ч, что равно годовой энергии электростанции мощностью 3 402 кВт (3,4 МВт). Это несколько больше мощности всех мини-электростанций на некоторых горных речках Азербайджана. Если учесть, что месячный расход электроэнергии для комфортного снабжения одной семьи из 5 человек составляет $\sim 350 \div 400$ кВт·ч, то очевидно, что с мощностью 3,4 МВт можно обеспечить один крупный поселок или около 12-ти селений с общим количеством от 6 163 до 7 014 семей. Следует отметить, что не были учтены отходы, образующиеся в других крупных городах, районах и селениях, у которых суммарное количество плотницких цехов и торговых центров по продаже древесных материалов не меньше, чем в г. Баку. Кроме того, древесные отходы, которые образуются при сносе старых и строительстве новых зданий, могут составить в 10 ÷ 15 раз большее количество, чем суммарные отходы всех плотницких, мебельных и других цехов, а также

торговых центров по продаже древесных материалов.

К сожалению, в горных районах республики, особенно в той сельской местности, где не имеется централизованного газоснабжения, продолжается интенсивная вырубка лесов. При этом остается колоссальное количество веток, сучков и т.д., которые со временем высыхают до состояния, наиболее подходящего для получения электрической энергии путем непосредственного сжигания, а также для получения жидкого и газового топлива путем пиролиза и газификации этих отходов. Расчёты показывают, что каждая сельская семья, проживающая вблизи лесных массивов и не обеспеченная природным газом, за год использует $10 \div 15$ м³ влажной древесины. Как видно из табл. 6, на примере с дубом (его плотность в зависимости от влажности меняется так же, как у клена, который в селах Азербайджана больше всего используется в качестве дров) расход одной семьи по весовому показателю тоже составляет примерно 10 ÷ 15 т, так как плотность и дуба, и клена сразу после вырубki составляет 0,99. При этом из каждой партии образуется в 4 ÷ 5 раза (по сравнению с расходом древесины на одну семью) больше веток от деревьев. Таким образом, только в одном селе, состоящем из 500 семей, за год используется 5 000 ÷ 7 500 т древесины, а вес древесных отходов (веток), образовавшихся при этом, составляет около 37 000 т. Если провести аналогичные расчёты для всей республики, то получится примерно в 200 ÷ 300 раз больше, и общий вес древесных отходов может составить свыше 9,38 млн т в год. Правда, около 30 % из этих отходов в дальнейшем самими же жителями используется в качестве топлива для выпечки хлеба (тендир-чурека) в специальных печах, так называемых тендир, а оставшиеся 70 % со временем полностью высыхают в лесу и не используются. Если учесть, что даже после полного высыхания влажность древесины составляет 20 %, то общий вес оставшихся в лесу сухих древесных отходов составит $9,38 \cdot 0,7 \cdot 0,71 = 4,662$ млн т (по показателю, относящемуся к дубу). При определении этого показателя для среднего значения плотности, найденного по табл. 6, с учетом плотностей всех других видов деревьев с влажностью 15 ÷ 20 %, получатся несколько заниженные, но более достоверные данные – $\sim 4,5$ млн т в год.

Изменение плотности дерева в зависимости от влажности (т/м³)

Таблица 6

Change of wood density depending on humidity (t/m³)

Table 6

№	Порода дерева	Процент влажности, %										
		15	20	25	30	40	50	60	70	80	100	Свеж.*
1	Бук	0,68	0,69	0,71	0,72	0,78	0,83	0,89	0,95	1,00	1,11	0,96
2	Дуб	0,70	0,72	0,74	0,76	0,82	0,87	0,93	0,99	1,05	1,16	0,99
3	Граб	0,81	0,83	0,84	0,86	0,93	0,99	1,06	1,13	1,19	1,33	1,06
4	Осина	0,50	0,51	0,53	0,54	0,58	0,62	0,66	0,71	0,75	0,83	0,76

Если учесть, что из 1,5÷2,0 т сухой древесины получается около 1 000 кВт·ч электроэнергии, то из оставшихся в лесу древесных отходов в течение одного года можно получить $(2,25 \div 3,0) \cdot 10^9$ кВт·ч энергии, а общая мощность электростанции, работающей на древесных отходах, с указанной выработкой энергии составит $(2,25 \div 3,0) \cdot 10^9 / 8760 = 318 \div 343$ МВт, что всего в 1,53 ÷ 1,65 раза меньше установленной мощности ТЭЦ, функционирующей в настоящее время в г. Сумгаит.

Кроме того, если учесть сокращение объемов рубки лесов на один порядок, в соответствии с запретами Министерства экологии и природных ресурсов, и применить плановый подход, из древесных отходов, оставшихся в лесу, можно получить в 5,5÷5,9 раза больше энергии по сравнению с суммарной энергией ВЭС и СЭС, функционирующих в различных регионах Азербайджана. Здесь сравнение велось с учетом данных 2016 г., максимальных за

весь период использования ВЭС и СЭС в Азербайджане, начиная с 2009 г. В табл. 7 приведены данные за 2012–2016 гг. [25–27].

После строительства в г. Баку Балаханского завода по сжиганию мусора, каждый год вырабатывается значительное количество электрической энергии, которая существенно превышает суммарную энергию ВЭС и СЭС. Это обусловлено тем, что пока в Азербайджане все СЭС и ВЭС поставляются из-за рубежа, а установка, обслуживание и ремонт этих станций ведутся только зарубежными специалистами, что значительно замедляет развитие альтернативной энергетики в республике. Кроме того, кадровая политика тоже пока развивается не на должном уровне. Необходимо отметить, что данные табл. 7 по сжиганию отходов относятся только к твердым бытовым отходам – годовое количество на душу населения составляет ~400 кг [27].

Выработка электрической энергии в Азербайджане за 2012–2016 гг. различными видами электрических станций (млн кВт·ч)

Таблица 7

Electricity generation in Azerbaijan in the period of 2012–2016 through various types of power plants (million kW·h)

Table 7

Количество электроэнергии	Годы				
	2012	2013	2014	2015	2016
Суммарное	22 988,1	23 354,4	24 727,7	24 688,4	24 952,9
ГЭС	1 821,0	1 489,1	1 299,7	1 637,5	1 959,3
ТЭС (все виды вместе)	20 972,5	21 526,7	23 069,3	22 697,8	22 694,4
ВЭС	–	0,8	2,3	4,6	22,8
СЭС	–	0,8	2,9	4,6	35,3
Сжигание отходов	–	134,1	173,5	181,8	174,5
Сжигание древесины	194,6	202,9	180,0	162,1	66,6

В Институте радиационных проблем НАН Азербайджана ведутся интенсивные работы по получению ГГС из скорлупы грецкого ореха и фундука [28–31]. Такой выбор тоже не случаен, так как основная часть этой скорлупы состоит из целлюлозы, которая легко превращается в жидкие, газообразные и твердые топлива. Кроме того, в составе скорлупы грецкого ореха и фундука имеется незначительное количество калия, кальция и магния, которые не оказывают негативного влияния на процессы превращения энергии. Количество азота и серы меньше 1,5 % и 0,1 % соответственно. А количество лигнина, являющегося основной частью БМ, составляет около 50 % [18–24, 29]. Благодаря большому количеству минеральных веществ в составе скорлупы, остатки термохимической реакции (зола) могут быть использованы в качестве минеральных удобрений.

Азербайджан обладает большими ресурсами фундука и грецкого ореха, объем которых ежегодно растет [32]. Суммарная территория экономических зон Азербайджана, занимающихся производством

фундука, составляет ~20 000 га с годовым производством с каждого гектара ~2,5 т фундука. Согласно данным [32], за последние годы общие ресурсы орехоплодных культур составили свыше 80 тыс. т, из которых получается ~40 тыс. т сухих остатков БМ с УТС ~ 18 000 кДж/кг (~5 кВт·ч), из которых, в свою очередь, в течение одного года можно получить $72 \cdot 10^{10}$ кДж/год ($200 \cdot 10^6$ кВт·ч) энергии. Такое количество энергии всего в 9,8 раза меньше суммарной годовой энергии, вырабатываемой всеми ГЭС, функционирующими в Азербайджане, и в 3,43 раза больше суммарной годовой выработки энергии всех ВЭС и СЭС вместе взятых, установленных в различных регионах республики (сравнение ведется по данным 2016 г., приведенным в табл. 7).

В 2014 г. в Закатальском районе Азербайджана был построен завод по обработке фундука с установленной мощностью до 3 000 т в год. В дальнейшем в Азербайджане планируется увеличить производство фундука и обеспечить его поставки не только на внутренний рынок, а также в Россию и ряд европей-



ских стран [33]: были заключены договоренности о поставках фундука на рынки Германии, Франции и Бельгии. Известно, что в настоящее время на фундучных плантациях мира считаются достижимыми показатели 30 ц/га в скорлупе, около 17 ц/га – по ядру [30]. Естественно, это касается лучших сортов фундука. Из диких сортов получается более 50 %, а иногда до 60 % скорлупы. Именно такие сорта представляют интерес для получения горючих газов. Необходимо отметить, что в отличие от фундука грецкие орехи растут не только на равнинных, но также в горных и предгорных лесных массивах (без хозяина). Кроме того, в частных дворах и на приусадебных участках тоже имеется большое количество ореховых деревьев. Еще в середине XX в. в некоторых горных и предгорных районах, начиная от Шемахи до Белакана, школьниками средней школы были посажены многочисленные ореховые саженцы, которые в настоящее время дают урожай [32, 33]. Поэтому на территории Азербайджана как общее количество ореховых деревьев, так и их плодородность гораздо выше, чем у лещины. Необходимо отметить, что отдача грецких орехов по скорлупе также значительно больше в сравнении с фундуком. Так, в лучшем случае из 2,0 ÷ 2,5 кг кедрового ореха можно получить 1,0 кг ядра. В большинстве случаев из 2,5 ÷ 3,0 кг ореха, полученных от ореховых деревьев, которые растут в горных массивах и предгорных долинах, получается всего лишь 1,0 кг ядра, то есть отдача таких сортов ореха по скорлупе составляет примерно 50 ÷ 67 %.

Таким образом, использование скорлупы грецкого ореха и фундука как сырья для получения горючих смесей газов из БМ выгодно.

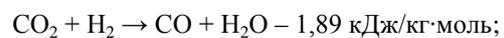
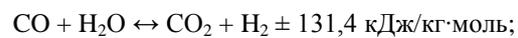
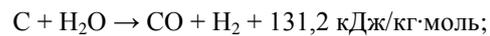
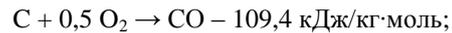
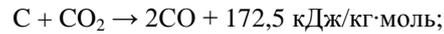
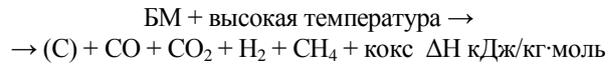
5. Анализ возможности использования солнечной энергии для получения газообразных видов АТ из БМ и ГТО

Реакции пиролиза и газификации всех видов БМ и ГТО, в том числе скорлупы грецкого ореха и фундука, с водяным паром относятся к числу сложных гетерогенных, гомогенных и вторичных физико-химических процессов. Так, если в начале газификации БМ и ГТО происходят окислительно-деструктивные реакции превращения углеводородного сырья, то затем наступает момент, когда химические изменения в системе определяются реакциями газификации углеродных частиц с водяным паром. Что же касается вторичных процессов, то при этом происходят: 1) термическое разложение смолы; 2) паровой риформинг смолы; 3) риформинг высших углеводородов; 4) паровой риформинг высших углеводородов [34, 35].

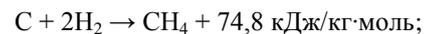
Учитывая ограничения по объему статьи, ниже приводятся только основные реакции, происходящие при пиролизе и газификации БМ и ГТО, многие из которых являются сопряженными. Более подробно

экспериментальная часть будет рассматриваться в следующих статьях.

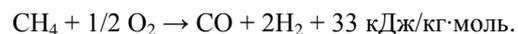
Реакции, происходящие с применением высокотемпературной энергии:



Кроме того, происходят реакции с получением метана:



Возможна также реакция окисления метана с кислородом с дальнейшим получением моноокси углерода и водорода:



Большинство этих реакций являются эндотермическими, для их осуществления необходима высокая температура и большое количество тепла. Поэтому для проведения этих процессов предпочтение отдается солнечным высокотемпературным энергетическим установкам (СВЭУ) с параболическими концентраторами (ПК).

В Институте радиационных проблем НАН Азербайджана, начиная с 1974 г. прошлого столетия, были созданы некоторые разновидности подобных газификаторов, то есть СВЭУ, у которых в качестве источника энергии были использованы ПК с диаметрами 1,5 м и 2,0 м. На этих установках было проведено термохимическое разложение бурого угля (в присутствии водяного пара), а также различных видов БМ, в том числе, виноградных лоз, стеблей хлопчатника, веточек табака, скорлупы грецкого ореха и фундука, органических отходов нефтяной промышленности, шелкового и кожевенного производства и т.д. как путем пиролиза, так и газификации

[20, 21, 28–31]. В данное время одна из таких установок находится на гелиополигоне института и проходит натурные испытания в климатических условиях г. Баку [29, 30]. На рис. 1 представлен общий вид СВЭУ с двумя ПК, позволяющей одновременно про-



Рис. 1 – Общий вид СВЭУ с двумя ПК
Fig. 1 – General view of the SHTPP with two PK

водить процессы пиролиза и газификации БМ, а на рис. 2 – общий вид гелиореакторов, использованных в разное время на этих установках (получены А.С. СССР [20, 28, 29]).



Рис. 2 – Общий вид гелиореакторов, используемых в разное время на СВЭУ
Fig. 2 – General types of solar reactors used at different time at SHTPP

Азербайджан является одной из богатейших стран мира по ресурсам солнечной энергии, поэтому использование солнечной энергии как для пиролиза, так и для газификации БМ и ГТО имеет большие перспективы. Как было определено ранее [36], в большинстве регионов Азербайджана максимальное значение интенсивности солнечной радиации (ИСР) на 1 м² горизонтальной поверхности в полдень достигает 950 Вт/м². В климатических условиях Апшеронского полуострова, в том числе г. Баку, среднегодовое значение ИСР на 1 м² горизонтальной плоскости составляет 215 Вт/м², а в Нахичеванской АР и в некоторых высокогорных местностях республики, входящие в зону Д (классификацию см. в [36]) этот показатель достигает 230 Вт/м². Годовая выработка энергии с 1 м² горизонтальной поверхности в условиях г. Баку составляет ~1 850 кВт·ч/м², минимальное значение числа часов солнечного сияния (ЧЧСС), характерного для зоны А, составляет около 2 000 ч/год, а максимальное значение, наблюдаемое в основном в регионах республики, входящих в зону Д, – около 3 000 ч/год. Следует отметить, что данные, приведенные в большинстве источников [37–40], как по количеству среднемесячных и годовых значений ИСР, так и ЧЧСС не соответствуют действительности. Это связано с тем, что во второй половине XX в. измерения по солнечному кадастру в высокогорной местности проводились на высокогорьях Грузии, Армении и Дагестана. Для Азербайджана эти параметры были определены расчетным путем, и в конечном итоге получились заниженные значения.

Таким образом, во всех регионах Азербайджана применение солнечной энергии для пиролиза и газификации БМ и ГТО весьма актуально.

Однако СВЭУ имеют ограниченные мощности, поэтому они могут быть использованы только для снабжения ГГС частных домов с количеством жите-

лей до 10-ти человек. А для обеспечения более крупных потребителей синтетическим видом газа (генераторным газом) во многих крупных компаниях мира разработаны различные виды газификаторов мощностью до 100 МВт и выше. Общее количество таких газификаторов, которые служат для производства древесного (активированного) угля и ГГС, составляет свыше 3 000 [19]. Полученные газовые смеси могут быть использованы в автомобилях, а также на теплоэлектрических станциях в качестве топлива. Однако при этом мощности этих станций снижаются до 40 %, а полученные ГГС следует хорошо очищать от вредных компонентов и осушать.

Основными ведущими странами по разработке и созданию подобных газификаторов являются: США, Италия, Финляндия, Канада, Германия, Португалия, Голландия, Испания, Австралия, Великобритания, Малайзия и т.д. [41–43]. Необходимо отметить, что во всех этих газификаторах для получения высокой температуры (800 ÷ 1 300 °С) используются газообразное или жидкое виды АТ или же часть БМ и ГТО, являющихся сырьем для получения ГГС, что отрицательно влияет на общую эффективность установок. С учетом этого обстоятельства, особое значение приобретают установки, функционирующие на других видах ВИЭ, в частности, ВЭС и СЭС большой мощности. При этом одновременно решаются две задачи: преобразование солнечной и ветровой энергии и аккумуляция этой энергии в виде ГГС. Наибольший эффект можно получить в случае создания гибридных установок с возможностью комбинированного использования ВЭС и СЭС в качестве источников энергии. Однако необходимо решить некоторые проблемы, в первую очередь разработать новые виды газификаторов (термохимических реакторов) как с внутренним, так и с наружным подводами энергии посредством высокотемпературных электрических печей. В настоящее время в Институте радиацион-



ных исследований ведутся определенные работы в этом направлении.

6. Заключение

Проведенные исследования показали, что запасы нефти в Азербайджане могут полностью иссякнуть через 33,5 года, а запасы газа – через 117 лет, без учета темпов роста экспортируемой части этих видов топлива в европейские страны. Для выхода из этого положения следует производить новые синтетические виды АТ из возобновляемых видов сырья, особенно из БМ и ГТО.

Азербайджан обладает большими запасами БМ и ГТО, из которых путем пиролиза и газификации можно получить высококачественные ГГС с составом $H_2+CO+CH_4$. Остатки реакции термохимического разложения БМ и ГТО на ГГС могут быть использованы в качестве минеральных удобрений в сельском хозяйстве. Учитывая энергоёмкость процесса термохимического разложения БМ и ГТО на ГГС, для проведения этого процесса предпочтение отдается энергии ВЭС и СЭС.

В состав древесины, а также древесных отходов входит 45 ÷ 60 % целлюлозы, 15 ÷ 35 % лигнина и 15 ÷ 25 % гемицеллюлозы. Кроме того, элементный анализ показал, что сухая древесина содержит около 50 % углерода, 6 % водорода, 44 % кислорода, ~ 0,2 % азота и не более 1 % серы. Количество золы в ней составляет порядка 0,2 ÷ 1,0 %, однако в ветках и корнях древесины количество золы может быть несколько больше и достигать 2 % и 5 % соответственно. В основном древесная зола состоит из Na_2CO_3 и K_2CO_3 , от 10 % до 25 % которых может растворяться в воде.

Был проведен сопоставительный анализ основных методов получения АТ из БМ и ГТО, особенно жидкого и газообразного видов АТ, в том числе метанола, этанола, ГГС (генераторного газа) с химическим составом $H_2+CO+CH_4$, чистого водорода и биогаза. Основные трудности получения чистого водорода и его использования в качестве бытового топлива связаны с истощением запасов метана и экологическими проблемами в случае с паровой конверсией метана и с большой энергоёмкостью и проблемами безопасности в случае электролиза воды.

Для условий Азербайджана более перспективными видами БМ, для получения жидкого и газообразного видов АТ, являются как различные виды древесных отходов (древесные гранулы и др.), так и лужга подсолнечника (или сои), початки кукурузы, лужга рисовая, стебли хлопчатника, виноградная лоза, стебли камыша (тростника) и табака, чертополоха, красной и белой бузины, сено, солома, папоротник и т.д. Кроме БМ, посредством пиролиза и газификации для получения различных видов АТ, в том числе газообразного, могут служить также различные виды ГТО, такие как бумага, картон, плиты древесноволокнистые (паллеты), а также ряд органических от-

ходов, например, резина, стекло органическое, текстолит, толь, каучуки, линолеумы, пенопласты, пенополиуретан, поливинилхлорид, полистирол, полиэтилен, рубероид и т.д. Минимальное и максимальное значения УТС органических видов ГТО составляют 14,3 МДж/кг (линолеум ПВХ) и 47 МДж/кг (полиэтилен высокого давления) соответственно, а УТС большинства из них меняется в пределах 15 ÷ 30 МДж/кг.

По прогнозным оценкам в течение одного месяца можно получить $6,22 \cdot 10^6$ кВт·ч, а в течение одного года 74,6 млн. кВт·ч энергии, что равносильно энергии одной электростанции, установленной мощностью 3,4 МВт, что существенно больше суммарной мощности всех мини-электростанций, построенных на некоторых горных речках Азербайджана, и достаточно для надежного электроснабжения одного крупного поселка или около 12-ти селений с общим количеством от 6 163 до 7 014 семей.

Количество древесных отходов, образующихся при сносе старых и строительстве новых зданий, составляет в 10 ÷ 15 раза больше, чем суммарные отходы всех плотницких и мебельных цехов, а также торговых центров древесных материалов.

Прогнозы показывают, что только в одном селе, состоящем из 500 семей, в течение года в качестве топлива используются 5 000 ÷ 7 500 тонн дров, а количество древесных отходов, образовавшихся при этом, составляет около 37 000 т. По всей республике этот показатель равен 9,38 млн тонн в год. Из указанного количества древесных отходов можно получить $(2,25 \div 3,0) \cdot 10^9$ кВт·ч энергии, что равносильно энергии электростанции мощностью 318 ÷ 343 МВт (в 1,53 ÷ 1,65 раза меньше мощности ТЭЦ Сумгаит) и в 5,5 ÷ 5,9 раза больше суммарной энергии ВЭС и СЭС, функционирующих в различных регионах Азербайджана.

В Азербайджане суммарная территория для выращивания фундука составляет ~20 000 га, с годовым производством с каждого гектара ~2,5 т продукции. При этом общее количество орехоплодных культур составляет свыше 80 000 т, из которых получается ~40 000 т сухих остатков БМ с УТС ~ 18 000 кДж/кг (~5 кВт·ч). Из указанного количества БМ можно получить $72 \cdot 10^{10}$ кДж/год ($200 \cdot 10^6$ кВт·ч) энергии, которая всего лишь в 9,8 раза меньше суммарной годовой энергии, вырабатываемой всеми ГЭС, функционирующими в Азербайджане, и в 3,43 раза больше суммарной годовой выработки энергии всех ВЭС и СЭС республики вместе взятых.

При этом у лучших сортов грецкого ореха и фундука отдача по скорлупе значительно выше, чем у диких сортов: у дикого фундука до 60 %, у дикого грецкого ореха до 67 %, что делает их более выгодными в качестве БМ для получения газообразного АТ.



СВЭУ, разработанные, созданные и прошедшие натурные испытания на гелиополигоне лаборатории «Преобразование возобновляемых видов энергии» Института радиационных проблем НАН Азербайджана, пригодны для снабжения ГТС частных домов с количеством жителей до 10-ти человек, а для снабжения генераторным газом более крупных потребителей целесообразно совместное использование солнечной и ветровой энергии и создание термохимических реакторов, работающих от электрической энергии.

Список литературы

[1] Мировые запасы нефти и газа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studopedia.ru/16_56368_mirovie-zapasi-nefti-i-gaza.html. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 08.06.2018.)

[2] Запасы нефти в мире по странам список (обн. 2016). Доказанные ... [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.neft-gaz-iskopaemye.rf/zapasi-nefti-v-mire-po-stranam. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 28.08.2016).

[3] Рейтинг стран по запасам газа – NoNews [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nonews.co/directory/lists/countries/gas-reserves>. Statistical Review of World Energy. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 14.06.2018.).

[4] III Национальное сообщение Азербайджана на Конвенцию ООН по изменению климата / Министерство Экологии и Природных Ресурсов Азербайджанской Республики, Баку: 2015. – 100 с. (язык оригинала – азербайджанский)

[5] Azərbaycanın neft və qaz ehtiyatları açıqlandı – Sputnik.az [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sputnik.az/economy/.../neft-qaz-ehiyatlarimiz-hecmi.html>. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 09.07.2018).

[6] Удельная теплота сгорания топлива и горючих материалов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://thermalinfo.ru/eto-interesno/udelnaya-teplota-sgoraniya-topliva-i-goryuchih-materialov>. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 18.06.2018.)

[7] Саламов, О.М. Аккумуляция солнечной энергии с использованием полупроводниковых фотопреобразователей: Автореф. дис... канд. физ.-мат. наук. Баку, 1990.

[8] Salamov, O.M. Obtaining of hydrogen and oxygen from water, under the pressure by solar-photovoltaic electrolysis power plant [Текст] / O.M. Salamov, F.F. Mammadov // 2-nd International hydrogen Energy Congress and Exhibition: HEC. Istanbul, Turkey. – 2007. – С. 306–312.

[9] Rzaeva, M.P. Photoelectric plant for hydrogen and oxygen productions by water electrolysis under pressure [Text] / M.P.Rzaeva, O.M.Salamov // Renewable Energy Journal. – 2001. – No. 24. – P. 319–326.

[10] Salamov, O.M. Solar electrolyzer plant to get high-clean hydrogen and oxygen from water under pressure [Text] / O.M. Salamov, A.A. Qaribov // 9-th International Congress: Energy, Ecology and economy. – Baku, 2007. – С. 31–35.

[11] Таблица теплотворности – Альфа-Инвест [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://alpha-invest.com.ua/aktualno/tablitza-teplotvornosti.html>. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 18.06.2018.).

[12] Pankov, E. Реализация этанолового проекта в Бразилии: тенденции и перспективы [Электронный ресурс] / E. Pankov // Мировое и национальное хозяйство: Издание МГИМО МИД России. – 2015. – №1 (32). – Режим доступа: <http://www.mirec.ru/2015-01/realiza-ciyaetanolo-vogo-proekta-v-brazilii>. – (Дата обращения: 19.06.2018.).

[13] А.с. 1063867 СССР МКИ6 С 25В 15/02, F 03 D 9/02. Устройство для управления работой электролизной установки / Бакиров М.Я., Ахундов Ф.М., Саламов О.М., Рзаев П.Ф.; заявитель и патентообладатель Сектор Рад. Иссл. при Презид. АН АзССР. – № 3391671/23-26; заявл.26.05.82; опубл. 30.12.83, Бюл. №48.

[14] А.с. СССР, № 1367539 МКИ6 С 25В 15/02. Солнечная электролизная установка для получения водорода и кислорода под давлением / Саламов О.М., Рзаев П.Ф. и др.; заявитель и патентообладатель Сектор рад. иссл. при Презид. АН АзССР. – № 3999541; заявл.27.12.85; дата выдачи А.С. СССР. – 15.09.1987. – с грифом «ДСП».

[15] Саламов, О.М. Возможности применения солнечной энергии для проведения электролиза воды под давлением [Текст] / О.М. Саламов [и др.] // Гелиотехника. – 1988. – № 1. – С. 67–71.

[16] Патент № İ 2015 0085 Азербайджанской Республики МПК7 F03D 9/02, C25B 1/12. Ветроэнергетическая установка для получения водорода и кислорода / Гашимов А.М., Саламов О.М.; заявитель и патентообладатель Инст. Радиацион. Пробл. НАН Азербайджана. – № а 2011 0057; заявл.05.04.2011; дата выдачи патента. – 16.12.2015 (язык оригинала – азербайджанский).

[17] Патент № İ 2017 0051 Азербайджанской Республики МПК7 C25B 1/08, 1/12; C21H 5/00; C21K 1/00; H01H 36/02;. Солнечная электролизная установка для получения водорода и кислорода / Саламов О.М., Мехтиева Р.Н.; заявитель и патентообладатель Инст. Радиацион. Пробл. НАН Азербайджана. – № а 2014 0036; заявл.07.04.2014; дата выдачи патента. – 13.10. 2017 (язык оригинала – азербайджанский).

[18] Биомасса как источник энергии. / Перевод с англ. под ред. С. Соуфера, О Заборски. – М.: «Мир», 1985. – 368 с.

[19] Биомасса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.rea.org.ua/dieret/Biomass.html. – (Дата обращения: 27.06.2018).

[20] Эфендиева, Н.Г. Физико-химические процессы гелиогазификации сельскохозяйственных отходов: Автореф. дис. канд. физ.-хим. наук. Баку, 1991.



[21] Султанова, К.Д. Закономерности превращение биомассы в горючие газы под влиянием солнечного и γ -излучений: Автореф. дис. канд. хим. наук. Баку, 2010 (язык оригинала – азербайджанский).

[22] Сергеев, В.В. Теплоэнергетические основы промышленной слоевой газификации растительной биомассы: Автореф. дис. докт. техн. наук. Санкт-Петербург, 2009.

[23] Газификация древесины и сельскохозяйственных отходов/title> [Электронный ресурс]. – Режим доступа: s-am.narod.ru/techno/wood_gasification_theory.html. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 02.07.2018.)

[24] Сафин, Р.Г. Газификация древесных отходов [Текст] / Р.Г. Сафин [и др.] // Вестник казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17. – № 8. – С. 108–111.

[25] Проект по развитию альтернативной энергетики. (Когенерация Биомассы), Азербайджан, Промежуточный отчет ТА-8364 AZE / 20-23-00110_ATB_Azərbaycan_Biokütlə Lahmayer International GmbH. – Баку: Изд-во Bakı Kertografiya Fabriki, 2015. – 145 с. (язык оригинала – азербайджанский).

[26] «Государственная стратегия 2015-2020 - по использованию Альтернативных и Возобновляемых Источников Энергии» Отчетный проект по стратегии и экологической оценки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.unec.org/fileadmin/DAM/.../SEA/_AZ_Droft_Report_2015.pdf. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 04.07.2018) (язык оригинала – азербайджанский).

[27] Energy of Azerbaijan. Official publication. Statistical yearbook /State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan. – Baku.: 2017. – 150 с. (язык оригинала – азербайджанский).

[28] Рзаев, П.Ф. Гелиоэнергоаккумулирующие установки: Автореф. дис....докт. техн. наук. Ашхабад, 1985.

[29] Salamov, O.M. Improvoment of Efficiency of the Solar-Assisted Production of a Combustible Gas Mixture from Biomass [Текст] / O.M. Salamov, A.A. Garibov, K.D. Sultanova // Applied Solar Energy. – 2015. – Vol. 51. – No. 4. – P. 322–327.

[30] Патент № İ 2012 0093 Азербайджанской Республики МПК8 СО1В 3/00; F24J 2/42. Солнечная установка для газификации биомассы и органических отходов / Саламов О.М., Султанова К.Д., Гарибов А.А.; заявитель и патентообладатель Инст. Радиаци. Пробл. НАН Азербайджана. – № а 2009 0134; заявл.29.06.2009; дата выдачи патента. – 01.11.2012 (язык оригинала – азербайджанский).

[31] Патент № İ 2007 0129 Азербайджанской Республики МПК8 СО1В 3/00; F24J 2/42. Установка для получения высокочистого водорода и горючей смеси газов с использованием солнечной энергии / Саламов

О.М., Гарибов А.А., и др.; заявитель и патентообладатель Инст. Радиаци. Пробл. НАН Азербайджана. – № а 2005 0248; заявл.03.11.2005; дата выдачи патента. – 10.07.2007 (язык оригинала – азербайджанский).

[32] Азербайджан занимает четвертую позицию в мире по экспорту фундука [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://orehovod.com/articles/787-azerbaidzhan-zanimaet-chetver-tuyu-poziciyu-v-mire-po-eksportu-funduka.html>. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 03.08.2018.).

[33] Орех – кормилец: Азербайджан увеличит поставки фундука за рубеж [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mir24.tv/news/16269080/oreh-kormilec-azerbaidzhan-uvulichit-postavki-funduka-za-rubezh>. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 24.09.2017.).

[34] Рахманкулов, Д.Л. Современные методы газификации биомассы [Текст] / Д.Л. Рахманкулов [и др.] // Башкирский химический журнал. – 2010. – Т. 17. – № 2. – С. 36–42.

[35] Федюхин, А.В. Разработка систем комбинированной выработки тепловой и электрической энергии на основе исследования процессов пиролиза и газификации биомассы: дис. канд. техн. наук. М., 2014.

[36] Саламов, О.М. Перспективы использования солнечной энергии в Азербайджане [Текст] / О.М. Саламов, А.М. Гашимов, Ф.Ф. Алиев // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEЕ). – 2013. – № 8. – С. 64–78.

[37] Мамедов, Г.Ш. Экологический атлас Азербайджанской Республики / Мамедов Г.Ш., М.Ю. Халилов, С.З. Мамедова. – Баку: Изд-во Бакинская картографическая фабрика, 2009. – 156 с.

[38] Шихлинский, Э.М. Тепловой баланс Азербайджанской ССР / Э.М. Шихлинский. – Баку: Изд-во Элм, 1969. – 199 с.

[39] Климат Азербайджана / под ред. А.А. Мадатаде, Э.М. Шихлинского. – Баку: Изд-во АН Азербайджанской ССР, 1968. – 340 с.

[40] Атлас теплового баланса Азербайджанской ССР /под ред. Э.М. Шихлинского. – М.: Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР, 1978. – 92 с.

[41] Железная, Т.А. Обзор современных технологий газификации биомассы [Текст] / Т.А. Железная, Г.Г. Гелетуха // Промышленная теплотехника. – 2006. – Т. 28. – № 2. – С. 75–85.

[42] Современные технологии газификации биомассы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://gisee.ru/articles/foreign_stat/23677/. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 29.08.2018).

[43] Рахманкулов, Д.Л. Успехи и проблемы производства альтернативных источников топлива и химического сырья. Пиролиз биомассы [Текст] / Д.Л. Рахманкулов [и др.] // Башкирский химический журнал. – 2008. – Т. 15. – № 2. – С. 36–52.



References

- [1] World reserves of oil and gas (Mirovye zapasy nefi i gaza) [E-resource]. Available on: https://studopedia.ru/16_56368_mirovie-zapasi-nefti-i-gaza.html. (06.08.2018.).
- [2] Oil reserves in the world by country list (Zapasy nefi v mire po stranam spisok) (obn.2016). Dokazanye [E-resource]. Available on: www.neft'-gaz-iskopaemye.rf/zapasi-nefti-v-mire-po-stranam (08.28.2016.).
- [3] Gas Stock Rating NoNews (Reiting stran po zapasam gaza – NoNews) [E-resource]. Available on: <https://nonews.co/directory/lists/countries/gas-reserves>. Statistical Review of World Energy (06.14.2018.).
- [4] III National Communication of Azerbaijan to the UN Convention on Climate Change (III Natsional'noe soobshchenie Azerbaidzhana na Konventsii OON po izmeneniyu klimata) / Ministerstvo Ekologii i Prirodnikh Resursov Azerbaidzhanskoi Respubliki, Baku, 2015; 100 p.
- [5] Revealed oil and gas reserves of Azerbaijan (Azərbaycanın neft və qaz ehtiyatları açılındı – Sputnik.az) [E-resource]. Available on: <https://sputnik.az/economy/.../neft-qaz-ehityatlarimiz-hecmi.html>. (07.09.2018.).
- [6] Specific heat of combustion of fuel and combustible materials (Udel'naya teplota sgoraniya topliva i goryuchikh materialov) [E-resource]. Available on: <http://thermalinfo.ru/eto-interesno/udel'naya-teplota-sgoraniya-topliva-i-goryuchih-materia-lov>. (06.18.2018.).
- [7] Salamov O.M. Accumulation of solar energy using semiconductor photovoltaic cells (Akkumulirovanie solnechnoi energii s ispol'zovaniem poluprovodnikovykh fotopreobrazovatelei: Avtoref. dis... kand. fiz.-mat. nauk). Ph.D. Thesis, Baku, 1990.
- [8] Salamov O.M., Mammadov F.F., Samadova U.F. Obtaining of hydrogen and oxygen from water, under the pressure by solar-photovoltaic electrolysis power plant. 2-nd International hydrogen Energy Congress and Exhibition: HEC. Istanbul, Turkey, 2007; p. 306–312 (in Eng.).
- [9] Rzayeva M.P., Salamov O.M. Photoelectric plant for hydrogen and oxygen productions by water electrolysis under pressure. *Renewable Energy Journal*, 2001; 24:319–326.
- [10] Salamov O.M., Qaribov A.A. Solar electrolyzer plant to get high-clean hydrogen and oxygen from water under pressure. 9-th International Congress: Energy, Ecology and economy. Baku, 2007; p. 31–35.
- [11] Calorific value table – Alpha-Invest (Tablitsa teplotvornosti – Alfa-Invest) [E-resource]. Available on: <https://a-invest.com.ua/aktualno/tablitsa-teplotvornosti.html> (06.18.2018.).
- [12] Pankov E. Realizatsiya etanolovogo proekta v Brazili: tendentsii i perspektivy [E-resource]. Mirovye i natsional'noe khozyaistvo»: Izdanie MGIMO MID Rossii, 2015, no. 1(32). Available on: <http://www.mirec.ru/2015-01/realiza-ciya-etanolovogo-proekta-v-brazilii> (06.19.2018.).
- [13] Bakirov M.Ya., Akhundov F.M., Salamov O.M., Rzaev P.F. A.c. 1063867 USSR MKI6 S 25V 15/02, F 03 D 9/02. Device for controlling the operation of the electrolysis plant (Ustroistvo dlya upravleniya rabotoi elektroliznoi ustanovki); zayavitel' i patentoobladatel' Sektor Rad. Issl. pri Prezid. AN AzSSR no. 3391671/23-26; zayavl.26.05.82; opubl. 30.12.83, Bul. no. 48.
- [14] Salamov O.M., Rzaev P.F. et al. A.c. USSR, no. 1367539 MKI6 S 25V 15/02. Solar electrolysis unit for producing hydrogen and oxygen under pressure (Solnechnaya elektroliznaya ustanovka dlya polucheniya vodoroda i kisloroda pod davleniem); zayavitel' i patentoobladatel' Sektor Rad. Issl. pri Prezid. AN AzSSR; no 3999541; zayavl.27.12.85; data vydachi A.c. USSR: 15.09.1987.
- [15] Salamov O.M., Bakirov M.Ya., Rzayev P.F. The possibility of using solar energy for the electrolysis of water under pressure (Vozmozhnosti primeneniya solnechnoi energii dlya provedeniya elektroliza vody pod davleniem). *Geliotekhnika*, 1988; 1:67–71.
- [16] Gashimov A.M., Salamov O.M., Rzayev P.F. Patent No İ 2015 0085 of the Republic of Azerbaijan MPK7 F03D 9/02, C25B 1/12. Wind power plant for hydrogen and oxygen (Vetroenergeticheskaya ustanovka dlya polucheniya vodoroda i kisloroda); zayavitel' i patentoobladatel' Inst. Radiats. Probl. NAN Azerbaidzhana; no a 2011 0057; zayavl. 05.04. 2011; data vydachi patenta 16.12.2015 (in Azerbaijani).
- [17] Salamov O.M., Mekhtieva R.N. Patent No İ 2017 0051 of the Republic of Azerbaijan MPK7 C25B 1/08, 1/12; C21H 5/00; C21K 1/00; H01H 36/02. Solar electrolysis unit for hydrogen and oxygen (Solnechnaya elektroliznaya ustanovka dlya polucheniya vodoroda i kisloroda); zayavitel' i patentoobladatel' Inst. Radiats. Pr. NAN Azerbaidzhana; no a 2014 0036; zayavl.07.04.2014; data vydachi patenta.- 13.10.2017 (in Azerbaijani).
- [18] Biomass as an energy source (Biomassa kak istochnik energii) / Ed. S. Soufer, O Zaborski. Moscow: Mir Publ., 1985; 368 p.
- [19] Biomass (Biomassa) [E-resource]. Available on: www.rea.org.ua/dieret/Biomassa.html. (06.27.2018.).
- [20] Efendieva N.G. Physical and chemical processes of heliogazification of agricultural wastes (Fiziko-khimicheskie protsessy geliogazifikatsii sel'skokhozyaistven-nykh otkhodov): Ph.D. thesis. Baku, 1991.
- [21] Sultanova K.D. Regularities of the conversion of biomass into flammable gases under the influence of solar and γ -radiation (Zakonomernosti prevrashchenie biomassy v goryuchie gazy pod vliyaniem solnechnogo i γ -izlucheniya): Ph.D. thesis. Baku, 2010.
- [22] Sergeev V.V. Thermal Energy Basics of Industrial Layered Gasification of Plant Biomass (Teploenergeticheskie osnovy promyshlennoi sloevoi



gazifikatsii rastitel'noi biomassy): D.Sc. thesis. Saint-Petersburg, 2009.

[23] Gasification of wood and agricultural waste (Gazifikatsiya drevesiny i sel'skokhozyaistvennykh otkhodov) [E-resource]. Available on: c-a-m.narod.ru/techno/wood_gasification_theory.html (07.02.2018.).

[24] Safin R.G., Timerbaev N.F., Akhmetova D.A., Zaitdinov R.R., Khabibullina A.R. Gasification of wood waste Gazifikatsiya drevesnykh otkhodov. *Vestnik kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2014;17(8):108–111.

[25] Alternative Energy Development Project. (Biomass Cogeneration), Azerbaijan, Interim Report (Proekt po razvitiyu Al'ternativnoi energetiki. (Kogeneratsiya Biomassy), Azerbaidzhan, Promezhutochnyi otchet) TA-8364 AZE / 20-23-00110_ATB_Azərbaycan_Biokütlə Lahmayer International GmbH. Baku: Izd-vo Baku Kartoqrafiya Fabriki, 2015; 145 p. (in Azerbaijani).

[26] “State Strategy 2015–2020 – on the use of alternative and renewable energy sources” Reporting project on strategy and environmental assessment (“Gosudarstvennaya strategiya 2015–2020 – po ispol'zovaniyu Al'ternativnykh i Vozobnov lyaemykh Istochnikov Energii”) Otchetnyi proekt po strategiyu i ekologicheskoi otsenki) [E-resource]. Available on: https://www.unece.org/fileadmin/DAM/.../SEA/_AZ_Droft_Report_2015.pdf. (07.04.2018.).

[27] Energy of Azerbaijan. Official publication. Statistical yearbook / State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan. – Baku.: 2017; 150 p.

[28] Rzaev P.F. Solar Energy Storage Installations (Gelioenergoakkumuliruyushchie ustanovki): D.Sc. Thesis. Ashkhabad, 1985.

[29] Salamov O.M., Garibov A.A., Sultanova K.D. Improvement of Efficiency of the Solar-Assisted Production of a Combustible Gas Mixture from Biomass. *Applied Solar Energy*, 2015;51(4):322–327 (in Eng.).

[30] Salamov O.M., Sultanova K.D., Garibov A.A. Patent № İ 2012 0093 Azerbaidzhanskoi Respubliki MPK8 SO1V 3/00; F24J 2/42. Solar plant for gasification of biomass and organic waste (Solnechnaya ustanovka dlya gazifikatsii biomassy i organicheskikh otkhodov); zayavitel' i patentoobladatel' Inst. Radiats. Probl. NAN Azerbaid zhana; no a 2009 0134; zayavl.29.06.2009; data vydachi patenta. 11.01.2012.

[31] Salamov O.M., Garibov A.A., et al. Patent № İ 2007 0129 Azerbaidzhanskoi Respubliki MPK8 SO1V 3/00; F24J 2/42. Installation for producing high-purity hydrogen and combustible gas mixture using solar energy (Ustanovka dlya polucheniya vysokochistogo vodoroda i goryuchi smesi gazov s ispol'zovaniem solnechnoi energii); zayavitel' i patentoobladatel' Inst. Radiats. Probl. NAN Azerbaidzhana; no a 2005 0248; zayavl.03.11.2005; data vydachi patenta 07.10.2007.

[32] Azerbaijan ranks fourth in the world in hazelnut exports [E-resource]. Available on:

<http://orehovod.com/articles/787-azerbaidzhan-zanimaet-chetver-tuyu-poziciyu-v-mire-po-eksportu-funduka.html> (08.03.2018.).

[33] Nut-breadwinner: Azerbaijan will increase the supply of hazelnuts abroad (Oreh-kormilets: Azerbaidzhan uvelichit postavki funduka za rubezh) [E-resource]. Available on: <https://mir24.tv/news/16269080/oreh-kormilec-azerbaidzhan-uveli-hit-postavki-funduka-za-rubezh> (2018.08.24.).

[34] Rakhmankulov, D.L., Valdanov F.Sh., Latypova F.N., Chanyshv R.R., Ishbulatov R.F. Modern methods of biomass gasification. *Bashkirskii khimicheskii zhurnal*, 2010;17(2):36–42.

[35] Fedyukhin A.V. Development of systems for the combined generation of heat and electrical energy based on the study of the processes of pyrolysis and gasification of biomass (Razrabotka sistem kombinirovannoi vyrabotki teplovoi i elektricheskoi energii na osnove issledovaniya protsessov piroliza i gazifikatsii biomassy): Ph.D. thesis. Moscow, 2014.

[36] Salamov O.M., Gashimov A.M., Aliyev F.F. Prospects for the use of solar energy in Azerbaijan (Perspektivy ispol'zovaniya solnechnoi energii v Azerbaidzhane). *International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAE)*, 2013;8:64–78.

[37] Mamedov G.Sh., Khalilov M.Yu., Mamedova S.Z. Ecological Atlas of the Republic of Azerbaijan (Ekologicheskii Atlas Azerbaidzhanskoi Respubliki). Baku: Izd-vo Bakinskaya kartograficheskaya fabrika, 2009; 156 p. (in Azerbaijani).

[38] Shikhliniskii E.M. Heat balance of the Azerbaijan SSR (Teplovoi balans Azerbaidzhanskoi SSR). Baku: Izd-vo Elm, 1969; 199 p.

[39] Climate of Azerbaijan (Klimat Azerbaidzhana) / Ed. A.A.Madatzade, E.M. Shikhliniskogo. Baku: Izd.-vo AN Azerbaidzhanskoi SSR, 1968; 340 p.

[40] Atlas of heat balance of the Azerbaijan SSR (Atlas teplovogo balansa Azerbaidzhanskoi SSR) / Ed. E.M. Shikhlinisky. Moscow: Glavnoe upravlenie geodezii i kartografii pri Sovete Ministrov USSR, 1978; 92 p.

[41] Zheleznyaya T.A., Geletukha G.G. Overview of biomass gasification technologies (Obzor sovremennykh tekhnologii gazifikatsii biomassy). *Promyshlennaya teplotekhnika*, 2006;28(2):75–85 (in Russ.).

[42] Modern technologies for biomass gasification (Sovremennyye tekhnologii gazifikatsii biomassy) [E-resource]. Available on: https://gisee.ru/articles/foreign_stat/23677/ (08.29.2018).

[43] Rakhmankulov D.L., Valdanov F.Sh., Nikolaeva S.V., Denisov S.V. Successes and problems in the production of alternative sources of fuel and chemical raw materials. Biomass pyrolysis (Uspekhi i problemy proizvodstva al'ternativnykh istochnikov topliva i khimicheskogo syr'ya. Piroliz biomassy). *Bashkirskii khimicheskii zhurnal*, 2008;15(2):36–52.

Транслитерация по BSI

