

Научная статья

УДК 621.31

EDN FWQJHV

DOI: 10.22450/19996837_2023_3_127

Пиролизная технология для создания автономного электроснабжения

Жанна Григорьевна Сивцева¹, Варвара Петровна Друзьянова²,
Анастасия Валериевна Спиридонова³, Виктор Вацлавович Самуйло⁴,
Елена Владимировна Панова⁵

¹ Якутский индустриально-педагогический колледж имени В. М. Членова
Республика Саха (Якутия), Якутск, Россия

^{2,3} Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова
Республика Саха (Якутия), Якутск, Россия

^{2,3} Октемский филиал Арктического государственного агротехнологического университета
Республика Саха (Якутия), Октемцы, Россия

^{4,5} Дальневосточный государственный аграрный университет,
Амурская область, Благовещенск, Россия

¹ jeannasivtseva@mail.ru, ² druzvar@mail.ru, ³ savadf0706@mail.ru, ⁵ panova1968@mail.ru

Аннотация. Дана краткая характеристика энергоснабжения Нюрбинского улуса. Приведена информация по газовым месторождениям Якутии. Отмечено, что в ближайшей перспективе подключение улуса к газовым сетям не предусматривается. Отопительная сеть в селах улуса функционирует на электрических котлах. С 1970-х годов энергоснабжение улуса обеспечивается электролинией в 110 кВ, протяженностью 394 км. В настоящее время участились аварийные отключения электричества ввиду высокого износа деревянных опор. Опасность заключается в том, что, если авария происходит в зимнее время, то наступает угроза замерзания жилых домов, объектов социальной инфраструктуры и производственных зданий. Для решения вышеприведенной проблемы предлагается внедрить в селах пиролизную технологию утилизации твердых отходов. Очищая окружающую среду от твердых отходов, попутно можно получать альтернативное топливо в виде пиролизного газа. Горючим компонентом в нем является метан, сходный по своим параметрам с природным газом. Проводя пирогаз через газовый генератор, можно получить электрическую энергию и, таким образом, создать автономную электрическую станцию.

Ключевые слова: отходы, пиролизная технология, горючий газ, переработка, модернизация, автономная когенерационная линия

Для цитирования: Сивцева Ж. Г., Друзьянова В. П., Спиридонова А. В., Самуйло В. В., Панова Е. В. Пиролизная технология для создания автономного электроснабжения // Дальневосточный аграрный вестник. 2023. Том 17. № 3. С. 127–137. doi: 10.22450/19996837_2023_3_127.

Original article

Pyrolysis technology for creating an autonomous power supply

Zhanna G. Sivtseva¹, Varvara P. Druzyanova², Anastasiya V. Spiridonova³,
Viktor V. Samuilov⁴, Elena V. Panova⁵

¹ Yakutsk Industrial and Pedagogical College named after V. M. Chlenov
Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Russia

^{2,3} North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov
Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Russia

^{2,3} Arctic State Agrotechnological University – Oktemsky Branch
Republic of Sakha (Yakutia), Oktemtsy, Russia

^{4,5} Far Eastern State Agrarian University, Amur region, Blagoveshchensk, Russia

¹ jeannasivtseva@mail.ru, ² druzvar@mail.ru, ³ savadf0706@mail.ru, ⁵ panova1968@mail.ru

Abstract. A brief description of the energy supply state in Nyurbinsky ulus is given. The

article gives the gas fields information in Yakutia. It is noted that in the near future there are no plans to connect the ulus to gas networks. The heating network in the villages there operates on electric boilers. Since the 1970s, the power supply of the ulus has been provided by an electric line of 110 kV, with a length of 394 km. Currently, emergency power outages have become more frequent due to the high wear of wooden supports. The danger lies in the fact that if an accident occurs in winter, then there is a threat of freezing of residential buildings, social infrastructure and industrial buildings. To solve problem mentioned above, it is proposed to introduce pyrolysis technology for solid waste disposal in villages. By cleaning the environment from solid waste, it is possible to obtain alternative fuel in the form of pyrolysis gas along the way. The combustible component in it is methane, similar in its parameters to natural gas. By conducting pyrogas through a gas generator, there's a possibility to obtain electrical energy and, thus, create an autonomous electric station.

Keywords: waste, pyrolysis technology, combustible gas, processing, modernization, autonomous cogeneration line

For citation: Sivtseva Zh. G., Druzyanova V. P., Spiridonova A. V., Samuilo V. V., Panova E. V. Piroliznaya tekhnologiya dlya sozdaniya avtonomnogo elektrosnabzheniya [Pyrolysis technology for creating an autonomous power supply]. *Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik. – Far Eastern Agrarian Bulletin.* 2023; 17; 3: 127–137. (in Russ.). doi: 10.22450/19996837_2023_3_127.

Введение. Якутия – самый крупный регион Российской Федерации; более того, это самая большая административно-территориальная единица в мире. Якутия является самым холодным местом на планете. Перепад температур составляет более 70 °С. В этих условиях стоит задача создания на огромной территории республики условий для комфортного проживания населения, прежде всего, обеспечения теплом и светом. Качественное энерго- и теплоснабжение в условиях отсутствия инфраструктуры и огромной территории является для республики сложной задачей, особенно в ее северных районах [1].

Одной из основных проблем является энергобезопасность Вилюйских районов, так как с 1970-х годов энерго-снабжение обеспечивается линией электропотребления мощностью 110 кВ. Она имеет протяженность 394 км, построена в одноцепном исполнении на деревянных опорах. В настоящее время линия достигла высокого износа и с трудом справляется с возросшим энергопотреблением [1, 2].

В связи со значительным уровнем затрат, необходимых для комплексной газификации Нюрбинского и Сунтарского улусов, и существенным ограничением выделяемых средств, ее возможность в настоящее время отсутствует. В этой связи опасность заключается в том, что если авария возникает в зимние месяцы, то наступает угроза замерзания по всей территории Нюрбинского улуса – поскольку отопление помещений в улусах осуществляется электрическими котлами.

Для решения этой проблемы можно использовать технологии по производству альтернативной энергии. Мы предлагаем внедрить пиролизную технологию, позволяющую утилизировать твердые отходы и получать сопутствующий продукт в виде пирогаза – альтернативного источника энергии.

Пиролиз – термическое разложение органических соединений без доступа воздуха. Его также можно назвать сухой перегонкой, а в качестве сырья могут использоваться различные газообразные углеводороды (этан, пропан), сырая нефть; соединения, содержащие органические компоненты. Также можно утилизировать древесные и пластиковые отходы, отработанные резинотехнические изделия, уголь, торф и др. [2–4].

Метод термической обработки отходов обеспечивает их высокоэффективное обезвреживание и использование в качестве топлива и химического сырья, что способствует созданию малоотходных и безотходных технологий, а также рациональному использованию природных ресурсов [5–8].

В зависимости от температуры процесса пиролиз подразделяется на следующие виды:

1. *Низкотемпературный или полукоксование (450–550 °С).* Для данного вида пиролиза характерны максимальный выход жидких и твердых (полукокс) остатков и минимальный выход пиролизного газа с максимальной теплотой сгорания. Метод подходит для получения первич-

ной смолы – ценного жидкого топлива, а также для переработки некондиционного каучука в мономеры, являющиеся сырьем для вторичного создания каучука. Полукокс можно использовать в качестве энергетического и бытового топлива.

2. *Среднетемпературный или среднетемпературное коксование (до 800 °С)* дает выход большего количества газа с меньшими теплотой сгорания и количеством жидкого остатка и кокса.

3. *Высокотемпературный пирогаз или коксование (900–1050 °С)*. Здесь наблюдаются минимальный выход жидких и твердых продуктов и максимальная выработка газа с минимальной теплотой сгорания – высококачественного горючего, пригодного для далеких транспортировок. В результате уменьшаются количество смолы и содержание в ней ценных легких фракций.

В результате утилизации растительных и твердых отходов на выходе из пиролизной установки образуется горючий газ с высокой теплотой сгорания, а также различные твердые вещества, которые можно пускать на вторичное производство различных экологически чистых изделий.

В пиролизной установке можно также утилизировать органические бытовые отходы, полиэтилены, твердые бытовые отходы, отходы лесной промышленности (щепа, ветки) [9, 10].

На сегодняшний день во всем мире переработка отходов деревообрабатывающей и сельскохозяйственной промышленности рассматривается как один из способов получения возобновляемого источника энергии. Переработка растительного сырья с высоким содержанием органики (до 50 %), в частности, путем пиролиза, является перспективным методом получения газообразного и твердого топлива [11, 12, 13–15, 16, 17].

Переработка твердых масс отходов позволит не только очистить окружающую среду, но и даст возможность создать автономные энергонезависимые линии электропередач. Переработка и утилизация отходов является одной из самых актуальных и требующих особого внимания проблем, поскольку энерго- и ресурсосбережение выступают одними из приоритетных направлений в развитии многих

отраслей промышленности. Это связано, в первую очередь, со значительной неопределенностью цен на рынке энергоносителей, что затрудняет принятие решений по развитию производственных предприятий.

Большинство технологических установок в стране проектировались и вводились в эксплуатацию в середине двадцатого столетия. За прошедшее время изменились требования к экологической безопасности и появились стандарты по жизненному циклу производимой продукции. Утилизация замыкает жизненный цикл продукта и одновременно может производить, наряду с ценными материалами, альтернативные источники энергии, что позволяет решать и задачи энерго- и ресурсосбережения.

Материалы и методы исследования. С 1970-х годов энергоснабжение Нюрбинского, Сунтарского, Вилюйского и Верхневилуйского районов Якутии обеспечивает ЛЭП 110 кВ «Сунтар – Нюрба – Верхневилуйск – Вилюйск». Эта линия протяженностью 394 км построена в одноцепном исполнении на деревянных опорах. В настоящее время она достигла высокого износа и с трудом справляется с возросшим энергопотреблением.

С 2010 года электропотребление снабжаемых по ЛЭП районов увеличилось более чем вдвое; ежегодный прирост составляет в среднем 5 МВт. В планах правительства республики заложено строительство новой линии с использованием стальных опор, которые менее подвержены лесным пожарам и неблагоприятным погодным явлениям. Помимо этого, проектом предполагается реконструкция подстанций «Сунтар» и «Нюрба». Сейчас ведутся проектно-изыскательские работы. На реализацию проекта «Якутскэнерго» планирует направить более трех миллиардов рублей.

В последние годы, в связи с сильным износом деревянных опор, участились случаи аварийных отключений, причинами которых явились повреждения опор и обрывание проводов линий. Опасность в том, что, если авария возникает в зимние месяцы, то наступает угроза замерзания по всей территории улуса.

Для обоснования и уточнения эксплуатационных и выходных параметров

пиролизной установки ГВА-1 проведены натурные опыты на сосновых опилках.

При исследованиях выявлены недочеты в конструкции установки и неисправности, которые были зафиксированы и устранены. Проведена модернизация в целях повышения коэффициента полезного действия и стабильной работы самой пиролизной установки (табл. 1).

Обратный клапан (рис. 1) не справляется с нагрузкой. Ввиду отсутствия взрывного клапана в гидрозатворе повышается давление, и вода с бака обратно выталкивается в терморектор, что ведет к остановке процесса.

Поэтому в бак гидрозатвора установили взрывной клапан (рис. 2), а также добавили патрубков для загрузки воды.

Также были добавлены кожухи на электронагреватели патронного типа (ТЭН) в количестве трех штук (рис. 3). Кожухи установлены для исключения налипания продуктов сгорания на поверхности ТЭН. Таким образом, срок службы нагревателей значительно увеличен.

Для изоляции на три электронагревателя были одеты трубы длиной 300 мм с диаметром 22 мм. Последующие эксперименты проводили на установке с защитными кожухами на ТЭН.

Допустимая максимальная температура нагревания ТЭН достигает 300 °С. Материал трубы подобран с учетом температуры плавления металла. Температура плавления стали – 1 300–1 400 °С, что находится в пределах допустимой максимальной температуры ТЭН, поэтому можно использовать сталь любой марки.

Для разработки защитных кожухов была использована стальная труба диаметром 25 мм и высотой 1,35 м.

Таким образом, на этапе работ по ознакомлению с принципом работы пиролизной установки ГВА-1 нами устранены следующие недостатки:

1. Слабая герметичность терморектора.
2. Водяной конденсат обратно закачивается в терморектор.

Таблица 1 – Неисправности и пути модернизации пиролизной установки
Table 1 – Malfunctions and ways to modernize the pyrolysis plant

Неисправности	Направления модернизации
Нестабильность работы: конденсат газа (вода) попадает обратно в терморектор, что приводит к остановке процесса	Стабильность процесса: установка отстойника для удаления конденсата газа (воды) между терморектором и гидрозатвором
Проблемы с герметизацией: каждый раз необходимо перед загрузкой сырья очищать верхний обод терморектора от накопившегося и засохшего герметика, затем герметизировать крышку и ждать полного высыхания (сутки и более); ненадежное крепление крышки терморектора; при нагреве крышки резьбы обычных болтов размягчаются, происходит срыв крышки	Герметизация: герметик заменяется на асбестовую (ленту) веревку; обычные резьбовые болты заменяют на более надежные закаленные болты
Электронные приборы показателей: отсутствуют независимые приборы для снятия текущих показателей	Автономность показателей: установка механических манометров и термометров
Небезопасность: отсутствие клапана аварийного сброса излишнего давления от гидрозатвора и терморектора при длительном процессе пиролиза отхода; отсутствие автоматического выключателя электропитания трубчатых электронагревателей (дифференциальный автомат)	Безопасность: установка взрывного клапана в гидрозатворе; установка клапана аварийного сброса давления газа; установка автоматического выключателя электропитания; дифференциальный автомат



Рисунок 1 – Общий вид установки ГВА-1 с обратным клапаном
Figure 1 – General view of the GVA-1 installation with a check valve



Рисунок 2 – В бак гидрозатвора установлены взрывной клапан (слева) и патрубок для загрузки воды (справа)
Figure 2 – An explosive valve (left) and a patube for loading water (right) are installed in the hydraulic lock tank

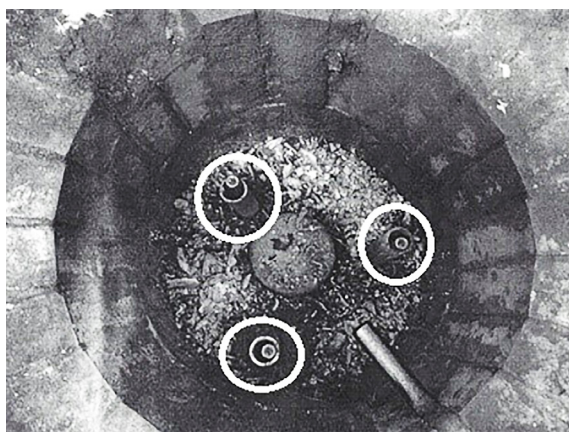


Рисунок 3 – Общий вид электронагревателей с кожухами
Figure 3 – General view of heating elements with casings

3. Термоэлектрические нагреватели представляют открытые трубчатые электронагреватели, поэтому в процессе утилизации отходов происходит налипание продуктов сгорания на их поверхности, что выводит их из строя.

Результаты исследований и их обсуждение. После приведения установки в надлежащее состояние проведены натурные исследования по пиролизу сосновых опилок. Результаты приведены в таблице 2.

Заявленные параметры пиролизной установки ГВА-1 следующие: 10 кг опилок были утилизированы за 8 часов с получением 40 куб. м пирогаза. Соответственно, из 1 кг опилок получено 4 куб. м пирогаза.

В наших опытах из 1 кг опилок получено 0,2 куб. м пирогаза. И в том, и в другом вариантах влажность опилок составляла 15–20 %, дисперсность – 1–5 мм, плотность – 150–200 кг/куб. м. Таким образом, заявленные параметры не подтвердились.

Загружаемый в реактор пиролизной установки отход должен иметь влажность от 2 до 50 %. В связи с этим древесные отходы были подвергнуты сушке при температуре 100 °С (табл. 3).

Затем каждый вид отхода подвергался пиролизу в установке ГВА-1 при температуре 300 °С. Результаты показаны в таблице 4.

Таблица 2 – Факторы и параметры процесса пиролиза сосновых опилок

Table 2 – Factors and parameters of the pyrolysis process of pine sawdust

Факторы	Параметры
Температура окружающей среды – от 20 до 21 °С	Потребление электроэнергии – 3–3,3 кВт·ч
Масса сырья – 2,5 кг	Объем полученного газа – 0,103–0,105 м ³
Начальная температура сырья – 10–11 °С	Масса отработавшего сырья – 0,500–0,55 кг
Начальная влажность сырья – 15–20 %	Масса несгоревшего сырья – 1,95–2 кг
Начальная фракция сырья – 1–5 мм	Время эксперимента – 112 мин.
	Потенциальный выход газа – 2,3–2,5 м ³
	«Потерянный» объем газа – 1,15–1,25 м ³

Таблица 3 – Влажность древесных отходов

Table 3 – Humidity of wood waste

Показатели	Вид древесных отходов		
	сосновая опилка	пылевидные опилки	древесная щепа
Масса опилок с тарой влажная, г	283,11–358,39	280,04–322,88	359,27–598,14
Масса опилок влажная, г	61,37–67,35	51,20–99,26	143,45–253,82
Масса тары, г	215,76–297,02	228,84–223,62	215,82–344,32
Масса опилок с тарой сухая, г	280,13–355,64	95,65–268,93	117,04–164,12
Масса опилок сухая, г	58,62–64,37	40,09–319,27	332,86–508,44
Температура сушки, °С	100	100	100
Влажность, %	4,6–4,7	2,7–3,7	22,5–54,9

Таблица 4 – Результаты выбросов веществ из древесного отхода

Table 4 – Results of emissions of substances from wood waste

Виды древесного отхода	Оксид углерода, %	Метан, %	Кислород, %	Прочие токсичные выбросы, %
Древесная щепа	0,27	90,35	0	0
Древесная опилка	0,02	90,60	0	0
Пылевидная опилка	0,43	90,19	0	0



Рисунок 4 – Проверка автономной когенерационной линии на пиролизной технологии

Figure 4 – Verification of an autonomous cogeneration line using pyrolysis technology

Как видно из таблицы, максимальное содержание оксида углерода имеет пирогаз от пылевидной опилки (0,43 %). Среднее значение содержания метана у пирогаза от древесной щепы (90,35 %). Из 1 кг древесной щепы получили 0,15 куб. м пирогаза.

Однако, лучшие показатели по содержанию оксида углерода имеет пирогаз, производимый из древесной опилки – всего лишь 0,02 %. Также по содержанию метана лучшие показатели у древесной опилки – 90,6 %. Из 1 кг опилок получено 0,12–0,13 куб. м пирогаза.

Начальным этапом был переходный процесс, при котором скорость выработки топливного газа интенсивно возрастала. По окончании переходного процесса скорость выработки приобретала постоянный характер, то есть наступала стадия так называемого периода устойчивой выработки.

После достижения устойчивой работы установки, а именно с получением

пирогаза, поддерживающего процесс горения, к линии добавили генератор и потребитель энергии – настольную лампу Citilux Ньютон с мощностью 6 Вт, напряжением 220 В.

Выбран генератор гибридный газобензиновый марки HG. Он работает на бензине АИ-92, пропано-бутановой смеси, метане. Номинальная мощность генератора при 220 В составляет 5,3 кВт.

Накопив достаточный объем пирогаза в баллонах, начали запуск генератора с различными диаметрами жиклеров при входе газа в камеру сгорания. Были проверены жиклеры со следующими диаметрами: 15; 20 и 35 мм.

Эффективная работа генератора была достигнута на жиклере с диаметром 35 мм.

Проверка подачи электричества осуществлена лампой Citilux Ньютон (рис. 4).

Таким образом, нами установлены и обоснованы следующие факторы, влияю-

щие на преобразование пирогаза в электрическую энергию:

- 1) сырье – древесная опилка с влажностью 4,6–4,7 %;
- 2) размеры фракции опилки – от 1 до 5 мм;
- 3) состав пирогаза – метан 90,6 %; оксид углерода – 0,02 %;
- 4) диаметр жиклера генератора составляет 35 мм;
- 5) с 1 куб. м пирогаза можно получить до 5 кВт·ч электроэнергии.

Заключение. Таким образом, установлены и обоснованы следующие факторы, влияющие на преобразование пирогаза в электрическую энергию:

1. Обоснованы вид и параметры древесного сырья для утилизации в пиролизной установке ГВА-1: наилучшими оказались опилки с размерами фракций 1–5 мм; влажностью 4,6–4,7%.
2. Высота загрузки опилок в термореактор составляет 30 см.
3. Масса загружаемых опилок равна 3,8 кг.

Список источников

1. Афанасьев Д. Е. Энергосбережение в сельском хозяйстве Якутии. Якутск : Полиграфист, 1995. 221 с.
2. Семенов Н. И., Точигин А. А., Мамаев В. А., Одинария Г. Э. Гидродинамика газо-жидкостных смесей в трубах. М. : Недра, 1969. 208 с.
3. Андронов А. В., Леканова Т. Л. Обоснование эффективности внедрения энергосберегающих технологий в индивидуальной системе теплоснабжения // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6.
4. Спиридонова А. В., Друзьянова В. П. Пиролизная технология в животноводстве // Дальневосточный аграрный вестник. 2021. № 2 (58). С. 152–159. DOI: 10.24412/1999-6837-2021-2-152-159.
5. Андронов А. В., Леканова Т. Л. Повышение эффективности работы теплогенератора для малозатратного получения тепловой энергии // Восточно-Европейский научный журнал. 2015. № 1. С. 5–9.
6. Александров И. Ю., Друзьянова В. П., Савватеева И. А., Кокиева Г. Е. Электроэнергия из биогаза // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2020. № 5 (187). С. 139–145.
7. Александров И. А., Андросов Ю. А., Соколов Д. А., Охлопкова М. К., Спиридонова А. В., Тарабукина О. К. Исследование технологии получения пеллетов // Научно-технический вестник Поволжья. 2020. № 12. С. 85–87.
8. Спиридонова А. В., Друзьянова В. П., Рожина М. Я. Оборудование для переработки вторичного сырья // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 11. С. 88–91.
9. Друзьянова В. П. Энергосберегающая технология переработки навоза крупного рогатого скота : дис. ... докт. техн. наук. Улан-Удэ, 2016. 281 с.
10. Спиридонова А. В., Друзьянова В. П., Тарануха В. П., Глушков В. А. Применение пиролизной установки ГВА-1 в лаборатории Северо-Восточного федерального университета // Интеграция науки, образования и производства : материалы XI междунар. науч.-техн. конф. Ижевск : Ижевский государственный технический университет, 2016. С. 76–82.
11. Агропромышленный комплекс Якутской АССР / под ред. Н. Н. Тихонова. Якутск : Якутское книжное издательство, 1988. 190 с.
12. Адлер Ю. П., Макарова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М. : Наука, 1976. 280 с.
13. Глушков В. А. Разработка и исследование автоматизированной установки пиролиза растительного сырья с целью повышения выхода топливного газа : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ижевск, 2006. 16 с.

14. Глушков В. А., Тарануха В. П., Печенкин А. Ю., Русяк И. Г. Технологические режимы получения энергоносителей путем переработки биомассы. Ижевск : Ижевский государственный технический университет, 2011. 112 с.

15. Глушков В. А., Ушаков П. А. Анализ способов получения энергии из растительного сырья // Проблемы энергосбережения и экологии в промышленном и жилищно-коммунальном комплексах : материалы VII междунар. науч.-практ. конф. Пенза : Пензенский государственный университет, 2006. С. 75–78.

16. Спиридонова А. В., Друзьянова В. П., Рожина М. Я. Обеспечение экологической безопасности в сельскохозяйственном производстве // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 11. С. 84–88.

17. Теплоэнергетика и теплотехника: общие вопросы : справочник / под ред. А. В. Клименко, В. М. Зорина. М. : Московский энергетический институт, 1999. 528 с.

References

1. Afanasyev D. E. *Energosberezhenie v sel'skom khozyaistve Yakutii [Energy saving in agriculture of Yakutia]*, Yakutsk, Poligrafist, 1995, 221 p. (in Russ.).

2. Semenov N. I., Tochigin A. A., Mamaev V. A., Odinariya G. E. *Gidrodinamika gazozhidkostnykh smesei v trubakh [Hydrodynamics of gas-liquid mixtures in pipes]*, Moskva, Nedra, 1969, 208 p. (in Russ.).

3. Andronov A. V., Lekanova T. L. *Obosnovanie effektivnosti vnedreniya energosberegayushchikh tekhnologii v individual'noi sisteme teplosnabzheniya [Justification of the effectiveness of introducing energy-saving technologies in an individual heat supply system]*. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. – Modern problems of science and education, 2014; 6 (in Russ.).

4. Spiridonova A. V., Druzyanova V. P. *Piroliznaya tekhnologiya v zhivotnovodstve [Pyrolysis technology in livestock farming]*. *Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik*. – *Far Eastern Agrarian Bulletin*, 2021; 2 (58): 152–159. DOI: 10.24412/1999-6837-2021-2-152-159 (in Russ.).

5. Andronov A. V., Lekanova T. L. *Povyshenie effektivnosti raboty teplogeneratora dlya malozatratnogo polucheniya teplovoi energii [Increasing the efficiency of the heat generator for low-cost production of thermal energy]*. *Vostochno-Evropejskij nauchnyy zhurnal*. – *Eastern European Scientific Journal*, 2015; 1: 5–9 (in Russ.).

6. Aleksandrov I. Yu., Druzyanova V. P., Savvateeva I. A., Kokieva G. E. *Elektroenergiya iz biogaza [Electricity from biogas]*. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. – *Bulletin of the Altai State Agrarian University*, 2020; 5 (187): 139–145 (in Russ.).

7. Aleksandrov I. A., Androsov Yu. A., Sokolov D. A., Okhlopko M. K., Spiridonova A. V., Tarabukina O. K. *Issledovanie tekhnologii polucheniya pelletov [Research into pellet production technology]*. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya*. – *Scientific and Technical Bulletin of the Volga region*, 2020; 12: 85–87 (in Russ.).

8. Spiridonova A. V., Druzyanova V. P., Rozhina M. Ya. *Oborudovanie dlya pererabotki vtorichnogo syr'ya [Equipment for processing secondary raw materials]*. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya*. – *Scientific and Technical Bulletin of the Volga region*, 2018; 11: 88–91 (in Russ.).

9. Druzyanova V. P. *Energosberegayushchaya tekhnologiya pererabotki navoza krupnogo rogatogo skota [Energy-saving technology for processing cattle manure]*. *Doctor's thesis*. Ulan-Ude, 2016, 281 p. (in Russ.).

10. Spiridonova A. V., Druzyanova V. P., Taranukha V. P., Glushkov V. A. *Primenenie piroliznoi ustanovki GVA-1 v laboratorii Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta [Application of the GVA-1 pyrolysis unit in the laboratory of the North-Eastern Federal University]*.

Proceedings from Integration of science, education and production: *XI Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya – XI International Scientific and Technical Conference*. (PP. 76–82), Izhevsk, Izhevskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2016 (in Russ.).

11. Tikhonov N. N. (Eds.). *Agropromyshlenniy kompleks Yakutskoi ASSR [Agro-industrial complex of the Yakut Autonomous Soviet Socialist Republic]*, Yakutsk, Yakutskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1988, 190 p. (in Russ.).

12. Adler Yu. P., Makarova E. V., Granovskii Yu. V. *Planirovanie eksperimenta pri poiske optimal'nykh uslovii [Planning an experiment when searching for optimal conditions]*, Moskva, Nauka, 1976, 280 p. (in Russ.).

13. Glushkov V. A. *Razrabotka i issledovanie avtomatizirovannoi ustanovki piroliza rastitel'nogo syr'ya s tsel'yu povysheniya vykhoda toplivnogo gaza [Development and research of an automated plant for pyrolysis of plant raw materials in order to increase the yield of fuel gas]. Extended abstract of candidate's thesis*. Izhevsk, 2006, 16 p. (in Russ.).

14. Glushkov V. A., Taranukha V. P., Pechenkin A. Yu., Rusyak I. G. *Tekhnologicheskie rezhimy polucheniya energonositelei putem pererabotki biomassy [Technological modes of obtaining energy carriers by processing biomass]*, Izhevsk, Izhevskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2011, 112 p. (in Russ.).

15. Glushkov V. A., Ushakov P. A. *Analiz sposobov polucheniya energii iz rastitel'nogo syr'ya [Analysis of methods for obtaining energy from plant materials]*. Proceedings from Problems of energy saving and ecology in industrial and housing and communal complexes: *VII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya – XI International Scientific and Practical Conference*. (PP. 75–78), Penza, Penzenskij gosudarstvennyj universitet, 2006 (in Russ.).

16. Spiridonova A. V., Druzyanova V. P., Rozhina M. Ya. *Obespechenie ekologicheskoi bezopasnosti v sel'skokhozyaistvennom proizvodstve [Ensuring environmental safety in agricultural production]. Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya. – Scientific and Technical Bulletin of the Volga region*, 2018; 11: 84–88 (in Russ.).

17. Klimenko A. V., Zorin V. M. (Eds.). *Teplotekhnika i teploenergetika: obshchie voprosy: spravochnik [Thermal power engineering and heating engineering: general questions: handbook]*, Moskva, Moskovskij energeticheskij institut, 1999, 528 p. (in Russ.).

© Сивцева Ж. Г., Друзьянова В. П., Спиридонова А. В., Самуйло В. В., Панова Е. В., 2023

Статья поступила в редакцию 05.06.2023; одобрена после рецензирования 11.09.2023; принята к публикации 14.09.2023.

The article was submitted 05.06.2023; approved after reviewing 11.09.2023; accepted for publication 14.09.2023.

Информация об авторах

Сивцева Жанна Григорьевна, преподаватель специальных дисциплин, Якутский индустриально-педагогический колледж имени В. М. Членова, jeannasivtseva@mail.ru;

Варвара Петровна Друзьянова, доктор технических наук, профессор, Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова, Октенский филиал Арктического государственного агротехнологического университета, druzvar@mail.ru;

Спиридонова Анастасия Валериевна, кандидат технических наук, Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова, Октенский филиал Арктического государственного агротехнологического университета, savadf0706@mail.ru;

Самуйло Виктор Вацлавович, доктор технических наук, профессор, Дальневосточный государственный аграрный университет;

Панова Елена Владимировна, кандидат технических наук, доцент, Дальневосточный государственный аграрный университет, panova1968@mail.ru

Information about authors

Zhanna G. Sivtseva, Special Subject Lecturer, Yakutsk Industrial and Pedagogical College named after V. M. Chlenov, jeannasivtseva@mail.ru;

Varvara P. Druzyanova, Doctor of Technical Sciences, Professor, North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov, Arctic State Agrotechnological University – Oktemsky Branch, druzvar@mail.ru;

Anastasiya V. Spiridonova, Candidate of Technical Sciences, North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov, Arctic State Agrotechnological University – Oktemsky Branch, savadf0706@mail.ru;

Viktor V. Samuilo, Doctor of Technical Sciences, Professor, Far Eastern State Agrarian University;

Elena V. Panova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Far Eastern State Agrarian University, panova1968@mail.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.