

УДК 62-93

05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки)

ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА НА БИОТОПЛИВЕ ДЛЯ СУШКИ ЗЕРНА

Иванов Андрей Сергеевич
канд. техн. наук, доцент
РИНЦ SPIN-код: 4157-0276
ivanovas@gausz.ru
ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», г. Тюмень, Российская Федерация

По прогнозам ведущих аналитических агентств в недалеком будущем около 50 % от всей биоэнергии будут получать из биомассы агропромышленного комплекса. В качестве основных факторов, стимулирующих применение отходов производства и переработки продукции растениеводства, являются: возобновляемость ресурса; меньшая удельная стоимость производства энергии; уменьшение вредного воздействия на окружающую среду и человека. В статье представлены результаты исследования работы теплогенерирующей установки на различных отходах зерновых культур применительно к процессу сушки зерна. Определены рациональные параметры работы теплогенератора для отходов зерна пшеницы, овса, ячменя и рапса: расход биотоплива, подача воздуха в теплогенератор и смесительную камеру; температура агента сушки на выходе из участка генерации тепла. Теплогенератор твердотопливный вихревой мощностью 2 МВт. Масса партии отходов от каждого предприятия составляла от 600 до 1000 кг. В результате теплового расчета, определены технические параметры работы теплогенераторов для различных типов зерносушилок, используемых в хозяйствах Тюменской области. Данная методика применима для всех типов зерносушильных комплексов, работающих в регионах России и за рубежом. Определены рациональные режимы работы теплогенератора для отходов зерна пшеницы ячменя и рапса. Температура сжигания отходов была в пределах 755-830 °С. Расход топлива для теплогенератора при сжигании отходов рапса, пшеницы составляет 450,4 кг/час. Оптимальная влажность биотоплива для сжигания в вихревых топках составляет 10-20 %

Ключевые слова: БИОТОПЛИВО, ТЕПЛОГЕНЕРАТОР, СУШКА ЗЕРНА

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-163-004>

UDC 62-93

05.20.01 - Technologies and means of agricultural mechanization (technical sciences)

JUSTIFICATION OF OPERATING MODES OF THE HEAT LOGENERATOR WORKING ON BIOFUEL FOR GRAIN DRYING

Ivanov Andrey Sergeevich
Cand.Tech.Sci., associate professor
RSCI SPIN-code: 4157-0276
ivanovas@gausz.ru
Federal State Budget Educational Institution of Higher Education " Northern Trans-Ural State Agricultural University", Tyumen, Russia

According to forecasts of leading analytical agencies, in the near future, about 50% of all bioenergy will be obtained from the biomass of the agro-industrial complex. The main factors stimulating the use of production waste and processing of crop products are: renewable resource; lower unit cost of energy production; reduction of harmful effects on the environment and humans. The article presents the results of a study of the operation of a heat-generating installation on various wastes of grain crops in relation to the process of drying grain. The rational parameters of the heat generator for waste grain of wheat, oats, barley and rape have been determined: biofuel consumption, air supply to the heat generator and mixing chamber; the temperature of the drying agent at the outlet of the heat generation section. Solid fuel heat generator with a vortex power of 2 MW. The mass of the batch of waste from each enterprise ranged from 600 to 1000 kg. As a result of the thermal calculation, the technical parameters of the operation of heat generators for various types of grain dryers used in the farms of the Tyumen region were determined. This technique is applicable for all types of grain drying complexes operating in the regions of Russia and abroad. The rational modes of operation of the heat generator for waste grain of wheat, barley and rape were determined. Waste incineration temperature was within 755-830 ° C. Fuel consumption for the heat generator when burning rapeseed and wheat waste is 450.4 kg / h. The optimum moisture content of biofuel for combustion in vortex furnaces is 10-20 %

Keywords: BIOFUEL, HEAT GENERATOR, GRAIN DRYING

<http://ej.kubagro.ru/2020/09/pdf/04.pdf>

В мировой практике возрастает производство энергии на основе альтернативных источников. В качестве основных факторов, стимулирующих применение отходов производства и переработки продукции растениеводства, являются: возобновляемость ресурса; меньшая удельная стоимость производства энергии; уменьшение вредного воздействия на окружающую среду и человека [1].

Перспективным направлением, позволяющим решать экологические проблемы и утилизацию отходов, является процесс сжигания отходов растительного происхождения (биотоплива) в низкотемпературных вихревых топочных установках [2].

Установки для сжигания биотоплива (отходы растениеводства) во взвешенном и плотном слоях получили широкое применение в Германии, США и Скандинавских странах при сушке сельскохозяйственной продукции и отоплении животноводческих помещений. Использование лузги подсолнечника, стержней початков кукурузы, сечки соломы и травяных брикетов в качестве биотоплива обеспечивает эффективную работу теплогенератора при минимальных тепловых потерях и достаточно высоком КПД [3]. Данным видам отходов свойственна значительная неоднородность аэродинамических и физико-механических свойств. Поэтому необходимо обоснованно выбирать техническое средство и способ сжигания такого биотоплива [4].

По данным департамента АПК Тюменской области, аграрные предприятия обладают значительным потенциалом по наличию отходов зерна, общее количество таких отходов составляет около 140 тыс. тонн в год (рис. 1) [5].

Широко в Тюменской области представлены отечественные производители зерносушильного оборудования, их доля составляет 64,3 % [6]. Практически в равной степени представлены производители зерносушилок Германии и США, 9,2 % и 8,2 % соответственно (рис. 2).

Общее количество эксплуатируемых сушилок в хозяйствах юга Тюменский области составляет более 370 шт. Наиболее распространены следующие модели М 819, СЗ-10,16, Vesta-20,30, МС-1175, Аraj S614, ДСП-32, СЗСБ-8, СЗШ-16, Аraj S69, Perry M214, ДСП-50, ALVAN BLACH DF 17655.

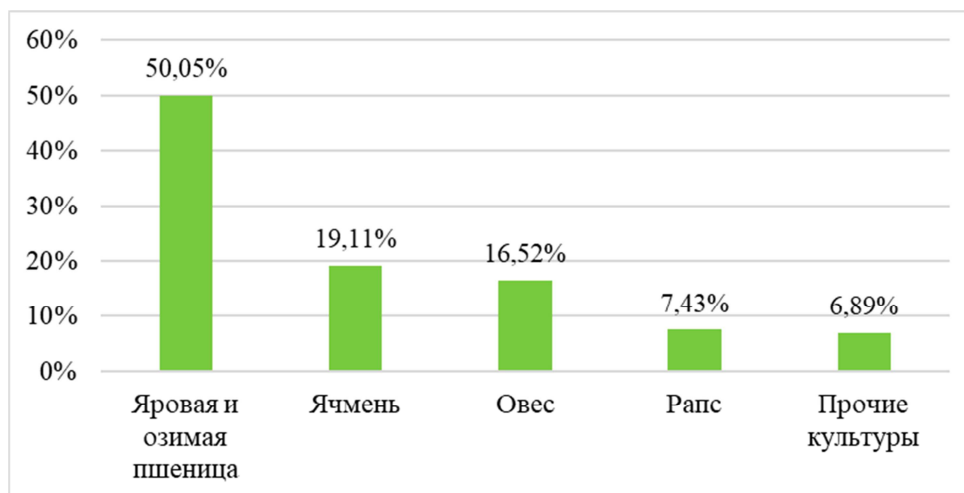


Рисунок 1 – Культуры и соотношение зерноотходов в Тюменской области

Большинство зерносушилок стационарные и шахтного типа, но в ряде хозяйств используются мобильные зерносушилки такие как MECMAR, PEDROTTI, АТМ.

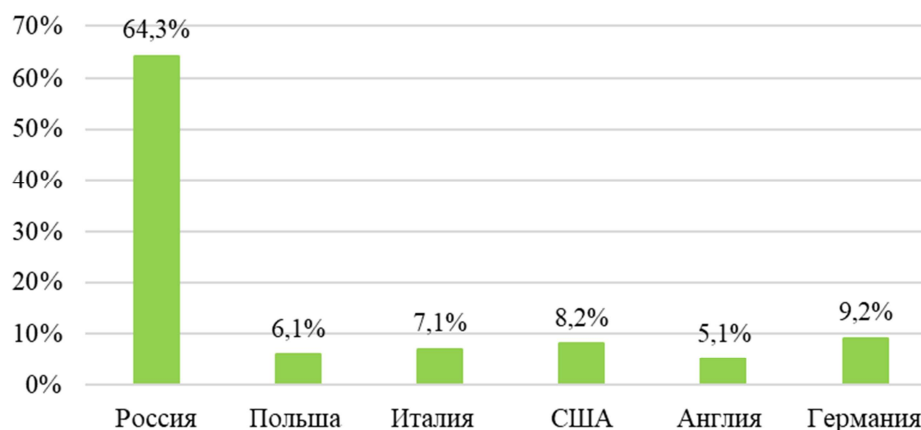


Рисунок 2 – Страны-производители зерносушильного оборудования, используемого в хозяйствах в Тюменской области

Анализ применяемого в области зерносушильного оборудования показывает, что большая часть – это стационарные сушилки шахтного типа, вид используемого топлива – природный газ.

Материал и методы исследования

Цель исследования – определить рациональные режимы работы теплогенератора на биотопливе с учетом специфики их происхождения.

Место проведения эксперимента: производственная база предприятия ООО «Заводоуковский маслозавод» г. Заводоуковск, Тюменская область, Россия.

Исследуемые параметры: расход биотоплива, подача воздуха в теплогенератор и смесительную камеру; температура агента сушки на выходе из участка генерации тепла.

Оборудование и материалы.

Участок подготовки теплоносителя для сушилки (рис. 3):

Телогенератор твердотопливный мощностью 2 МВт, его назначение – приготовление теплоносителя для процесса сушки биомассы (растительного сырья) за счет высокоэффективного сжигания низкосортного твердого топлива. Производительность установки 563 кг/ч. Установка подключена к зерносушильному комплексу [7].



Рисунок 3 – Участок генерации тепла на отходах зерна ООО «Заводоуковский маслозавод», Тюменская область

Силовое оборудование теплогенератора:

1. Мотор-редуктор ворошилки оперативного бункера РС-110 ($N_{уст} = 1,1$ кВт - установленная мощность мотор-редуктора, скорость вращения – 9 об/мин.)

2. Мотор-редуктор шнекового конвейера оперативного бункера РС-100 ($N_{уст} = 1,1$ кВт - установленная мощность электродвигателя, скорость вращения – 9 об/мин.)

3. Машина тягодутьевая ДН-6,3 топки – 2 штуки ($N_{уст} = 4,0$ кВт - установленная мощность электродвигателя, скорость вращения – 1000 об/мин.)

4. Машина тягодутьевая ДН-8 смесительной камеры - 1 штука ($N_{уст} = 11,0$ кВт - установленная мощность электродвигателя. Скорость вращения – 1000 об/мин.)

5. Мотор-редуктор шнекового конвейера золоудаления из топки РС-90 ($N_{уст} = 0,55$ кВт - установленная мощность электродвигателя, скорость вращения – 9 об/мин.).

Для исследования использовались отходы зерна российских предприятий Тюменской области (ООО «Заводоуковский маслозавод», ЗАО «Племзавод-Юбилейный», ООО «Заводоуковский элеватор»). Масса партии отходов от каждого предприятия составляла от 600 до 1000 кг [8].

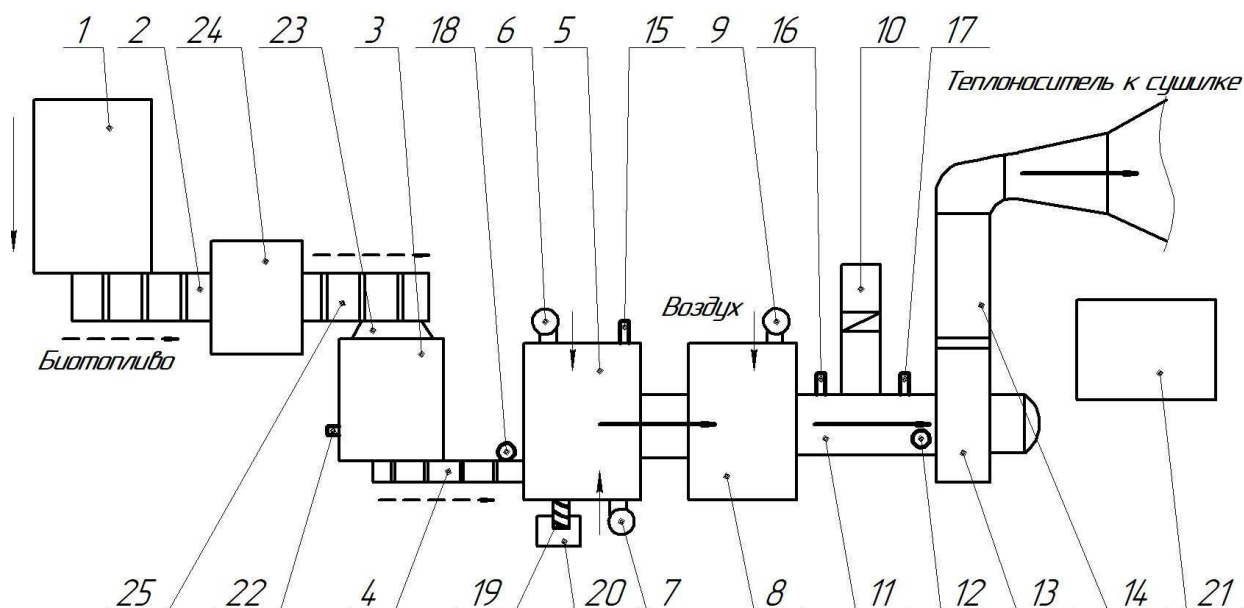
Порядок проведения эксперимента.

1. Сжигание каждой партии образцов производилось отдельно. Полный цикл сжигания состоял из загрузки партии отходов в топливный склад, полного сжигания партии отходов, настройки и фиксации параметров. Перед применением каждого следующего вида топлива устройства «живой пол» и оперативный бункер были очищены от предыдущего топлива.

2. Влажность всех видов опытных образцов определялась в лаборатории предприятия перед процессом сжигания по стандартным методикам.

3. Параметры работы теплогенератора контролировались на штатном пульте управления, позволяющем зафиксировать значения параметров расхода биотоплива, подачи воздуха в теплогенератор и смешительную камеру; температуру агента сушки на выходе из участка генерации тепла.

На рис. 4 представлена принципиальная схема подготовки теплоносителя [9].



1. Автоматический топливный склад; 2. Конвейер от топливного склада до агрегата сушки-измельчения; 3. Оперативный бункер теплогенератора с датчиками уровня топлива; 4. Конвейер оперативного бункера в топку теплогенератора; 5. Топка теплогенератора; 6. Вентилятор №1 топки; 7. Вентилятор №2 топки; 8. Смесительная камера теплогенератора; 9. Вентилятор подачи воздуха в смешительную камеру; 10. Труба аварийно-растопочная теплогенератора с автоматической заслонкой; 11. Газоход от смешительной камеры к дымососу; 12. Автоматическая система искрообнаружения и искрогашения; 13. Дымосос теплогенератора; 14. Газоход от дымососа к сушилке; 15. Термодатчик топки; 16. Термодатчик смешительной камеры; 17. Термодатчик входа в сушильный агрегат; 18. Термостат системы пожаротушения в конвейере оперативного бункера система пожаротушения; 19. Система золоудаления; 20. Контейнер-золосборник; 21. Шкаф управления теплогенератором; 22. Датчики уровня топлива; 23. Перегрузатель. 24. Агрегат сушки-измельчения биотоплива. 25. Конвейер от агрегата сушки-измельчения к оперативному бункеру теплогенератора.

Рисунок 4 – Принципиальная схема подготовки теплоносителя

Результаты исследования

Для определения режимов работы теплогенератора, работающего на отходах зерна при использовании на зерносушильных комплексах [6-9], необходимо в ходе теплотехнического расчета решить следующие задачи:

1. Определить расход топлива при работе теплогенератора на номинальном режиме.
2. Определить расход воздуха, необходимый для снижения температуры продуктов сгорания до заданной температуры теплоносителя сушильного агрегата.
3. Определить расход теплоносителя сушильного агрегата при работе теплогенератора в номинальном режиме.

Для определения мощности топки используем выражение:

$$N_{\text{топ}} = N_{\text{тг}} / \eta_{\text{смес.кам}}, \text{ кВт} \quad (1)$$

где $N_{\text{тг}}$ – потребная мощность теплогенератора, кВт; $\eta_{\text{смес.кам}}$ – коэффициент полезного действия смесительной камеры.

Расход топлива определяется из выражения:

$$B_{\text{топ}} = \frac{3600 N_{\text{топ.}}}{b_{\text{н}} \eta_{\text{топ.}}}, \text{ кг/ч} \quad (2)$$

где $\eta_{\text{топ}}$ – коэффициент полезного действия топки; $b_{\text{н}}$ – низшая теплота сгорания топлива.

Определяем расход воздуха необходимый для снижения температуры продуктов сгорания до заданной температуры теплоносителя сушильного агрегата.

Материальный баланс смесительной камеры:

$$M_{\text{см}} = M_{\text{пр.сг}} + M_{\text{возд}}, \text{ кг/ч} \quad (3)$$

Массовый расход воздуха, подаваемый в смесительную камеру для снижения температуры продуктов сгорания до температуры теплоносителя сушильного агрегата, определяется из выражения:

$$M_{\text{возд.}} = \frac{\eta_{\text{см.кам}} C_{\text{пр.сг.}} T_{\text{пр.сг.}} - C_{\text{см}} T_{\text{см}}}{C_{\text{см}} T_{\text{см}} - \eta_{\text{см.кам}} C_{\text{возд.}} T_{\text{возд.}}}, \text{ кг/ч} \quad (4)$$

$M_{\text{возд}}$ – массовый расход воздуха, подаваемый в смесительную камеру для снижения температуры продуктов сгорания до температуры теплоносителя сушильного агрегата, кг/ч; $M_{\text{пр.сг.}}$ – массовый расход продуктов сгорания при температуре $T_r = 900^\circ\text{C}$, кг/ч; $\rho_{\text{пр.сг.}}$ – плотность теплоносителя при нормальных условиях, кг/м³; $\rho_{\text{пр.сг.раб.}}$ – плотность продуктов сгорания при температуре в топке, кг/м³; $V_{\text{пр.сг.}}$ – объёмный расход продуктов сгорания при температуре $T_r = 900^\circ\text{C}$, м³/ч; $C_{\text{пр.сг.}}$ – удельная теплоёмкость продуктов сгорания, кДж/(кг·К); $C_{\text{см}}$ – удельная теплоёмкость смеси продуктов сгорания и воздуха при температуре 130°C , кДж/(кг·К).

Плотность смеси продуктов сгорания воздуха при температуре 130°C определяется по формуле:

$$\rho_{\text{см}} = \frac{M_{\text{пр.сг.}}\rho_{\text{пр.сг.}} + M_{\text{возд}}\rho_{\text{возд}}}{M_{\text{см}}}, \text{ кг/м}^3 \quad (5)$$

где $\rho_{\text{пр.сг.}}$ – плотность продуктов сгорания при температуре 130°C , кг/м³; $\rho_{\text{возд}}$ – плотность воздуха при температуре 130°C , кг/м³.

Объёмный расход смеси продуктов сгорания и воздуха можно определить по формуле:

$$V_{\text{см}} = \frac{M_{\text{см}}}{\rho_{\text{см}}}, \text{ м}^3 \quad (6)$$

Рассмотрим пример расчета теплогенератора на зерновых отходах с требуемой тепловой мощностью на выходе 2000 кВт. Исходные данные для расчета представлены в таблице 1.

Согласно данным исследования топлива в нём содержится 9,59 % золы на абсолютно сухую массу. Путем пересчёта на рабочую массу при влажности топлива 30 % получаем, содержание золы – 6,71 %. Согласно теплотехническому расчёту, расход топлива составит – 563 кг/ч. Следовательно, расход золы составит – 38 кг/ч. Средняя насыпная плотность золы – 600 кг/м³. За сутки это составит – 1,52 м³/сутки или 912 кг/сутки

По приведенной выше методике определены значения параметров работы теплогенераторов для работы с наиболее распространенными мо-

делями зерносушильных комплексов, используемых в Тюменской области. В расчетах принято, что температура окружающей среды – 5 °С.

Таблица 1 – Исходные данные для расчета теплогенератора при работе на отходах рапса

Тип топлива		Отходы рапса	
Влажность топлива		30,00	%
Доля воды в топливе (W)		0,30	
Температура окружающей среды минимальная		-5,00	°С
Температура окружающей среды максимальная		30,00	°С
Температура топлива расчётная		0,00	°С
Требуемая мощность на выходе из теплогенератора	$N_{ТГ}$	2000,00	кВт
Температуре теплоносителя	$T_{Г}$	1173	К
Температура смеси дымовых газов и воздуха на выходе изсмесительной камеры теплогенератора	$T_{см1}$	300	°С
Температура смеси дымовых газов и воздуха за аварийно-растопочной трубой теплогенератора	$T_{см2}$	130	°С
$\eta_{топ}$		0,97	
$\eta_{смес\ кам}$		0,95	
$C_{топ}$		2,552	кДж/кг*К
$C_{возд}$		1	кДж/кг*К
$\theta_{топ}$		278	К
$T_{окр\ ср\ минимальная}$		268,00	К
$\rho_{воз}$		1,31	кг/м ³

Для определения параметров расхода биотоплива (отходов рапса), массового расхода воздуха, подаваемого в смесительную камеру, количества золы, образуемой в процессе работы теплогенератора, от тепловой мощности зерносушилки в диапазоне от 0,5 до 10 МВт были построены графические зависимости, представленные на рис. 5-7.

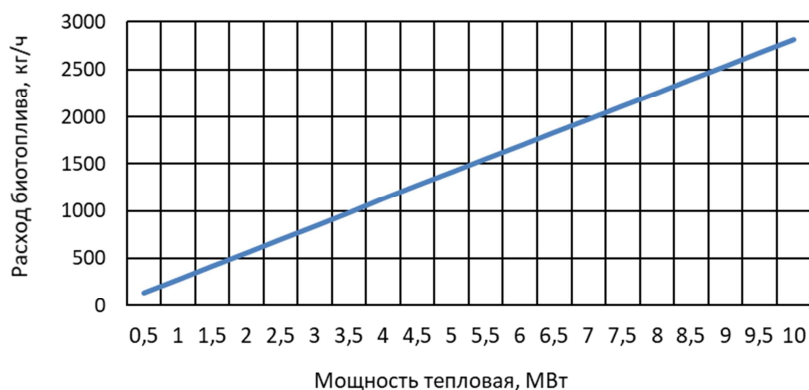


Рисунок 5 – Зависимость расхода биотоплива от тепловой мощности зерносушилки (тип топлива – отходы рапса, температура воздуха – 10 °С)

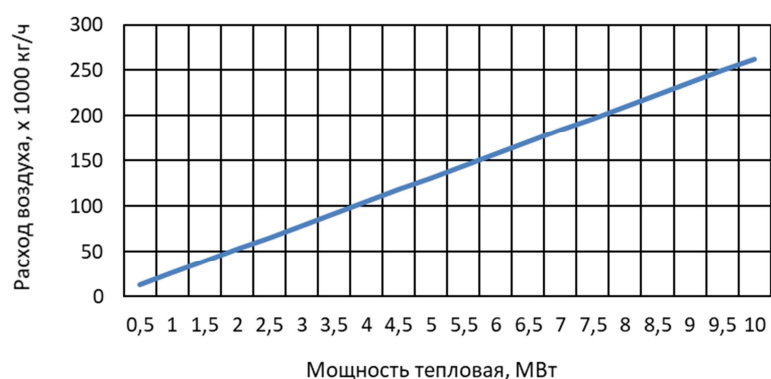


Рисунок 6 – Зависимость массового расхода воздуха, подаваемого в смешительную камеру для снижения температуры продуктов сгорания до температуры теплоносителя сушильного агрегата, от тепловой мощности зерносушилки (тип топлива – отходы рапса, температура воздуха – 10 °С)

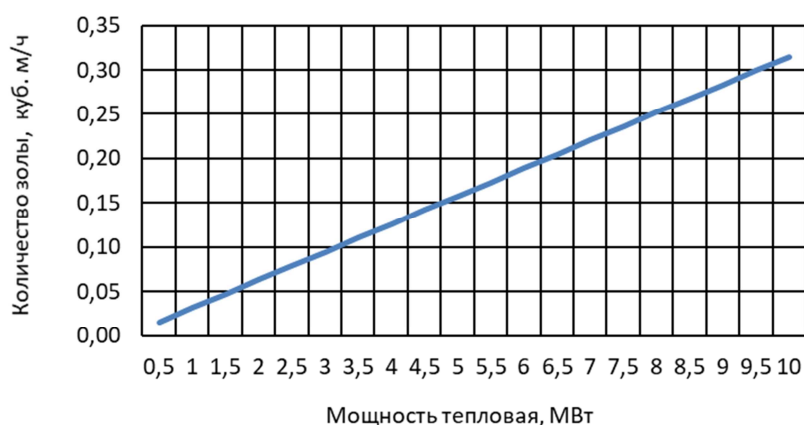


Рисунок 7 – Зависимость количества золы, образуемой в процессе работы теплогенератора, от тепловой мощности зерносушилки (тип топлива – отходы рапса, температура воздуха – 10 °С)

По результатам полученных данных оценивались показатели процесса горения биотоплива и подбирались режимы работы теплогенератора под каждый из исследуемых опытных образцов. Показатели работы теплогенератора приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты работы теплогенератора на разных образцах биотоплива

№ опыта	Показание частотного преобразователя вентилятора ДН-6.3		Показатели частотного преобразователя шнека подачи топлива	Заслонка вентилятора теплогенератора открыта		Температура на выходе из топки		Примечание о работе теплогенератора
				№1	№2	Верхний предел	Нижний предел	
	№1	№2						
1	Отходы рапса W=17-20 %, ООО «Заводоуковский маслозавод»							
	45	35	40	5	5	820	750	норма
	45	35	40	5	5	850	760	норма
2	Отходы ячменя W=15 %, ООО «Заводоуковский элеватор»							
	45	35	46,6	5	5	830	777	норма
	45	35	46,6	5	5	811	800	норма
	45	35	46,6	5	5	845	798	норма
3	смесь отходов образец №1 и №2 (состав 1:1)							
	45	35	-	5	5	-	-	не работает
4	Отходы пшеницы W=12-13 %, ЗАО «Племзавод-Юбилейный»							
	45	35	40	5	5	820	750	норма
	45	35	40	5	5	850	760	норма

В результате анализа полученных результатов с учетом характеристик силового оборудования получены рациональные параметры работы теплогенератора (табл. 3) для различных видов отходов зерна: пшеницы, ячменя и рапса.

Таблица 3 – Результаты работы теплогенератора на разных образцах биотоплива

№ опыта	Частота вращения вентиляторов ДН-6.3, об/мин		Расход топлива, кг/ч	Расход воздуха вентиляторами ДН-6.3, м ³ /ч		Температура агента на выходе из топки, °С	
				№1	№2	Верхний предел	Нижний предел
	№1	№2					
1	Отходы рапса, W=17-20 %, ООО «Заводоуковский маслозавод»						
	900	700	450,4	5670	4410	830	755
2	Отходы ячменя, W=15 %, ООО «Заводоуковский элеватор»						
	900	700	525,4	5670	4410	829	792
4	Отходы пшеницы W=12-13%, ЗАО «Племзавод-Юбилейный»						
	900	700	450,4	5670	4410	830	755

Заключение

В результате теплового расчета, определены технические параметры работы теплогенераторов для различных типов зерносушилок, используемых в хозяйствах Тюменской области. Данная методика применима для всех типов зерносушильных комплексов, работающих в регионах России и за рубежом.

Определены рациональные режимы работы теплогенератора для отходов зерна пшеницы ячменя и рапса. Температура сжигания отходов 755-830 °С. Расход топлива для вихревого теплогенератора при сжигании отходов рапса и пшеницы составляет 450,4 кг/ч, ячменя 525,4 кг/ч.

Биотопливо в виде отходов ячменя пригодно с увеличением расхода топлива на 15 %; топливо в виде отходов рапса с влажностью более 30 % в теплогенераторе не горит. Попытка смешивания с сухими отходами овса в отношении 1:1 тоже не дает положительного результата. Оптимальная

влажность биотоплива для сжигания в вихревых топках составляет 10-20 %.

Список литературы

1. Сысуев В.А., Кедрова Л.И., Уткина Е.И., Порев И.А., Чижиков А.Г. Перспективы термохимической переработки зерно-соломистых отходов озимой ржи в энергетических целях // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2008. № 11. С. 264-272.
2. Щуренко В.П. Разработка вихревых низкотемпературных топков и технологических схем огневой утилизации растительных отходов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Барнаул: Алтайский ГТУ им. И.И. Ползунова, 2004. 20 с.
3. Курбанов К.К. Обоснование параметров и разработка топки на растительных отходах для зерносушилок сельскохозяйственного назначения: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Москва: Всерос. НИИ МСХ (ВИМ), 2000. 36 с.
4. Energy potential of anaerobic digestion of wastes produced in Russia via biogas and microbial fuel cell technologies / Kalyuzhnyi S.V. // *Biotechnology in Russia*. 2008. № 3. С. 1-14.
5. Иванов А.С., Устинов Н.Н. Анализ нормативно-правовых актов о растительных отходах и потенциал их использования в качестве биотоплива // *Мир Инноваций*. 2019. № 4. С. 9-16.
6. Постановление Правительства Тюменской области от 22 декабря 2014 года №662-П «Об утверждении государственной программы Тюменской области «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности до 2020 года»: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/21728987/>
7. Иванов А.С., Устинов Н.Н. Результаты исследования технических характеристик отходов зерновых культур, применяемых в качестве биотоплива // *Аграрный научный журнал*. 2020. № 5. С. 88-92.
8. Иванов А.С., Устинов Н.Н. Оценка эффективности применения отходов переработки зерновых культур в качестве биотоплива для сушки зерна // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2019. № 6 (80). С. 162-165.
9. Andrey Ivanov and Nikolai Ustinov. Parameters of the heat-generating installation on biofuel for grain drying. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 403, XII International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry 10–13 September 2019, Don State Technical University, Russian Federation.

References

1. Sysuev V.A., Kedrova L.I., Utkina E.I., Porev I.A., Chizhikov A.G. Perspektivy termohimicheskoy pererabotki zernosolomistykh othodov ozimoy rzhi v energeticheskikh celyah // *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2008. № 11. S. 264-272.
2. SHCHurenko V.P. Razrabotka vihrevykh nizkotemperaturnykh topok i tekhnologicheskikh skhem ognevoj utilizacii rastitel'nyh othodov: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Barnaul: Altajskij GTU im. I.I. Polzunova, 2004. 20 s.
3. Kurbanov K.K. Obosnovanie parametrov i razrabotka topki na rastitel'nyh othodah dlya zernosushilok sel'skohozyajstvennogo naznacheniya: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Moskva: Vseros. NII MSKH (VIM), 2000. 36 s.
4. Energy potential of anaerobic digestion of wastes produced in Russia via biogas and microbial fuel cell technologies / Kalyuzhnyi S.V. // *Biotechnology in Russia*. 2008. № 3. S. 1-14.

5. Ivanov A.S., Ustinov N.N. Analiz normativno-pravovyh aktov o rastitel'nyh othodah i potencial ih ispol'zovaniya v kachestve biotopliva // Mir In-novacij. 2019. № 4. S. 9-16.
6. Postanovlenie Pravitel'stva Tyumenskoj oblasti ot 22 dekabrya 2014 goda №662-P «Ob utverzhdenii gosudarstvennoj programmy Tyumenskoj oblasti «Energoberezhenie i povyshenie energeticheskoj effektivnosti do 2020 goda»: [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://base.garant.ru/21728987/>
7. Ivanov A.S., Ustinov N.N. Rezul'taty issledovaniya tekhnicheskikh harakteristik othodov zernovyh kul'tur, primenyaemyh v kachestve biotopliva // Agrarnyj nauchnyj zhurnal. 2020. № 5. S. 88-92.
8. Ivanov A.S., Ustinov N.N. Ocenka effektivnosti primeneniya othodov pererabotki zernovyh kul'tur v kachestve biotopliva dlya sushki zerna // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019. № 6 (80). S. 162-165.
9. Andrey Ivanov and Nikolai Ustinov. Parameters of the heat-generating installation on biofuel for grain drying. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 403, XII International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry 10–13 September 2019, Don State Technical University, Russian Federation.