

УДК 628.475.7:631.862

**Ю.Г. ИВАНОВ**

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева

**А.Ф. ШАФЕЕВ**

НПП «Белкотломаш»

**В.В. ЦЕЛИКОВ**

НП «НИЦ ИнЭн»

## ОСОБЕННОСТИ СЖИГАНИЯ ПОДСТИЛОЧНОГО ПОМЕТА ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ УТИЛИЗАЦИИ

*В работе представлены результаты экспериментальных исследований по термической утилизации подстилочного помета птицефабрик для производства тепловой энергии в твердотопливных котлах. Предложена установка мультислонового сжигания с регулируемыми параметрами, обеспечивающими повышение эффективности установки и увеличение межсервисного интервала с 2 до 8 недель за счет формирования устойчивого теплового потока, устранения образования агломерации на колосниковой решетке и роста отложений на теплообменных поверхностях из-за расплавленных частиц золы. Применение систем регулирования притока воздуха вентиляторами в рабочие зоны котла и рециркуляции дымовых газов позволяет снизить амплитуду колебаний мощности котла с 40% до 10%.*

*Ключевые слова: птицефабрика, экологическая безопасность, подстилочный помет, термическая утилизация помета, твердотопливный котел, тепловая энергия, энергоснабжение птицефабрики.*

Важнейшей проблемой при производстве продукции птицеводства является угроза загрязнения окружающей среды пометом птицефабрик, накопившимся в огромных количествах. Анализ способов переработки подстилочного помета (ПП) показывает, что одним из наиболее перспективных путей решения утилизации помета является его сжигание и получение тепловой энергии для собственных нужд птицефабрики.

Несмотря на широко распространенное производство твердотопливных котлов для различных видов топлива, в настоящее время не производятся котлы, предназначенные для сжигания помета, в связи с чем возникает необходимость проведения исследований по отработке технологии и разработке установки для сжигания подстилочного помета [1...3].

Целью исследований является создание установки по термической утилизации подстилочного помета с производством тепловой энергии.

С 2010 г. проведен цикл работ, включающий в себя лабораторные исследования по термической утилизации подстилочного помета, исследования экспериментальных лабораторных и опытных образцов, а также производственные исследования промышленного образца установки на птицефабрике [4, 5]. В работе принимали участие НП

«НИЦ ИнЭн», РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, ОАО «ВТИ», ООО «НПП Белкотломаш».

Лабораторные исследования по термической утилизации подстилочного помета проведены на кафедре автоматизации и механизации животноводства. Химический состав золы определялся в Испытательном центре почвенно-экологических исследований в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Для проведения экспериментальных исследований создана специализированная лаборатория, оснащенная муфельными печами, гранулятором, дробилкой, пирометром, электронными весами и оборудованная системой вытяжной вентиляции.

Лабораторные исследования показали, что выход золы при сжигании подстилочного помета составляет 12–15% от массы исходного сырья. Продукт сгорания представляет собой золу с большим содержанием фосфора, кальция, калия, без патогенных микроорганизмов. Установлено, что основной составляющей поверхностной пленки, препятствующей полному сжиганию подстилочного помета, являются оксиды фосфора (табл. 1). В случае горения подстилочного помета в обозначенных температурных режимах расплав оксида фосфора перекрывает доступ воздуха к топливу на колосниковой решетке котлов для горе-

ния твердой горючей составляющей подстилочного помета.

Таблица 1

**Химический состав золы и температура плавления**

Наименование	Процентное содержание	Температура плавления, °C
SiO <sub>2</sub>	35,85	1700
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,48	2044
TiO <sub>2</sub>	0,09	1870
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,82	1566
CaO	11,79	2570
MgO	5,0	2825
K <sub>2</sub> O	14,73	2570
P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,23	420 (Н-форма), 569 (О-форма)
SO <sub>3</sub>	6,7	16,9
Остальное	10,31	
Итого	100	

Установлено, что технология предварительной сушки подстилочного помета, измельчения и пеллетизации для подготовки к использованию в качестве топлива является весьма энергозатратной и составляет порядка 1,0 тыс. руб. из расчета за 1,0 Гкал получаемой тепловой энергии. В связи с этим, предложена технология термической утилизации, предусматривающая предварительное накопление и подсушивание подстилочного помета в

специальном хранилище методом активного вентилирования до влажности 35–45%, с последующим его прямым сжиганием в твердотопливном котле.

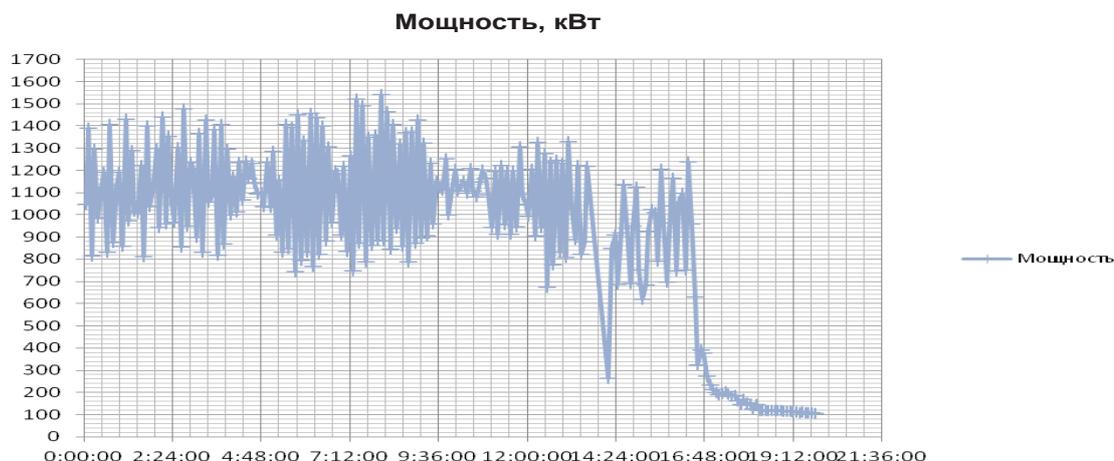
Подстилочный помёт представляет собой топливо с колеблющейся при длительном хранении влажностью  $W^r = 34,5–40\%$ . По сравнению с древесным топливом подстиочно-помётный материал имеет более высокую зольность  $A^r = 13–15\%$ , содержит серу  $S^r = 0,6–0,8\%$ , аммиак  $NH_4 = 2,7\%$  (в пересчете на азот), хлор  $Cl = 0,7\%$ , а теплота сгорания находится на уровне  $Q^i_r = 9500$  кДж/кг при влажности  $W^r = 35\%$ .

Проведенные хозяйственные исследования опытных образцов выявили ряд проблем, связанных со спецификой термической утилизацией подстилочного помета.

1. Установлено, что существует широкий разброс минимальной и максимальной теплотворной способности данного топлива из-за его неоднородного состава, затрудняющего обеспечение стабильного горения и устойчивого теплового потока (рис. 1). При работе установок были отмечены значительные колебания тепловой мощности, достигающие 40%. Причиной неравномерности является периодический характер горения топлива с чередованием периодов сушки, воспламенения и горения топлива.

2. Минеральная часть подстилочного помета обогащена оксидами щелочных металлов и кремния и имеет низкие плавкостные характеристики. В процессе сжигания могут образовываться эвтектики, способствующие интенсивной агломерации и спеканию золы. Результаты исследований по определению критических температур плавления подстилочного помета представлены в таблице 2. Исследования показывают, что температура в рабочей зоне топки не должна превышать 970°C.

3. При проведении исследований установлена высокая степень минерализации и летучести золо-



**Рис. 1. Колебания тепловой мощности экспериментальной установки по сжиганию подстилочного помета**

Таблица 2

**Результаты исследований по определению критических температур плавления подстилочного помета**

Плавкость	Проба подстилочного помета	Зола подстилочного помета
Температура деформации, °С	970	970
Температура полусферы, °С	1210	1330
Температура растекания, °С	1300	>1350

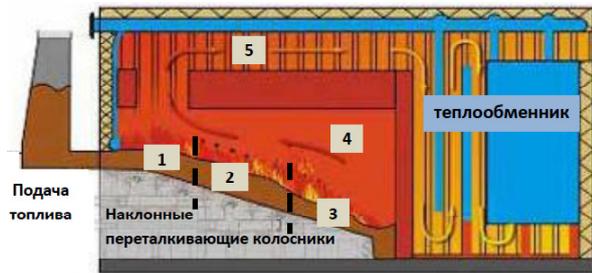
шлаковых компонентов, приводящая к забиванию теплообменников и дымовых труб.

4. Сжигание подстилочного помета при температуре на колосниках выше 600°С приводит к их коксованию и образованию газонепроницаемой пленки из расплава золы на поверхности топлива, значительному уносу дымовыми газами расплавленных частиц легкоплавких компонентов топлива, которые, конденсируясь на стенках газоходов и на конвективных поверхностях теплообменника, в короткое время приводят к их забиванию. Кроме того, происходит образование агломератов на колосниковой решетке, размер которых достигает 30 см в диаметре, что препятствует работе системы золоудаления в штатном режиме, приводя к остановке работы оборудования.

Следует отметить, что указанные специфические особенности горения подстилочного помета являются характерными при применении его в качестве топлива методом прямого сжигания.

С учетом указанных недостатков, для повышения эффективности сжигания подстилочного помета, на производственной базе ООО «НПП Белкотломаш» была разработана установка с мультizonовой системой горения, состоящей из слоевой топки и конвективного газохода. Установка оснащена топкой с наклонно-переталкивающей колосниковой решеткой, состоящей из неподвижных и подвижных колосников. Топочное устройство разделено на несколько зон горения, обеспечивающих максимально эффективный процесс сжигания подстилочного помета (рис. 2). Подстилочный помет предварительно проходит через сепаратор, отделяющий крупные комки и посторонние материалы, пропуская частицы помета размером не более 2,0 см. Далее механический ворошитель разрушает крупные частицы, и помет передвигается с помощью цепочно-планчатого транспортера в дозатор котла. Эти процессы способствуют получению более однородного состава топлива, подаваемого в топку.

Технологический процесс термической утилизации подстилочного помета выглядит следующим



**Рис. 2. Схема установки для термической утилизации подстилочного помета:**

- 1 – зона испарения влаги и возгонки летучих составляющих ПП;
- 2 – зона горения нелетучих составляющих ПП;
- 3 – зона дожига углерода;
- 4 – зона горения летучих составляющих ПП;
- 5 – зона дожига сложных углеводов

образом (см. рис. 2). Топливо влажностью до 55% подается на переталкивающую колосниковую решетку и последовательно проходит зоны от 1-й до 3-й, в которые принудительно нагнетается воздух от приточных вентиляторов с регулируемыми заслонками. Причем в зону 3 также подаются дымовые газы для регулирования температуры горения. Сначала топливо подается в зону 1 испарения влаги и возгонки летучих составляющих подстилочного помета. Пройдя зону 1, топливо поступает в зону 2, где в основном происходит горение нелетучих составляющих, их термическая деструкция и возгонка образующихся летучих компонентов. Затем в зоне 3 дожигаются все горючие составляющие – в основном углерод. 4-я зона обеспечивает горение летучих компонентов подстилочного помета. В зоне 5 происходит догорание продуктов газификации при температуре 950–1000°С, что в сочетании с удлиненным газоходом обеспечивает полное догорание сложных углеводов и разложение фуранов и диоксинов, образующихся в процессе возгонки. Установка имеет газоплотную конструкцию, что позволяет отдельно регулировать подачу воздуха во все рабочие зоны котла. Для стабилизации процесса и снижения скорости горения и термических нагрузок в третьей зоне предусматривается подача (рециркуляция) дымовых газов. В зоне 5 подача воздуха организована таким образом, что обеспечивает турбулентное движение потока газов для тщательного перемешивания и удлинения расстояния, проходимого дымовыми газами в высокотемпературной зоне.

Разделение топочного пространства по зонам является условным, так как процессы испарения влаги, возгонки и горения на колосниковой решетке точно разделить невозможно. Например, для испарения влаги и возгонки летучих в зоне 1 обеспечение необходимой температуры потребует сжигания определенного количества топлива. Однако влажные и уплотненные комки топлива

могут испарять влагу и возгоняться даже в зоне 3. Аналогична ситуация с процессами горения и дожига летучих в зонах 4 и 5. Однако управление подачи воздуха в каждую из зон отдельно позволяет организовать сжигание ПП таким образом, что в каждой из зон преобладает тот или иной процесс.

В процессе режимно-наладочных работ на нагрузке 900–1100 кВт удалось существенно снизить амплитуду (до 10%) колебаний мощности за счёт применения рециркуляции дымовых газов в топку (рис. 3). Рециркуляция дымовых газов под

слой в зону между 2 и 3 с управлением воздушными заслонками способствовала также более равномерному горению по ширине слоя в этой зоне.

Следует отметить, что основной целью совершенствования установки по термической утилизации подстилочного помета является увеличение межремонтного и межсервисного интервала. Повышение энергетической эффективности сжигания подстилочного помета – хотя и важный, но второстепенный вопрос, так как в настоящее время дефицита топлива – помета – не существует.

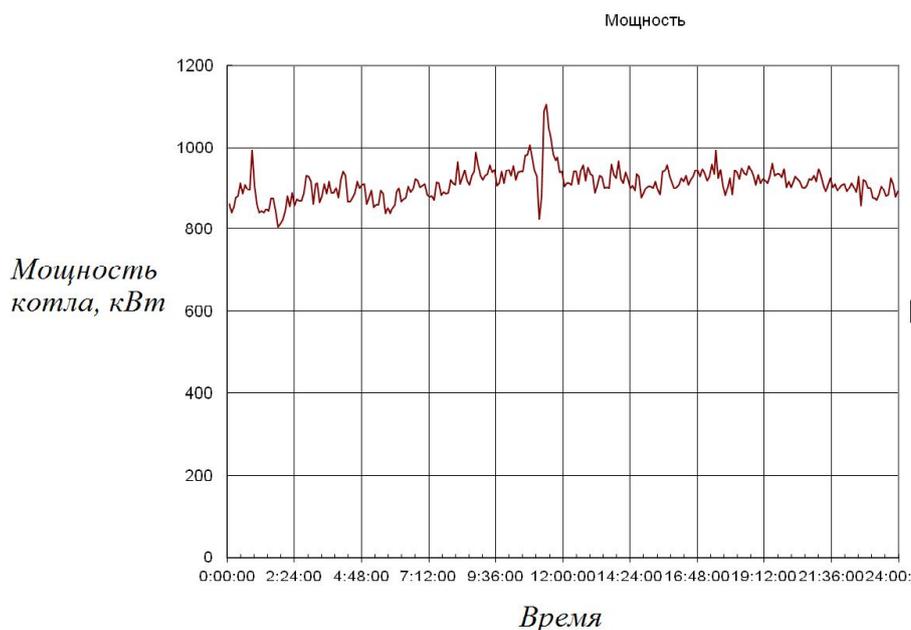


Рис. 3. График мощности установки по термической утилизации подстилочного помета

По данным Испытательного центра почвенно-экологических исследований в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, результаты анализа золы, полученной при сжигании подстилочного помета, указывают на содержание в них значительного количества фосфора, кальция, калия без патогенных микроорганизмов, в связи с чем она может быть использована в качестве минерального удобрения, а также в производстве кормовых добавок и строительных материалов.

**Выводы**

1. В результате проведенных исследований установлены особенности термической утилизации подстилочного помета в твердотопливных котлах и определены параметры, обеспечивающие повышение эффективности его сгорания и увеличение межсервисного интервала.

2. Полученные в результате экспериментальных исследований данные легли в основу разработки ТЗ для усовершенствования установки по термической

утилизации подстилочного помета за счет формирования устойчивого теплового потока, устранения образования агломерации на колосниковой решетке и роста отложений на теплообменных поверхностях из-за расплавленных частиц золы.

3. Применение систем регулирования притока воздуха вентиляторами в рабочие зоны котла и рециркуляции дымовых газов позволяет снизить амплитуду колебаний мощности котла с 40% до 10%.

4. Усовершенствованная установка по термической утилизации подстилочного помета позволяет повысить межсервисный интервал, а следовательно, и периоды остановки котлов с 2-х недель до 2-х мес.

5. Получаемая в результате сжигания подстилочного помета зола содержит химические элементы, представляющие интерес для использования в качестве минерального удобрения. Оценка эффективности их применения требует дополнительных исследований.

**Библиографический список**

1. Корнева Н.Н. Экологические и экономические перспективы развития промышленного птицеводства / Н.Н. Корнева и др. М.: ООО «НИПКЦ Восход-А», 2009. 208 с.
2. Лысенко В.П. Куриный помет – побочная продукция птицефабрик / В.П. Лысенко // Птица и птицепродукты. 2013. № 5. С. 65–67.
3. Фисинин В.И. Технологии и технические средства для переработки помета на птицефабриках: Научно-методическое руководство / В.И. Фисинин и др. М.: ООО «НИПКЦ Восход-А», 2011. 296 с.
4. Экспериментальная установка для утилизации подстилочного помета и производства тепло-

вой энергии: Труды 9-й Международной научно-технической конференции «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». В 5 ч. Ч. 3. Энергосберегающие технологии в животноводстве и стационарной энергетике. Москва, 21-22 мая 2014 г. / Ю.Г. Иванов и др. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2014. С. 104–106.

5. Экспериментальная установка для экологической утилизации подстилочного помета с выработкой тепловой энергии: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной памяти, д.с.-х.н., профессора С.Г. Караева «Актуальные вопросы науки и практики как основа производства экологически чистой продукции сельского хозяйства», Махачкала, 14-15 мая 2014 г. / Ю.Г. Иванов и др. Махачкала, Дагестанский ГАУ имени М.М. Джамбулатова, 2014. С. 186–193.

**Иванов Юрий Григорьевич** – доктор технических наук РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: +7 910 469 52 90; e-mail: iy.electro@mail.ru.

**Шафеев Альберт Фаритович** – НПП «Белкотломаш», представительство по ЦФО РФ; Москва, Ленинградский проспект, 80, корп. 4, офис № 8; тел.: +7 985 111 99 07; e-mail: shafeev.af@yandex.ru.

**Целиков Виктор Викторович** – технический директор НП «НИЦ ИнЭн»; Москва, пр-д Одоевского, 11-1-10; тел.: +7 916 801 34 37; e-mail: 9168013437@mail.ru.

## FEATURES BURNING OF LITTER MANURE IN THERMAL RECYCLING

**Y.G. IVANOV**

Russian State Agrarian University – MAA named after K.A. Timiryazev

**A.F. SHAFEEV**

SPE «Belkoltomash»

**V.V. TCELIKOV**

NP «SIC Inan»

*The article presents the results of an experimental research on the thermal utilization of poultry manure on poultry farms for the production of thermal energy with the solid fuel boilers.*

*The authors propose their design of the installation with multi-zonal burning and adjustable parameters, which provides:*

- improved plant efficiency and increased service intervals from 2 to 8 weeks, due to the formation of stable laminar heat flow;
- eliminated formation of agglomeration on the grate;
- reduced growth of deposits on the heat transfer surfaces due to molten ash particles.

*Application of the system of the regulated airflow fans in working areas of the boiler and exhaust gas recirculation provide for reduction of the amplitude of the oscillation boiler capacity from 40% to 10%.*

*Key words: poultry farm, environmental safety, chicken manure, thermal recycling, thermal energy, solid fuel boiler*

## References

1. Kornev N.N. Environmental and economic development prospects of the poultry industry / N.N. Korneva et M.: ООО «NIPCC Sunrise-A», 2009. 208.
2. Lysenko V.P. Chicken manure - side poultry products / V.P. Lysenko // The Bird and priceproduct. 2013. № 5. S. 65-67.
3. Fisinin V. I. Technologies and technical means for processing manure from poultry farms: Scientific-methodical manual / V.I. Fisinin et M.: ООО «NIPCC Sunrise-A», 2011. 296 p.
4. Experimental setup for the disposal of manure and litter production of thermal energy: Proceedings of the 9th International scientific-technical conference «Energy Supply and energy conservation in agriculture». 5 part 3 hours. Energy-saving technologies in livestock and stationary energy. Moscow, may 21–22, 2014 / Y.M. Ivanov et: GNU viesh, 2014. P. 104-106.
5. Experimental setup for environmental disposal of litter manure development of thermal energy: Materials of all-Russian scientific-practical conference dedicated to the memory of, d. of agricultural Sciences, Professor S.G. Karayev «Topical issues of science and practice as a basis for the production of ecologically pure agricultural products», Makhachkala, on may 14-15, 2014 / J.G. Ivanov et al., Makhachkala, Dagestan state agrarian UNIVERSITY named after M.M. Academ, 2014. P. 186-193.

**Ivanov Yu.G.** – PhD (Tech), RSAU-MAA named after K. A. Timiryazev; 127550, Moscow, Timiryazevskaya ul., 49; tel.: +7 910 469 52 90; e-mail: iy.electro@mail.ru.

**Shafeev A.F.** – Belkoltomash R&D Central Federal District Representative office; Moscow, Leningradskiy prospect, 80, bld. 4, office 8; tel.: +7 985 111 99 07; e-mail: shafeev.af@yandex.ru

**Tcelikov V.V.** – Technical Director, InEn R&D; Moscow, Odоеvskogo proezd, 11-1-10; тел.: +7 916 801 34 37; e-mail: 9168013437@mail.ru.