

Иванов Анатолий Николаевич

Белов Валерий Васильевич

СПОСОБЫ И УСТАНОВКИ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ПТИЧЬЕГО ПОМЕТА

Ключевые слова: птицеводство, птичий помет, сжигание, котлы, технология утилизации, зола.

В монографии рассматриваются технологии утилизации птичьего помета, особое внимание авторы уделяют утилизации путем сжигания помета. В работе даны классификационные признаки технологий утилизации и рассмотрены различные способы и конструкции котлов для сжигания птичьего помета. На основе анализа существующих технологий и способов утилизации исследователи дают рекомендации. На основе исследования литературных источников и нормативных документов авторы рекомендуют использовать технологию сжигания помета как наиболее экологически оправданного варианта технологии утилизации. Проведенный исследователями анализ способов и установок для энергетической утилизации органических продуктов и материалов показал, что экологическую проблему загрязнения окружающей среды отходами птицефабрик можно снизить, применяя на птицефабриках специализированную установку для сжигания подстилочного помета с выработкой тепловой энергии индивидуально в каждом предприятии по производству продукции птицеводства. При этом особое внимание следует уделить на влажность подстилочного помета и провести исследования влияния влажности на работоспособность установки и производительность установки по объему сжигания подстилочного помета.

Keywords: poultry, bird droppings, combustion, boilers, technology of disposal of ash.

The monograph discusses the utilization of poultry litter, special attention is paid waste by burning dung. In this classification features of the technologies for utilization and discuss different methods and the design of the boilers to burn poultry litter. Based

on the analysis of existing technologies and ways of utilization, the authors give recommendations. Based on the study of literary sources and normative documents, the authors recommend to use the litter incineration as the most environmentally viable option utilization technology. The authors' analysis of methods and systems for energy recovery of organic products and materials showed that the environmental problem the environmental pollution of waste poultry farms can be reduced by applying on poultry farms specialised installation for burning litter manure from production of heat energy individually to each enterprise for the production of poultry products. Particular attention should be paid to the humidity of the litter manure, and to conduct research on the influence of humidity on plant availability and plant productivity in terms of burning litter manure.

Одним из приоритетных направлений развития России являются отрасли сельского хозяйства, на которое сегодня руководство страны стало обращать пристальное внимание. Агропромышленный комплекс (АПК) для экономики страны исключительно важен с точки зрения обеспечения продовольственной безопасности. В связи с изменениями во внешнеполитическом аспекте и различными ограничениями на ввоз сельскохозяйственной продукции в Россию правительством запущена программа импортозамещения. Развитие страны немыслимо без агропромышленного комплекса РФ. Так, в рамках импортозамещения, производство некоторых видов сельхозпродукции в РФ стабильно растет. Полагаем, что роль АПК в экономике России в ближайшие годы будет только усиливаться.

В части животноводства сельскохозяйственное производство имеет разные структурные составляющие. В частности остро встает вопрос комплексного развития натурального производства в отрасли животноводства. При производстве мясомолочных продуктов ежегодно в России образуется большое количество отходов в виде навоза и т. д.

Особенно быстро развивается производство мяса птицы. Известно, что производстве яиц и мяса птиц создает экологические проблемы, связанные с большим объемом помета птицефабрик, что является одной из важнейших экологических проблем при производстве продукции птицеводства.

За 2014 год было забито птицы на 5 млн. тонн кг, а яиц было получено в количестве 31 837 млн. штук. Специалисты утверждают, что на каждый килограмм полученного мяса выходит 3 кг помета птицы. При этом для каждого цыпленка в период выращивания требуется в среднем 3 кг опилок. По статистическим данным суммарный объем помета в масштабах страны:

- мясное производство – 30 млн тонн;
- яичного направления 6,5 млн тонн.

При этом речь идет о санитарно-опасном объекте, так как птичий помет рассматривается как токсичные отходы производства III класса опасности, что требует проведения углубленных исследований в направлении его переработки. Имеющиеся технологии переработки не обеспечивают должного уровня утилизации куриного помета, в связи с чем, на прилегающих территориях скапливается огромное количество разлагающегося материала.

Проведенный анализ априорной информации и технологий утилизации подстилочного помета птицы, показал, что перспективным и наиболее эффективным методом утилизации подстилочного помета птицы следует считать – сжигание. При сжигании помета тепловую энергию можно использовать на технологические нужды самих птицефабрик, например, отапливать птичники и использовать на горячее водоснабжение [1].

На наш взгляд утилизация подстилочного помета путем сжигания один из технологий, который позволяет полностью уничтожает опасные микробиологические составляющие помета.

1. Методы прямого сжигания переработки помета птиц

Методы утилизации помета, которые в той или иной степени нашли свое применение в птицеводстве, в первую очередь биологические и физические способы. Тем не менее, уровень развития птицеводческой сферы в разных условиях диктует ряд значительных отличий, которые выражаются в применении собственных специализированных технологий переработки птичьего помета.

Из литературных источников известны возможные способы переработки помета путем сжигания биомассы. Это связано с возможностью утилизации отходов III класса и получением золы IV класса. Зола является удобрением, которая широко применяется в сельском хозяйстве, как калийное удобрение, легкорастворимое в воде и доступное для растений.

Тенденция по утилизации птичьего помета в качестве энергетического ресурса за рубежом проявляется за счет реализации крупных коммерческих проектов. Фактически, в западных государствах начинает перестраиваться существующая инфраструктура, направленная на активизацию новых источников альтернативной энергии, что значительным образом преобразует технологии, используемые с целью переработки отходов животноводства и птицеводства.

Так, например, анализ мировой практики показывает, что за рубежом куриный подстилочный помет сжигается на ТЭЦ большой мощности (более 30 МВт тепловой мощности для энергоблока) совместно с углем или отходами лесопереработки. Так, наиболее крупная в мире станция утилизации введена в эксплуатацию в 2008 году концерном AE&E в г. Моердийк, Голландия, станция которой имеет установленную электрическую мощность 36 МВт и утилизирует в год 400 тыс. т. подстилочного птичьего помета [2].

К сожалению, направление развития энергетической утилизации помета в РФ значительно отстает от мирового уровня. Энергетическая утилизация определяется, в первую очередь тем, что устойчивый технологический процесс сжигания отходов при утилизации без дополнительных энергозатрат можно обеспечить при производительности не менее 5–6 тонн/час, в случае применения в качестве дополнительного топлива угля или отходов лесопереработки для получения более равномерного стабильного теплового потока.

В то же время централизованное специализированное сжигание помета связано с большими транспортными затратами в сравнении и с западноевропейскими странами. Повышенный транспортный расход, снижает экономическую эффективность переработки отходов и тормозит развитие специализированных заводов по утилизации отходов в России. Второй отрицательной особенностью

является холодный климат России, критичный для большинства технологий, что требует значительных первоначальных инвестиций.

В заключение можно отметить, что экологическое законодательство в России более мягкое [3], чем в развитых странах, тем самым можно заключить, что выгодное для владельцев европейских птицефабрик централизованное сжигание помета не находит применения в нашей стране [4; 5].

На основе вышеизложенного, можно сделать вывод, что реальной альтернативой существующим способам утилизации подстилочного помета для РФ является технология, основанная на прямом сжигании подстилочного помета, производимой одной птицефабрикой и располагаемой на ее территории, с выработкой тепловой и, при необходимости, электрической энергии с мощностью переработки от 0,5 до 5 тонн в час. В странах и регионах с холодным климатом, где применение биогазовых технологий нецелесообразно, мировая практика также пошла по пути сжигания отходов.

В последнее время, в РФ наметилась тенденция по интенсификации работ в данном направлении. Созданием установок по переработке подстилочного помета путем прямого сжигания занимаются такие компании как ООО «Союз», ООО «АГК Экология». Однако работа предлагаемых ими установок сопровождается характерными для сжигания подстилочного помета проблемами, такими как: высокая степень минерализации, низкая температура плавления и летучесть зольно-шлаковых компонентов, приводящие к коксованию в теплообменниках, дымовых трубах, колосниках и образованию газонепроницаемой пленки из расплава золы на поверхности топлива, высокая степень коррозии котлового и теплообменного оборудования.

Анализ переработки птичьего помета показывает [6], что специально разработанных топок для сжигания подстилочного помета пока не существует. В связи с этим, необходимо создать оригинальную установку, на базе существующих топок, но с разработанной уникальной усовершенствованной системой, отличающейся технической и практической новизной.

В связи с изложенными обстоятельствами уместно вспомнить рекомендации Г.В. Фирстова, который еще в середине 19 века при описании различных земледельческих машин отмечал «Прежде, нежели станем серьезно думать об улучшениях, постараемся внимательно изучить то, что хотим улучшить» [7].

Существующие способы переработки куриного помета птицефабрик можно разделить на два направления. Первое – переработка с целью производства органических удобрений. Второе – переработка с целью производства энергии. Для второго способа переработки разработан систематизированный перечень технологий энергетической переработки помета птицы (рис. 1).

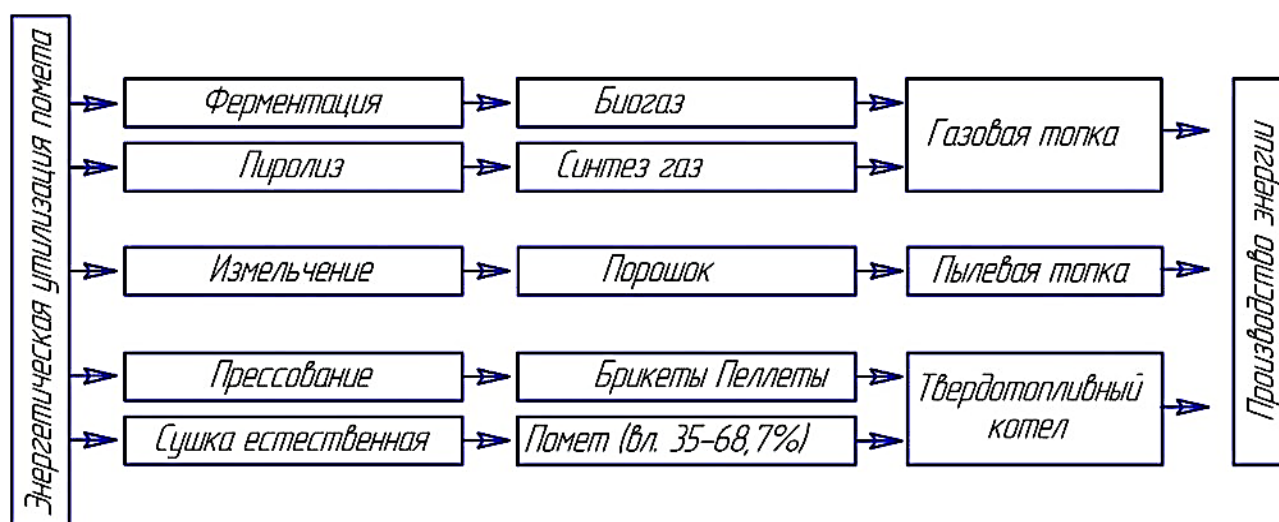


Рис. 1. Классификация технологий энергетической переработки помета птицы

Рассмотрим особенности существующих топок для сжигания твердого топлива, которые могли бы быть использованы для сжигания подстилочного помета с учетом отличительных особенностей его свойств.

При практической реализации процесса утилизации подстилочного помета в топочных установках малой мощности – до 3,5 МВт возникают проблемы: колебание теплотворной способности; высокая степень минерализации, низкая температура плавления и летучесть зольно-шлаковых компонентов, приводящие к коксованию в теплообменниках, дымовых трубах, колосниках и образованию газонепроницаемой пленки из расплава золы на поверхности топлива; высокая степень коррозии котлового и теплообменного оборудования [8–10].

2. Сжигание измельченного помета

Группа канадских компаний HITEC Machinery предлагает технологию сжигания измельченного помета – BPS (Biomass Processing System) и комплект оборудования для переработки куриного помета (рис. 2). В комплект входит оборудование для сушки помета, измельчения, сжигания, получения тепловой и электрической энергии. Такая технология нашла широкое применение в США, Канаде, Японии, Корее, Бразилии, Малайзии и т. д. [11; 12].



Рис. 2. Оборудование для измельчения помета

Технологический процесс измельчения и сушки происходит в следующей последовательности, а порой одновременно за счет следующих процессов.

Влажный помет поступает в роторную камеру, где под воздействием кинетической энергии ротора, которая развивает скорость до 640 км/ч, за счет центробежной силы отделяет воду с верхней поверхности помета, которая в дальнейшем удаляется.

Следующий этап сушки является термическим. При множественных ударах выделяется кинетическая энергия, которая нагревает подстилочный помет до 100 градусов цельсия и выше. Выделившаяся при этом капельки воды превращается

в пар и сразу обратно превращается в воду, так как температура в камере не превышает 90 градусов цельсия. Данная технология позволяет сушить помет без нагрева с помощью воздействия механической силы.

После сушки ротором получается порошок (рис. 3), который можно будет использовать как удобрение и топливо. Для сжигания помета компания НІТЕС Machinery предлагает топки высокой интенсивности, которые были разработаны для полного сжигания трудносжигаемых видов топлива.



Рис. 3. Помет после сушки

Топки высокой интенсивности можно комплектовать с новыми паровыми котлами и использовать при реконструкции старых. Отличительной особенностью топки высокой интенсивности следует отметить, что горение топлива происходит при вращении пламени, что позволяет практически полностью сжигать помет.

Основные характеристики пылевых топок (рис. 4) таковы:

- соответствуют самым жестким экологическим стандартам – сжигание происходит с нулевым уровнем СО и экстремально низким значение NOx;
- полное сжигание биомассы (100% биологического состава);

- эффективность, стабильность и управляемость такие же как у топки, работающей на натуральном газе;
- способность работать одновременно на смеси порошкообразных, жидких и газообразных топлив;
- уровень шума менее 85 dBa (децибел);
- компактный дизайн, что делает топки значительно меньше и дешевле, чем при других технологиях – уменьшаются размеры основного оборудования, а именно парового котла, газоходов, циклонов, вентиляторов, и т. д., что позволяет экономить значительные средства (устанавливаются практически на все паровые котлы, как в новых проектах, так и при модификации существующих котлов);
- эти пылевые топки применяются в промышленности более 35 лет и доказали свою высокую эффективность и надёжность [13; 14].

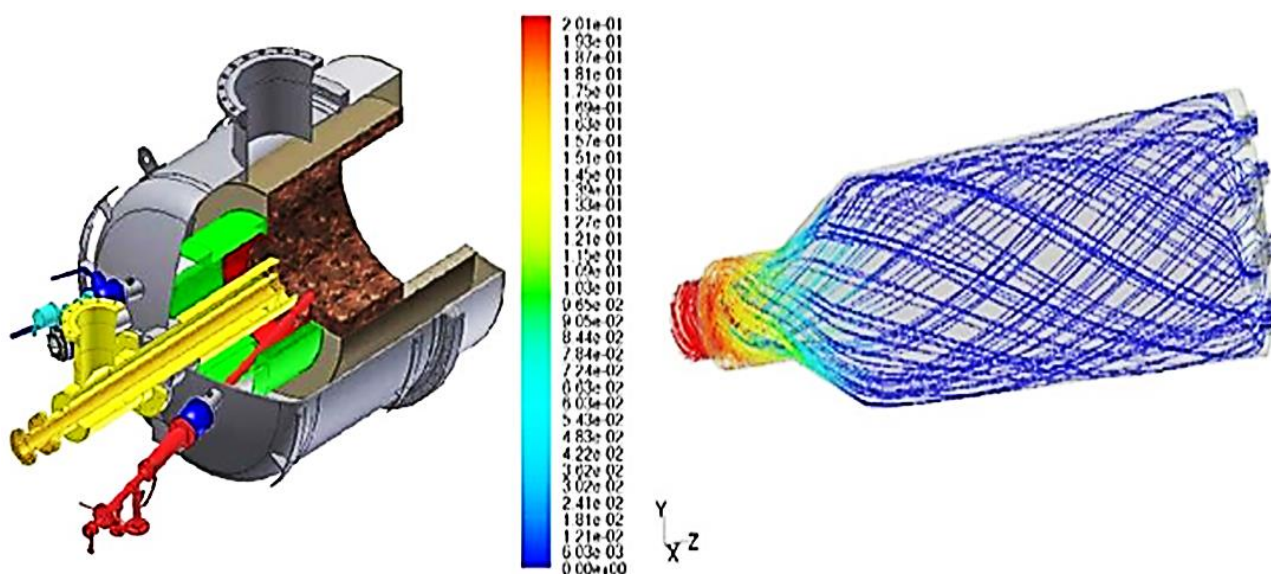


Рис. 4. Пылевая топка

Тем не менее, необходимо учитывать, что технологический процесс BPS предполагает глубокую предварительную подготовку подстилочного помета к сжиганию, что удлинит технологическую цепочку и обуславливает повышенные инвестиционные затраты (установка BPS-4 минимальной производительности стоит 370 000 долларов). Кроме того, отсутствует опыт длительной промышленной эксплуатации пылевой топки (рис. 4), сжигающей измельченную массу

системой BPS- компанией-изготовителем было проведено лишь пробное сжигание помета в течение одного дня с целью замера содержания загрязняющих веществ в исходящих дымовых газах. Таким образом, с использованием указанной системы в связке с пылевой топкой имеются риски, связанные с проблемами сжигания птичьего помета – высокой летучестью, высокой степенью минерализации и низкой температурой плавления золы.

Технология подготовки подстилочного помета к сжиганию приводит к большим энергетическим затратам при всем этом BPS стоит 370 000 \$. Сжигание помета в пылевой топке было проведено в опытных целях, однако применение данной топки в промышленной эксплуатации не наблюдается. Что несет собой риски при сжигании подстилочного помета.

3. Установка с кипящим слоем

Компания DVORAK Engineering (Чехия) является производителем много-топливных котлов, сжигающих биомассу, в том числе птичьего помета, как декларируется производителем. При этом используется технология сжигания в «кипящем слое», как это показано на рис. 5 [15].

Преимущество данной технологии – интенсивное перемешивание частиц топлива газовыми пузырями, позволяющими избежать появления в слое существенной температурной неоднородности, и как, следствие, шлакования. В результате должны обеспечиваться высокий КПД и минимальные выбросы загрязняющих веществ.

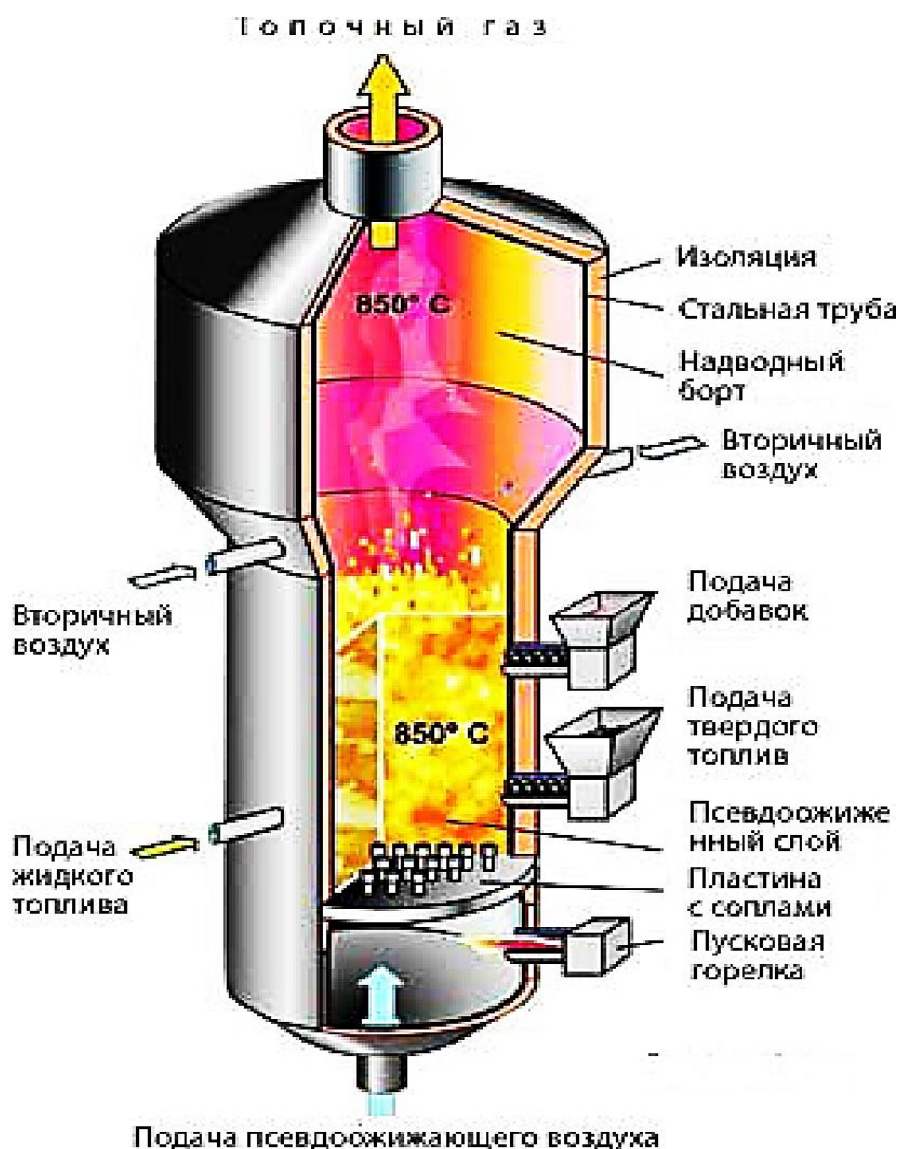


Рис. 5. Установка по сжиганию подстильного помета «в кипящем слое»

Вариантом сжигания «в кипящем слое» является также технология, предлагаемая компания BHSL (Biomass Heating Solutions Limited) (Ирландия), предусматривающая автоматизированную систему загрузки подстильного помета Top-Loader System [16].

Компания INTEC Engineering GmbH предлагает технологию сжигания подстильного помета в кипящем слое. Данная технология предполагает серьезную технологическую обвязку котла, которую должен обеспечить заказчик: для работы системы необходим воздух под давлением 6 атм ($2 \text{ м}^3/\text{ч}$), вода под давлением 3 атм ($2,5 \text{ м}^3/\text{ч}$), сжатый воздух для кипящего слоя 20 атм (30 куб. м в час, рисунок 6. Распределитель воздуха), да еще азот по давлению 6 атм и 200 кг/ч

CaCO₃! Это серьезная инфраструктура, которая потребует значительных расходов помимо покупки котла.



Рис. 6. Распределитель воздуха

Котел компании INTEC Engineering GmbH один из дорогих котлов (4,5 млн евро, рис. 7) и весьма чувствителен к топливу, например, влажность помета должна быть 24% с калорийностью 4 500 ккал/кг. Топливо не должен содержать ядовитые и токсические элементы (ПВХ, Хлор и т. д.).

Особенности котла Outotec с «кипящим» слоем (рис. 8) низкая температура сгорания и низкое содержание избыточного воздуха, минимальное образование выбросов, система селективного некаталитического восстановления: снижение концентрации NO_x (SNCR), высокая эффективность сгорания и низкие выбросы CO.

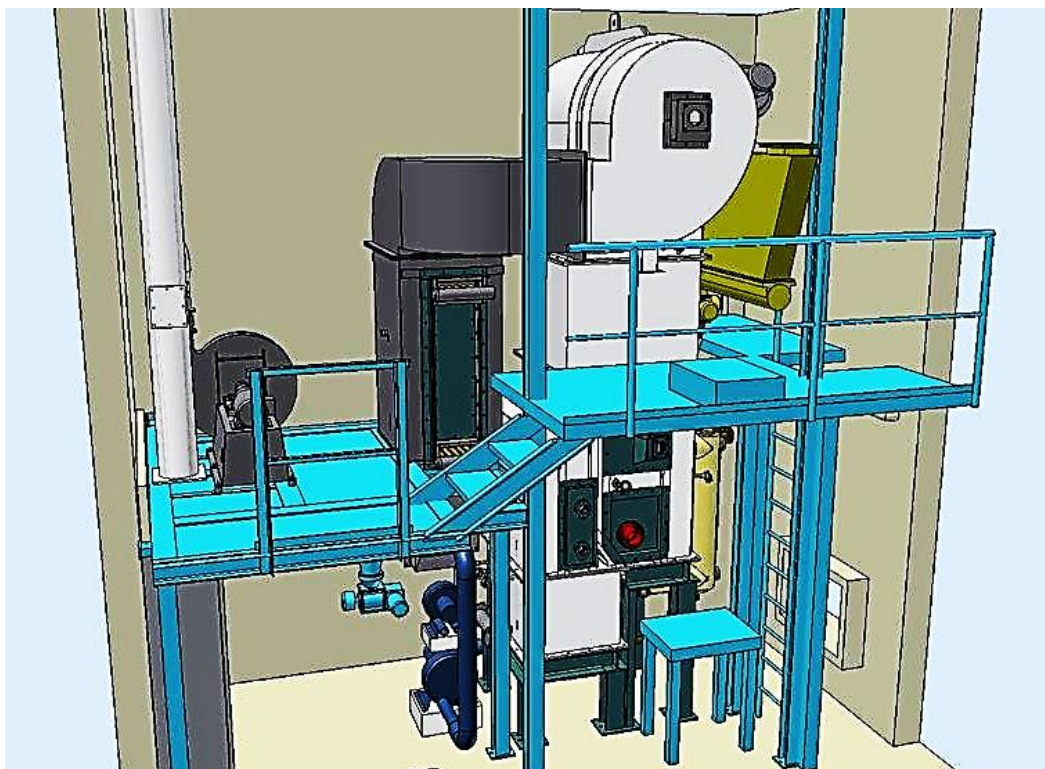


Рис. 7. Установка для сжигания в кипящем слое компании

INTEC Engineering GmbH

Конструкция, исключая подвижные части в зонах высоких температур и химическую коррозию стального корпуса печи. Сжигание топлива с: высоким содержанием влаги, высокой зольностью, низкой теплотой сгорания. Система рециркуляции и автоматической очистки «кипящего» слоя. «Лучшие технологии контроля выбросов» (Best available control technology (BACT) (*EPA).

Рассматриваемый котел утилизирует в час 16 тонн биомассы, при этом он способен утилизировать в сутки 384 тонн. Такой выход подстилочного помета не характерен ни для одной птицефабрики. Данный котел может выработать электроэнергию в час 3,79 МВт/ч, при потреблении самим котлом до 1,16 МВт/ч. Котел с установкой (монтажом) на предприятии предприятию обойдется в 35 млн рублей.

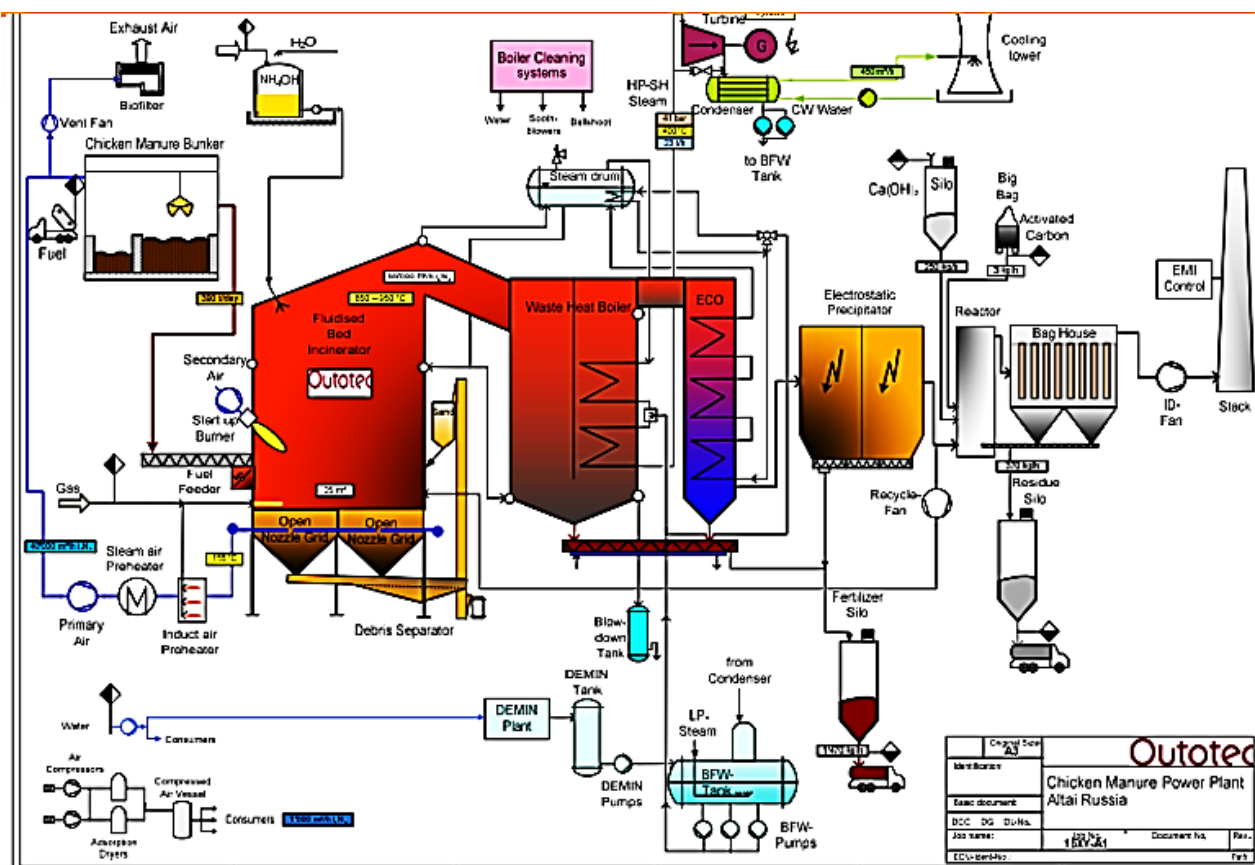


Рис. 8. Котел Outotec с «кипящим» слоем

Однако при использовании оборудования с «кипящим слоем» возникает ряд проблем, в частности, вынос до 20–30% углерода, содержащегося в топливе; зашлаковывание межсоплового пространства и самих сопел воздухораспределительных колосниковых решеток при недостаточном динамическом напоре воздуха; абразивный износ теплопередающих

4. Особенности конструкции и работы установки с вихревой топкой

Циклонная топка, в которой движение газо-воздушного потока, несущего частицы топлива и шлака осуществляется по спиралевидной траектории. Вихревая топка используются в качестве предтопок камерных топок (рис. 9. Вихревая топка.) частицы топлива поддерживаются во взвешенном состоянии за счёт несущей силы мощного вихря, вследствие чего в ней не выпадают даже крупные частицы (5–10 мм и более). Существуют горизонтальные и вертикальные циклонные предтопки, причём последние применяются значительно реже. Диаметр горизонтальных циклонных предтопок – 1,2–4 м, относительная длина их не

превышает 1,5–1,6. Топки этого типа широко используются за рубежом (США, Германия и др.) [17].

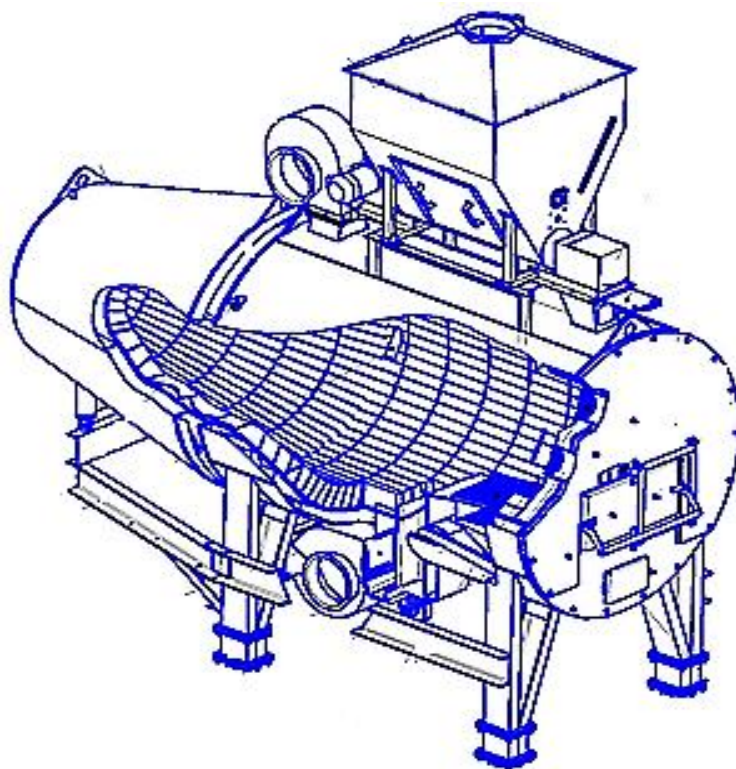
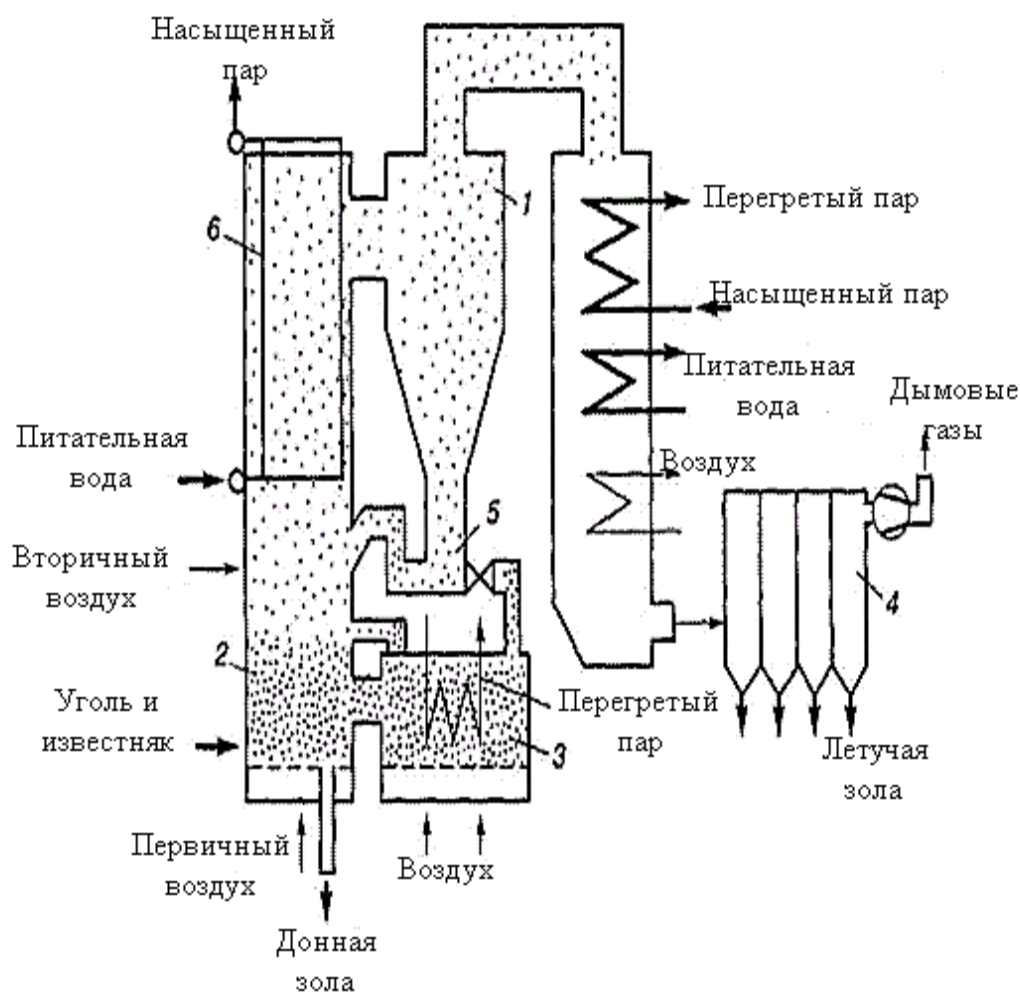


Рис. 9. Конструкционная схема вихревой топки

5. Котлы с циркулирующим кипящим слоем.

Технология циркулирующего кипящего слоя (ЦКС) – технология сжигания твердого топлива в паровых котлах тепловых электростанций на принципе кипящего слоя с организацией циркуляции частиц топлива. Котлы с циркулирующим кипящим слоем позволяет сжигать с высокой экономичностью топливо различного качества, при относительно невысокой температуре (рис. 10). В то же время технология сжигания топлива в циркулирующем кипящем слое дает дополнительные возможности для снижения вредных выбросов окислов серы и азота.



1 – циклон; 2 – топка; 3 – теплообменник кипящего слоя; 4 – электрофильтр; 5 – L-клапан; 6 – испарительная поверхность нагрева

Рис. 10. Схема котла с циркулирующим кипящим слоем

Выброс золы с газами требует установка электрофильтров. Недостатками котлов с циркулирующим кипящим слоем являются большой расход электроэнергии на дутьё и сложность автоматизации котлов. В нашей стране пока они не выпускаются [17].

6. Установка со слоевой топкой

Слоевая топка – топка, в которой горение загруженного слоя происходит в воздушном потоке, подаваемого через колосниковую решетку снизу. В промышленных установках подача топлива традиционно осуществляется механическим способом.

Слоевые топки по устройству решетки и характеру движения по ней топлива могут быть следующих типов:

1. С горизонтальной неподвижной колосниковой решёткой с шурующей планкой и неподвижным слоем топлива (рис. 11).
2. Со слоем топлива, движущимся по неподвижной решётке под действием гравитации (напр. по наклонной решётке) или шурующей планки.
3. С наклонной подвижной колосниковой решеткой (рис. 12).

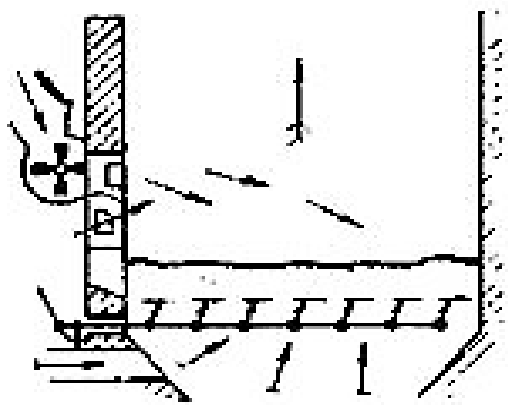


Рис. 11. Слоевая топка с горизонтальной неподвижной колосниковой решеткой

К движущемуся слою топлива подачу воздуха для горения рекомендуется так, чтобы на каждой стадии горения подача воздуха была оптимальной.

Биомасса является нестабильным топливом, так как имеет переменную достаточно высокую влажность. В наших экспериментах, опытах были случаи сжигания, где совмещаются газификация, сжигание как сухих так влажных топлив с максимальной эффективностью. Процесс сжигания организовывается таким образом, что на колоснике происходит сушка топлива, возгонка летучих веществ и сгорание углерода. Дожиг горючих газов и смол производится в специальной камере вне зоны дымохода. Такой подход позволяет использовать энергию топлива, которая тратится на испарение влаги и нагрев инертных газов воздуха.

Технологии для сжигания твердого топлива и опыт применения показали, что для топлив с высокой влажностью и наличием в своем составе минеральных

составляющих, обладающих низкими плавкостными характеристиками, наиболее целесообразен выбор слоевой топки с возможностью постоянной шуровки слоя, а также регулировкой температуры, подачи подстилочного помета и воздушного потока.

Близкой по технологии сжигания и конструкции является установка для сжигания твердого топлива (торф, древесина щепы и т. п.), с подвижной наклонной колосниковой решеткой, представленная на рис. 11. Рассматриваемая установка имеет одну контролируемую зону сжигания топлива с единой регулировкой подачи воздуха вентиляторами в общую зону. Она предназначена для сырья с относительно высокими плавкостными значениями и относительно низкой летучестью продуктов сгорания. Однако, подстилочный помет по своим свойствам значительно отличается от известных видов твердого топлива [10].

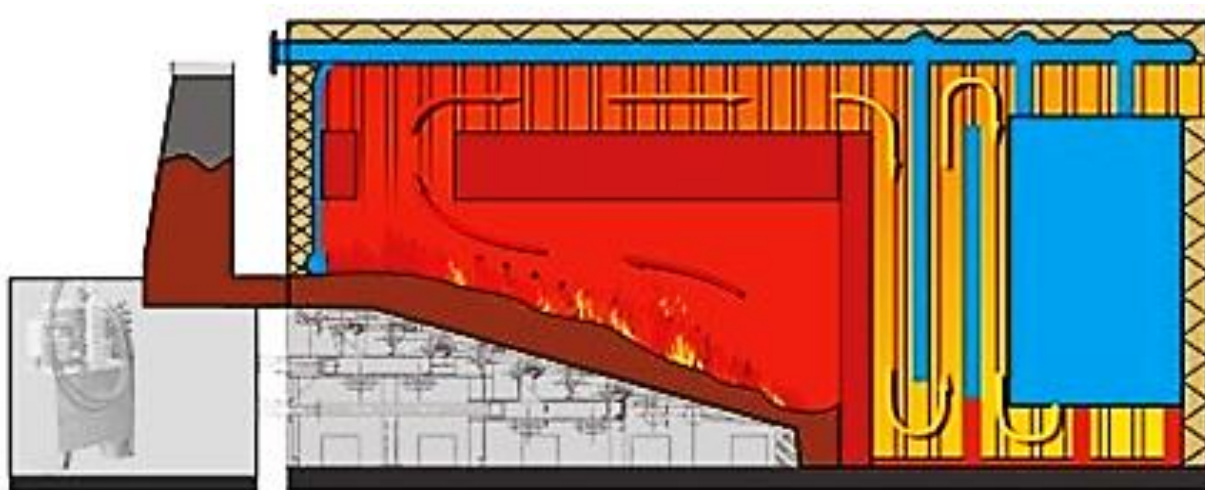


Рис. 12. Принципиальная схема работы котла с подвижной наклонной колосниковой решеткой

ООО «НПП Белкотломаш» производит котлы, которые по техническим и конструктивным особенностям отлажены для сжигания древесного топлива и торфа. Котел Белкотломаша КВ-Рм-2т с номинальной мощностью 2 МВт по всем характеристикам подходит для сжигания подстилочного помета птицефабрик и не требует дополнительной подачи газа, дизельного топлива, для поддержания горения основного топлива (помета), что является основным его преимуществом [18].

На опытном образце при сжигании помет было установлено [18], что технологический процесс сжигания нарушается из-за образования корки из расплавленных компонентов на поверхности топлива, препятствующие прохождению воздуха, а также вследствие образования «забивания» отверстий колосниковой решетки расплавленной золой, оседанием на конвективной части котла золы и скачкообразный теплосъём, вызванный высокой влажностью птичьего помета.

Перечисленные проблемы приводят к частым остановкам котла, для очистки от золы и образованных агломератов при расплавлении, которые нарушают технологический процесс горения помета и снижают технологическую надежность работы установки. Операции по очистке котла от золы следует совместить с технологическим циклом выращивания бройлеров в период минимальной потребности сжигания помета. Указанные проблемы, недостатки котла требуют усовершенствования установки, для достижения межсервисного интервала равному циклу выращивания птицы.

При проведении предварительных исследований следует анализировать собранную информацию и разработав информационную модель [19–21] оценить возможные варианты исследования и пути совершенствования технологического оборудования и устройства. Путем моделирования возможно провести исследование потенциальных возможностей оборудования и оценить согласованность технологии с производственными нуждами при решении задач утилизации птичьего помета.

Выводы. Проведенный анализ способов и установок для энергетической утилизации органических продуктов и материалов, показал, что экологическую проблему загрязнение окружающей среды отходами птицефабрик можно снизить, применяя на птицефабриках специализированную установку для сжигания подстилочного помета с выработкой тепловой энергии. При этом особое внимание следует уделить на влажность подстилочного помета и провести исследования влияния влажности на работоспособность установки и производительность установки по объему сжигания подстилочного помета.

Список литературы

1. Мариненко Е.Е. Основы получения и использования биотоплива для решения вопросов энергосбережения и охраны окружающей среды в жилищно-коммунальном и сельском хозяйстве: Учебное пособие. – Волгоград: ВолгГАСА, 2003. – 100 с.
2. AE&E Group «Operating experiences from combustion of biomass at elevated steam temperatures with the focus on challenging biomass fuels» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ieabcc.nl/workshops/task32_Lyon/full%20page/06%20Bolhar-Nordenkamp.pdf
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 12 июня 2003 г. №344 «О нормативах платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками, сбросы загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты, размещение отходов производства и потребления (в ред. Постановлений Правительства РФ от 01.07.2005 №410, от 08.01.2009 №7).
4. Щеткин Б.Н. Технологический комплекс для утилизации птичьего помета на птицефабрике // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – М., 2003. – №7. – С. 10.
5. Почему нередко наиболее успешные птицефабрики приносят и самый большой вред окружающей среде [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pticar.ru/per-prod-ptic/698-vred-pticefabrik.html>
6. Аверьянов Ю.И. Анализ существующих способов утилизации птичьего помета / Ю.И. Аверьянов // Вестник ЧГАА. – 2010. – Т. 56. – С. 12.
7. Фирстов Г.В. Земледельческія орудія восточной полосы России. – Казань, 1854. – 165 с.
8. Иванов Ю.Г. Особенности сжигания подстилочного помета при термической утилизации / Ю.Г. Иванов, А.Ф. Шафеев // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». – 2015. – №1 (65). – С. 25–30.

9. Иванов Ю.Г. Особенности сжигания подстилочного помета в твердотопливных котлах / Ю.Г. Иванов, А.Ф. Шафеев // Вестник ВНИИМЖ. – 2015. – №4 (20). – С. 220–224.
10. Иванов Ю.Г. Термическая утилизация птичьего помета / Ю.Г. Иванов, А.Ф. Шафеев // Сельский механизатор. – 2015. – №9. – С. 32–33.
11. Рабинович В.П. Канадская технология утилизации куриного помета [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.webpticeprom.ru/ru/articles-processingwaste.html?pageID=1298890290>
12. Сайт HITEC Machinery (Canada) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://hitec-machinery-canada.satu.kz/>
13. Любов В.К. Определение плавкости золы и шлака твердого топлива: Метод. указ. к выпол. лаб. раб. / В.К. Любов, В.А. Дьячков. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2000. – 16 с.
14. Лев Э.С. Переработка отходов животноводства и птицеводства / Э.С. Лев // Отраслевой портал WebPticeProm. – 2009 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.webpticeprom.ru/ru/articles-processing-waste.html?pageID=1177395301>
15. Любов В.К. Совершенствование топливно-энергетического комплекса путем повышения эффективности сжигания топлив и вовлечения в энергетический баланс отходов переработки биомассы и местного топлива: Дисс. Докт. Тех. наук: 05.14.04/ Любов Виктор Константинович. – Архангельск, 2004 – 453 с.
16. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.biomassheat solutions.co.uk/>
17. Справочник по котельным установкам. Топливо, топливоприготовление. Топки и топочные процессы / Под ред. М.И. Неуймина, Т.С. Добрякова. – М.: Машиностроение, 1993. – 391 с.
18. Иванов Ю.Г. Особенности сжигания подстилочного помета в твердотопливных котлах / Ю.Г. Иванов, А.Ф. Шафеев // Вестник ВНИИМЖ. – 2015. – №4 (20). – С. 220–224.
19. Белов В.В. Информационное обеспечение при исследовании сельскохозяйственных машин / В.В. Белов, Н.Н. Белова // Известия МААО. «Механизация

и электрификация технологических процессов АПК». – СПб., 2010. – Вып. №10. – С. 38–40.

20. Белов В.В. Математические модели как основа экспериментальных исследований и прогнозирования характеристик объектов исследований // Известия МААО. – СПб., 2012. – Вып. №13. – Т. 1. – С. 26–28.

21. Огнев О.Г. Методика математического моделирования процедуры оптимизации характеристик системы средств технической оснащённости аграрного производства / О.Г. Огнев, В.В. Белов, И.Г. Огнев // Известия МААО. – СПб., 2012. – Вып. №13. – Т. 1. – С. 52–57.

Иванов Анатолий Николаевич – инженер, аспирант кафедры механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства ФГБОУ ВО «Чувашская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, Чебоксары.

Белов Валерий Васильевич – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства ФГБОУ ВО «Чувашская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, Чебоксары.
