

## Исследование факторов конвективной сушки птичьего помета

*Потапов М.А., Фролов Д.И.*

**Аннотация.** В статье рассматривается сушка птичьего помета, с перспективой использования его в качестве биомассы при производстве тепловой энергии. Целью исследования было изучение химических и физических свойств, а также влияния различных условий эксплуатации на сушку птичьего помета. Результаты экспресс-анализа показали, что птичий помет имеет высокие уровни содержания влаги (78%), золы (29%), летучих веществ (65%) и низкого содержания связанного углерода (5%). Для каждого режима работы эволюция кинетики сушки и термического КПД была выявлена при 80°C и скорости потока 1,0 м/с и 80°C и скорости потока 1,4 м/с. Теплотворная способность оставалась неизменной даже после сушки и составляла более 11 МДж/кг, что свидетельствует о том, что птичий помет является перспективной биомассой для производства тепловой энергии. Следовательно, в качестве биотоплива сухой птичий помет будет иметь характеристики, аналогичные биомассе других животных.

**Ключевые слова:** сушка, птичий помет, энергия биомассы, энергия, возобновляемая энергия, теплотворная способность.

**Для цитирования:** Потапов М.А., Фролов Д.И. Исследование факторов конвективной сушки птичьего помета // Инновационная техника и технология. 2024. Т. 11. № 2. С. 26–33.

## Investigation of factors of convective drying of poultry manure

*Potapov M.A., Frolov D.I.*

**Abstract.** The article deals with the drying of poultry manure, with the prospect of using it as biomass in the production of thermal energy. The purpose of the study was to investigate the chemical and physical properties, as well as the influence of different operating conditions on the drying of poultry manure. The results of the rapid analysis showed that poultry litter had high levels of moisture content (78%), ash (29%), volatile matter (65%) and low bound carbon content (5%). For each mode of operation, the evolution of drying kinetics and thermal efficiency was found at 80 °C and a flow rate of 1.0 m/s and 80 °C and a flow rate of 1.4 m/s. The calorific value remained unchanged even after drying and was more than 11 MJ/kg, indicating that poultry litter is a promising biomass for thermal energy production. Consequently, as a biofuel, dried poultry litter will have characteristics similar to other animal biomass.

**Keywords:** drying, poultry manure, biomass energy, energy, renewable energy, calorific value.

**For citation:** Potapov M.A., Frolov D.I. Investigation of factors of convective drying of poultry manure. Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]. 2024. Vol. 11. No. 2. pp. 26–33. (In Russ.).

### Введение

Несмотря на то, что чистый навоз обеспечивает питательные вещества для сельскохозяйственных культур из-за высокого уровня азота, фосфора и калия, он вызывает социальные и экологические проблемы, такие как запахи, патогены, производство фитотоксичных веществ и эвтрофикация воды. Еще одним недостатком применения сырого навоза в качестве удобрения является высокое содержание азота и белков, вызывающих выбросы аммиака

и выщелачивание нитратов в грунтовые воды, что приводит к неизбежным потерям азота в атмосферу и водоемы.

Термохимические процессы сжигания, пиролиза и газификации являются альтернативой снижению воздействия на окружающую среду из-за неправильной утилизации птичьего помета и дополняют исследования по технологии преобразования биомассы в устойчивое производство тепла и энергии. Энергетические характеристики остатков домашней птицы, касающиеся их термохимиче-

ских свойств, строго зависят от вида птиц, стадии роста, размножения и рациона питания. В нескольких исследованиях анализировался энергетический потенциал чистого птичьего помета (без подстилки) в термохимических процессах горения. Подавляющее большинство оценивает физико-химические, морфологические и термогравиметрические характеристики птичьего помета (смесь экскрементов на слое адсорбирующих материалов, т. е. соломы, стружки, известняка, сухой травы или другого типа зеленой биомассы) [2, 3, 4, 5].

Сжигание в псевдооживленном слое имеет преимущества по сравнению с другими системами сжигания, т.е. более низкие выбросы и более эффективного контроля. Обычно используются барботирующий псевдооживленный слой и турбулентные слои. Эти реакторы компактны и обладают высокой скоростью аккумуляции и передачи тепла, что обеспечивает высокую степень рекуперации тепла. С другой стороны, горение в псевдооживленном слое вызывает проблемы при использовании материалов с высоким содержанием влаги, что ставит под угрозу сырье, а также снижает эффективность сгорания, вызывая плохое псевдооживление и агломерацию в стенках реактора.

Влажность птичьего помета может достигать 80%, что требует большого количества биомассы. Эта величина влияет на физические свойства, количество и качество газов, влияя затем на размер оборудования. Высокое содержание влаги может вызвать проблемы с воспламенением и снизить температуру горения, препятствуя сгоранию продуктов реакции и, как следствие, влияя на качество сгорания поскольку влажная биомасса требует длительного времени пребывания в термических процессах перед сгоранием. Кроме того, птичий помет с меньшей влажностью превращается в биомассу с большей теплотворной способностью. Таким образом, для влажной основы рекомендуется влажность ниже 25%.

Процесс сушки требует большого энергопотребления при использовании биомассы для снижения влажности материала. Кроме того, сушка сложна, поскольку тепло- и массоперенос происходят одновременно, скорость сушки варьируется в ходе процесса. Структурно-композиционные характеристики твердых веществ в процессе сушки изменяются и могут даже прийти в негодность по некоторым функциям или потерять преимущество в зависимости от интенсивности воздействия на продукт. В этом смысле могут пострадать физические и энергетические характеристики птичьего помета. Таким образом, массоперенос необходимо анализировать с учетом кинетики сушки, а теплообмен исследовать с учетом температуры материала и данных термического КПД.

Следовательно, производительность различных сушилок анализируется с точки зрения эксплуатации, чтобы обеспечить интенсивный теплообмен и массообмен, сокращая время сушки и потребле-

ние энергии сушилкой. Горизонтальная конвективная сушилка является альтернативой сушке биомассы от остатков с высокой влажностью, которая удаляется путем контроля переменных процесса, таких как температура, относительная влажность и скорость сушильного воздуха.

Экспериментальное поведение сушки может подтвердить смоделированные результаты, полученные с помощью моделей подхода, которые необходимы для моделирования, проектирования и оптимизации процесса сушки. Для рассмотрения теории тонкого слоя применяются эмпирические и полуэмпирические модели. В этой теории внутренние переменные материала (температура и влажность) зависят только от времени, характеризующего однородность пространственной области, т.е. игнорируют пространственные изменения физических свойств. Таким образом, рассмотрение этой теории позволяет применять модели для моделирования поведения сушки с помощью переменных, внешних по отношению к продукту (условия эксперимента), таких как температура и относительная влажность воздуха для сушки.

Помимо влаги в материале, для анализа свойств биомассы в качестве топлива для возобновляемого источника энергии при сжигании необходимо знать факторы, связанные с птичьим пометом, такие как уменьшение размера, теплотворную способность, количество летучих веществ, образующихся при термической конверсии, химические вещества, состав, содержание углерода и золы.

Чтобы внести вклад в исследования, связанные с выработкой тепловой энергии с использованием птичьего помета в качестве биомассы, было предложено изучить физические, химические и энергетические характеристики, а также сушку птичьего помета без смешивания с другими материалами. В основном при сушке применяется предварительная обработка биомассы. Таким образом, данное исследование было направлено на оценку сушки птичьего помета как источника возобновляемой энергии для применения биомассы при сжигании. С этой целью было проведено исследование химических и физических свойств, а также влияния различных условий эксплуатации на сушку птичьего помета. Высыхание птичьего помета анализировали с использованием экспериментальных кинетических данных в зависимости от температуры и скорости воздуха. Кроме того, были использованы экспериментальные результаты сушки при моделировании моделей, основанных на теории тонкого слоя, найденных в литературе.

### Объекты и методы исследования

Птичий помет был собран на птицефабрике Васильевская, расположенной в г. Пензе. Собранный в разных точках фермы птичий помет хранился в герметичных упаковках, а затем замораживался для сохранения качества и свойств сырья. Перед

проведением опытов по сушке птичий помет размораживали при комнатной температуре во избежание потери исходной влаги материала.

Образцы птичьего помета предварительно сушили в печи при температуре 105°C в течение 24 часов. Затем образцы охлаждали в эксикаторе. Измерение рН материала определялось с помощью электрода Ag/AgCl, погруженного в раствор с водой. Раствор содержал 10 г материала и 25 г воды, которые перемешивали до гомогенизации перед измерением рН. Для оценки потенциального использования птичьего помета в качестве источника тепловой энергии для биотоплива была измерена теплотворная способность.

Эксперименты по сушке проводились в горизонтальной конвективной сушилке, изготовленной из стали, состоящей из трех основных агрегатов: сушильной камеры, электронагрева и подачи воздуха, согласно экспериментальной установке.

Сушильная камера имеет длину 230 см и квадратное сечение 40 см. Подача воздуха осуществляется вентилятором мощностью 300 Вт, скорость воздуха варьируется от 0,1 до 5 м/с. Воздушный поток сразу после вентилятора нагревается девятью электрическими ТЭНами (1500 Вт), подключенными к ПИД-регулятору, который контролирует температуру в пределах  $\pm 0,5$  °C от заданного значения. Электронные весы с точностью до  $\pm 0,5$  г прикрепляются к сушилке после электрических сопротивлений. Опора для фиксации, составляющая сушильную камеру, соединена с весами и расположена в геометрическом центре сушильной камеры, благоприятном для потока предварительно нагретого воздушного потока.

Температура воздушного потока контролировалась двумя датчиками, установленными до и после сушильной камеры. Третий датчик температуры, расположенный между лотками и электрическим сопротивлением, контролирует температуру внутри сушилки. Температуру птичьего помета во время сушки измеряли отдельно от температуры воздушного потока цифровым датчиком-термопарой, расположенным в центре лотка и без контакта с его нижней поверхностью для обеспечения температуры пробы. Скорость воздушного потока измерялась в начале сушильной камеры одним анемометром с чувствительностью 0,2 м/с и максимальной способностью поддерживать скорость до 36 м/с. Температуру и скорость воздуха проверяли с помощью термоанемометра, расположенного рядом с лотком. Анемометр, сопротивления и система подачи воздуха в сушильную камеру были подключены к цифровым контроллерам, расположенным в электрическом щите, установленном в сушилке.

Всего было проведено четыре эксперимента по сушке при постоянных условиях температуры и скорости приточного воздуха с учетом экспериментальных отклонений и колебаний регулятора температуры и скорости воздуха (табл. 1).

Данные условия эксплуатации были выбраны

для обеспечения постоянного состояния воздуха внутри оборудования. Общее время сушки составляло от 290 до 400 мин в зависимости от условий эксплуатации. Начальная температура образцов составляла около  $24 \pm 2$  °C и зависела от температуры окружающей среды. Некоторые условия эксплуатации были повторены для оценки экспериментальных ошибок, связанных с измерениями влажности и температуры.

Экспериментальная методология, использованная для получения данных о кинетике сушки, была основана на гравиметрическом методе, который представляет собой стандартизированный метод, используемый для абсолютного определения влажности образца в лабораторном масштабе. Первоначально птичий помет помещали на пластину из нержавеющей стали высотой 0,5 см и размером 15 x 15 см. Затем включали осушитель и программировали скорость и температуру воздуха осушителя на заранее заданные условия эксплуатации (табл. 1). Системе потребовалось около 20 минут, чтобы достичь устойчивого состояния с постоянной температурой воздуха на выходе из осушителя. После стабилизации образец и комплект лотков помещали в сушилку и держали подвешенными на фиксирующей опоре в центре сушильной камеры. С этого момента скорость воздуха, масса образца, а также температура воздуха и твердой фазы автоматически контролировались и собирались каждые 20 минут. Сушку проводили до тех пор, пока не наблюдалось существенного изменения массы птичьего помета, принятой за сухую массу системы. Для определения сухой массы птичьего помета лоток помещали в печь при температуре  $105 \pm 3$  °C на 24 часа. Затем образец выдерживали в течение 30 мин в эксикаторе для достижения равновесия с комнатной температурой, а затем взвешивали на аналитических весах для определения сухой массы и оценки конечного содержания влаги в птичьем помете.

Массоперенос анализировали по кинетическим кривым сушки, построенным по значениям, полученным для влажного и сухого образца.

Влага птичьего помета (в сухом виде) использовалась в уравнении чтобы оценить коэффициент влажности как функцию времени. Равновесная влажность — это соотношение массы влажного образца в начале и массы сухого образца в конце сушки.

Таблица 1 – Условия сушки в ходе экспериментов в горизонтальной конвективной сушилке

№	Скорость воздуха (м/с)	Температура (°C)	Масса (г)
1	1	60	124
2	1	80	126
3	1,4	60	123
4	1,4	80	123

Для конвекционной теплопередачи анализировали влияние условий эксплуатации на тепловые характеристики птичьего помета по температуре поверхности материала. Чтобы получить температуру твердого вещества как функцию времени, использовали ту же экспериментальную процедуру для достижения теплового равновесия системы сушки для желаемых рабочих условий. Для обеспечения температуры образца использовался цифровой считыватель с термодатчиком, расположенный в центре лотка и не контактирующий с его нижней поверхностью. Мониторинг начинался после того, как термопара была вставлена и контактировала только с твердой фазой.

Теплопередачу также анализировали с учетом термического КПД, исходя из температуры воздушного потока на входе, на выходе из осушителя и температуры окружающей среды. Это уравнение включает в себя только измерения температуры воздуха во времени в разных местах.

В большинстве исследований по сушке диффузия обычно является основным механизмом, ответственным за транспортировку влаги к поверхности испаряемой твердой фазы. При диффузионном транспорте внутреннее сопротивление массопереноса контролирует время сушки, уменьшая скорость сушки. Уменьшение скорости переноса влаги можно математически проанализировать, применив модель диффузии второго закона Фика.

В большинстве исследований это соображение часто используется в полупирических и эмпирических моделях тонкослойного подхода из-за простоты их использования, которая требует меньше информации, в отличие от сложных распределенных моделей, таких как теоретические модели.

### Результаты и их обсуждение

Птичий помет имеет пастообразную структуру, высокую влажность (79%), рН 6,5 и реальную удельную массу 1,70 г/см<sup>3</sup>. Однако в литературе удельная масса птичьего помета составляет от 0,92 до 0,96 г/см<sup>3</sup>. [1]

В литературе встречаются значения рН от 6,35 до 8,4. Коровий и свиной навоз также имел значения рН от 6 до 7, что демонстрирует небольшую разницу в рН между основными типами навоза [6]. После высыхания навоз становится волокнистым, визуалью пористым, уменьшенным в объеме, с поверхностными трещинами в физической структуре.

Результаты, полученные в результате экспресс-анализа в сухом веществе на содержание золы, летучих веществ и связанного углерода, составляют 29,58% (м/м), 65,11% (м/м) и 5,30% (м/м) соответственно. По данным, птичий помет имеет значительное содержание летучих веществ, демонстрирующих горючесть, так как биомасса животных может составлять от 40 до 75% [8]. С другой стороны, материал имеет высокую зольность, достигающую почти 30% в пересчете на сухое

вещество, что указывает на то, что большая часть материала, образующегося в результате сжигания, представляет собой продукты, не реагирующие на термический процесс. Содержание фиксированного углерода составляло около 5% в пересчете на сухое вещество, что актуально с термодинамической точки зрения, поскольку более низкое содержание фиксированного углерода в биомассе означает более низкую температуру воспламенения.

Птичий помет обладает характеристиками, позволяющими использовать его в производстве биоэнергии. Однако для эффективного использования рекомендуется, чтобы в нем было пониженное содержание влаги. Таким образом, птичий помет можно применять для управления механизмами на ферме, включая правильное составление кормов, управление птичниками и утилизацию отходов.

На рисунке 1 изображены данные изменения влажности как функция от времени высыхания. Наблюдаемое поведение подтверждает явления конвективной сушки.

Данные показали уменьшение влажности с течением времени, представленное линейным поведением при испарении с поверхности птичьего помета (постоянная скорость), а затем еще одним нелинейным, что позволяет предположить, что диффузия воды внутри влажного материала (скорость убывания) контролирует процесс. Влага из навоза испаряется до определенной точки, оставаясь постоянной до конца высыхания, что указывает на термодинамическое равновесие.

Время достижения равновесия зависит от нескольких факторов. Для скорости осушающего воздуха 1,4 м/с (рис. 1а) мы заметили, что при понижении температуры время высыхания значительно увеличивается, и для достижения равновесия влажности требуется больше времени. В этом исследовании время сушки заняло 225 минут при 80 °С и 350 минут при 60 °С. То же самое наблюдалось и при скорости воздуха 1,0 м/с (рис. 1б) при изменении температуры от 80 до 60 °С время равновесия также изменялось с 290 до 400 мин соответственно.

Кроме того, повышение температуры облегчает массоперенос, что приводит к большему испарению влаги, что обеспечивается увеличением тепловой энергии, передаваемой конвекцией от потока нагретого воздуха к поверхности влажного образца. Дополнительное увеличение тепловой энергии приводит к разрыву водных связей, облегчая отвод влаги.

С другой стороны, рисунок 1в и 1г показывают, что влияние скорости воздуха было менее выраженным по сравнению с влиянием температуры. Наблюдаемое поведение представляет собой перекрытие кривых. Это может указывать на то, что увеличение скорости произошло только за счет количества кинетической энергии, доступной для испарения воды, находящейся на внешней поверхности влажного образца, что привело к очень близ-

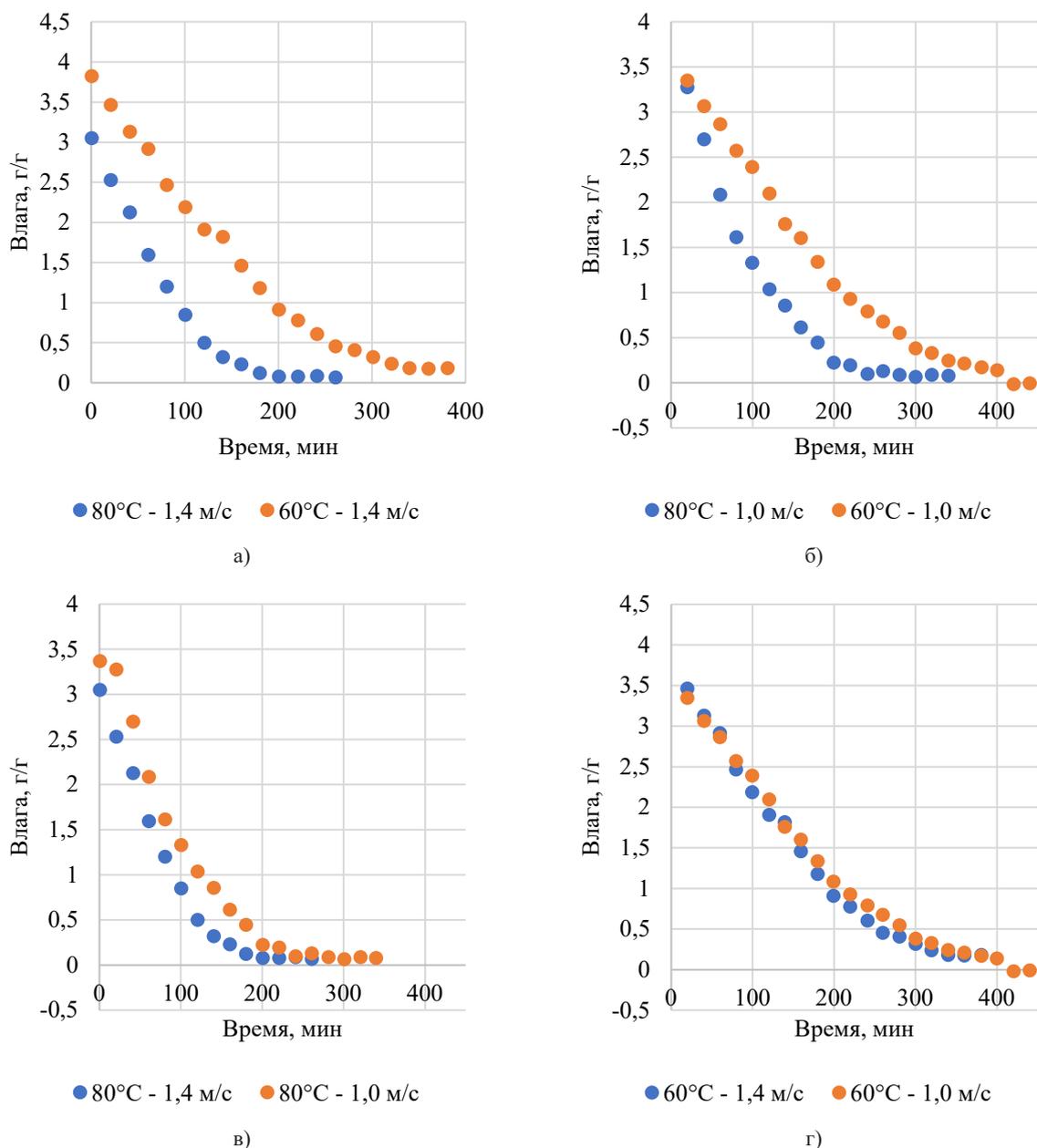


Рис. 1. Зависимости влажности птичьего помета от времени сушки, полученные при повышении температуры (а, б) и скорости (в, г)

кому времени высыхания для всех условий, использованных в этом исследовании.

Влажность птичьего помета (таблица 2) значительно снижается в рабочих условиях экспериментов по сушке. Горизонтальная конвективная сушилка сыграла важную роль при сушке птичьего помета: для условий эксплуатации 1,0 м/с и 80 °С снижение влажности было значительным и превышало 90%.

Результаты показывают важность определения характеристик и сушки птичьего помета для использования сухого продукта в качестве биомассы и для процессов термохимической конверсии. Было замечено, что сухой птичий помет имеет высокое содержание летучих веществ и низкое содержание связанного углерода, которые благоприятны для сжигания материала, делая его более реакци-

Таблица 2 – Данные начальной и конечной влажности для различных условий сушки воздуха

Рабочее состояние	Начальная влажность, %	Конечная влажность, %
1,0 м/с - 60 °С	75	12,3
1,0 м/с - 80 °С	74	4
1,4 м/с - 60 °С	80	22,3
1,4 м/с - 80 °С	77	7,2

онноспособным. С этой целью необходима сушка, поскольку влажность биомассы в процессе термохимической конверсии не выгодна для использования энергии, поскольку часть тепла, выделяемого в процессе сгорания, расходуется на испарение воды, присутствующей в материале.

Влияние сушки на снижение влажности существенно в зависимости от условий эксплуата-

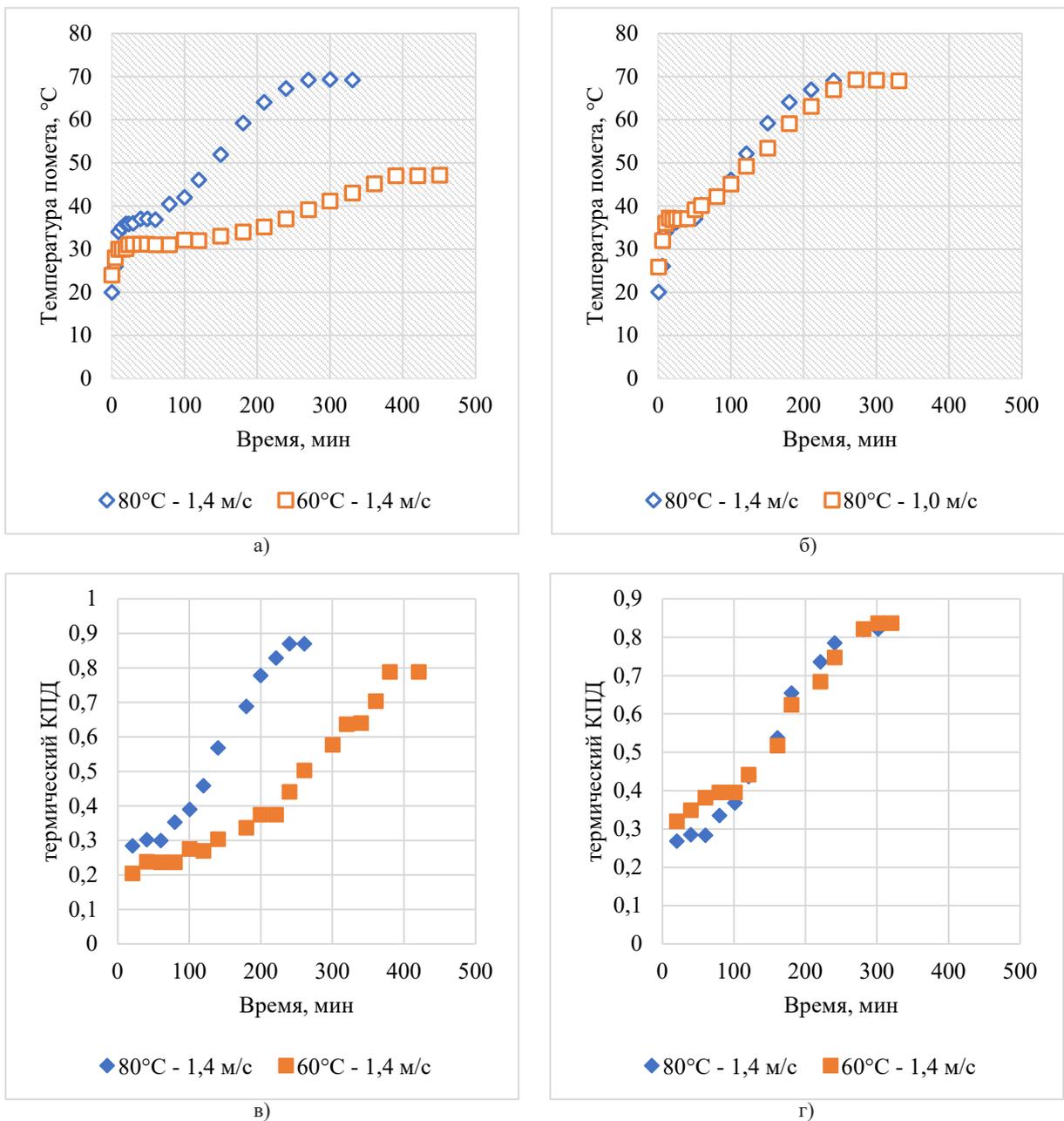


Рис. 2. Теплопередача в зависимости от времени сушки по температуре (а и б) и термическому КПД (в и г)

ции и характеристик биомассы. Таким образом, сушку необходимо оптимизировать, чтобы она учитывалась в энергетическом балансе, определяя экономико-финансовую целесообразность проекта и способствуя снижению влажности в твердом материале. Следовательно, предварительная сушка биомассы является важным шагом для улучшения качества биотоплива как биоэнергии.

На теплотворную способность существенно повлияли эксперименты по конвективной сушке в различных условиях. Результаты среднего значения выше  $11 \pm 0,97$  МДж/кг, полученные в условиях сушки, согласуются со значениями в литературе [7]. Биомасса других животных, например, навоза крупного рогатого скота и свиней, имеет аналогичную теплотворную способность - 12,01 МДж/кг и 15,18 МДж/кг [9].

Тепло, передаваемое от воздушного потока

влажному материалу, анализировали путем мониторинга температуры птичьего помета (рис. 2).

Условиями эксплуатации для представленных данных являются скорость воздуха, равная 1,4 м/с, и постоянные температуры 80 °С и 60 °С на входе в осушитель. Рисунки позволяют выявить закономерность аналогичного поведения во всех изученных условиях, при которой происходит быстрый рост температуры и термической эффективности в начальный момент сушки и в последующем рост до тех пор, пока она не останется постоянной, что представляет собой равновесие сушки.

На рисунке 2а и 2б показано повышение температуры птичьего помета до достижения равновесия. На рисунке 2а показана температура птичьего помета 80 °С, достигающая более высокого уровня, чем при 60 °С, за счет тепловой энергии, подводимой к поверхности твердого вещества. Таким обра-

зом, сушка достигает равновесия быстрее, со временем близким к 220 и 360 мин для температур 80 и 60 °С соответственно (рис. 2а). Термический КПД по результатам, представленным на рисунке 2в и 2г показывают, что увеличение количества тепла, подаваемого в систему, также увеличивает теплопередачу, что приводит к тепловому КПД со значениями выше 80% (максимум). Кроме того, максимальный термический КПД достигался с повышением температуры быстрее за 252 и 390 мин для температур 80 °С и 60 °С соответственно (рис. 2в). Это происходит потому, что подаваемое тепло позволяет наиболее эффективно использовать его для сушки из-за разницы температур.

### Выводы

В ходе данного исследования была проведена характеристика птичьего помета на основе экспресс-анализа и физического анализа. Используемый сырой птичий помет имеет высокое содержание влаги (79%) во влажном состоянии. Сухой навоз актуален для процессов сжигания, при этом экспресс-анализ в сухом веществе на содержание золы, летучих веществ и

связанного углерода составляет 29,58% (м/м), 65,11% (м/м) и 5,30% (м/м). Что касается процесса сушки, влияние температуры имело большее влияние, чем скорость воздуха. Увеличение температуры сушки облегчает массоперенос, что приводит к большему испарению влаги. Снижение влажности было значительным и составило более 90% в рабочих условиях 1,0 м/с при 80 °С и 1,4 м/с при 80 °С. Таким образом, сушка проводилась за меньшее время и снижала содержание влаги в птичьем помете до значений ниже 8% в пересчете на сырую массу. С точки зрения энергетики сухой птичий помет представляет собой перспективную биомассу со средней теплотой сгорания выше 11 МДж/кг. Результаты показали, что знание физических, энергетических свойств и свойств сушки позволяет упростить прогнозирование сушки биомассы с целью получения энергии. Таким образом, данное исследование способствует разработке такого оборудования, как сушилки в сочетании с термохимическими реакторами, и показывает, что сухой птичий помет обладает благоприятными энергетическими качествами в качестве источника тепловой энергии на фермах с перспективой выработки электроэнергии для покрытия части энергопотребления птицеводством.

### Литература

- [1] Вербицкий С. Утилизируем птичий помет с выгодой //Животноводство России. – 2019. – №. 7. – С. 19-26.
- [2] Гарзанов А. Л., Дорофеева О. А. Производство энергоресурсов и минеральных удобрений из органических отходов птицеводства // АгроЭкоИнженерия. – 2018. – №. 2 (95). – С. 216-227.
- [3] Ковальский К. Ю. и др. Влияние диатомита и птичьего помета на физико-химические свойства серой лесной почвы и продуктивность сельскохозяйственных культур //Нива Поволжья. – 2022. – №. 1 (61). – С. 01005.
- [4] Назырова Ф. И., Гарипов Т. Т. Влияние различных доз доломитовой муки в комплексе с органическими удобрениями на физико-химические свойства серой лесной почвы //Экобиотех. – 2018. – Т. 1. – №. 3. – С. 119-123.
- [5] Чекаев Н. П. Агроэкологическая оценка применения куриного помета в качестве удобрения //Плодородие. – 2009. – №. 3. – С. 13-14.
- [6] Chen G. et al. Comparison of kinetic analysis methods in thermal decomposition of cattle manure by thermogravimetric analysis //Bioresource Technology. – 2017. – Т. 243. – С. 69-77.
- [7] Junga R. et al. Experimental tests of co-combustion of laying hens manure with coal by using thermogravimetric analysis //Renewable Energy. – 2017. – Т. 111. – С. 245-255.
- [8] Lynch D. et al. Utilisation of poultry litter as an energy feedstock //Biomass and bioenergy. – 2013. – Т. 49. – С. 197-204.

### References

- [1] Verbitsky S. We dispose of bird droppings profitably // Animal husbandry of Russia. – 2019. – No. 7. – pp. 19-26.
- [2] Garzanov A.L., Dorofeeva O.A. Production of energy resources and mineral fertilizers from organic poultry waste //AgroEcoEngineering. – 2018. – No. 2 (95). – pp. 216-227.
- [3] Kovalsky K. Yu. et al. The influence of diatomite and bird droppings on the physical and chemical properties of gray forest soil and the productivity of agricultural crops // Niva Povolzhya. – 2022. – No. 1 (61). – S. 01005.
- [4] Nazyrova F.I., Garipov T.T. The influence of different doses of dolomite flour in combination with organic fertilizers on the physical and chemical properties of gray forest soil // Ecobiotech. – 2018. – T. 1. – No. 3. – pp. 119-123.
- [5] Chekaev N.P. Agroecological assessment of the use of chicken manure as a fertilizer // Fertility. – 2009. – No. 3. – pp. 13-14.
- [6] Chen G. et al. Comparison of kinetic analysis methods in thermal decomposition of cattle manure by thermogravimetric analysis //Bioresource Technology. – 2017. – T. 243. – P. 69-77.
- [7] Junga R. et al. Experimental tests of co-combustion of laying hens manure with coal by using thermogravimetric analysis //Renewable Energy. – 2017. – T. 111. – P. 245-255.
- [8] Lynch D. et al. Utilization of poultry litter as an energy feedstock //Biomass and bioenergy. – 2013. – T. 49. – P. 197-204.

[9] Zhou S. et al. The influence of manure feedstock, slow pyrolysis, and hydrothermal temperature on manure thermochemical and combustion properties //Waste management. – 2019. – Т. 88. – С. 85-95.

[9] Zhou S. et al. The influence of manure feedstock, slow pyrolysis, and hydrothermal temperature on manure thermochemical and combustion properties //Waste management. – 2019. – Т. 88. – P. 85-95.

**Сведения об авторах**

**Information about the authors**

<p><b>Потапов Максим Александрович</b>  аспирант кафедры «Пищевые производства»  ФГБОУ ВО «Пензенский государственный  технологический университет»  440045, Пенза, ул. Ульяновская, д. 36, кв. 37  Тел.: +7(962) 473-86-96  E-mail: makcpotapov@mail.ru</p>	<p><b>Potapov Maxim Alexandrovich</b>  postgraduate student of the department «Food productions»  Penza State Technological University  <b>Phone:</b> +7(962) 473-86-96  <b>E-mail:</b> makcpotapov@mail.ru</p>
<p><b>Фролов Дмитрий Иванович</b>  кандидат технических наук  доцент кафедры «Пищевые производства»  ФГБОУ ВО «Пензенский государственный  технологический университет»  440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11  Тел.: +7(937) 408-35-28  E-mail: surr@bk.ru</p>	<p><b>Frolov Dmitriy Ivanovich</b>  PhD in Technical Sciences  associate professor at the department of «Food productions»  Penza State Technological University  <b>Phone:</b> +7(937) 408-35-28  <b>E-mail:</b> surr@bk.ru</p>