

Определение зависимостей энергоэффективности котельной с её оптимизацией для обеспечения энергетической безопасности процесса сгорания топлива

С.В. Митрофанов, к.т.н., В.Ю. Соколов, к.т.н., С.А. Наумов, к.т.н., В.Б. Шлейников, к.т.н., А.В. Садчиков, к.т.н., В.Е. Дудоров, к.с.-х.н., В.А. Литвинов, ст. преподаватель, ФГБОУ ВО Оренбургский ГУ; Р.Ф. Сагитов, к.т.н., ООО НИПИЭП

Актуальность проблемы состоит в том, что помёт птицефабрик является побочной продукцией птицеводства, в разы превышающей по объёму выпуск готовой продукции. Птицефабрики России производят более 17 млн т помёта в год. Пока ещё преобладает точка зрения, что помёт является опасным отходом, снижающим прибыльность производства. Выработка пиролизного газа из подстилочного помёта технологически не эффек-

тивна, так как исходный помёт является более калорийным топливом, чем пиролизный газ. ООО «НИПИЭП» в сотрудничестве с электроэнергетическим факультетом ОГУ предлагает сжигание птичьего помёта в специализированных водогрейных и паровых котлах со скоростью термической утилизации одной порции помёта около 10–15 сек. При правильной организации процесса горения концентрация выбросов будет меньше, чем при сжигании мазута. Получаемый продукт – эффективное калийно-фосфорное удобрение, и поэтому процесс сжигания помёта характеризуется отсутствием вторичных отходов, что делает технологию экологически чистой [1, 2].

Птичий помёт является сырьём для производства энергоресурсов (тепла, пара, электроэнергии) при его сжигании в виде биотоплива с побочным получением из золы минеральных удобрений, органических удобрений.

Материал и методы исследования. Исследование проводили, используя программное средство, разработанное и зарегистрированное в ОГУ «Обработка результатов многофакторного эксперимента на основе композиционного ортогонального плана ПФЭ 2³».

Была проведена серия экспериментов по изучению влияния скорости подачи топлива (л/с), температуры воздуха (°C), содержания углеводов в топливе (%) на шумовую нагрузку (Дб), удельные финансовые затраты (руб/кДж), энергоэффективность (кДж/кг). Были получены уравнения регрессии, адекватно описывающие процесс.

Для шумовой нагрузки, Дб:

$$Y_1 = 59,2 + 2,2 \cdot X_1 + 1,6 \cdot X_3 + 3,0 \cdot X_{12} + 5,8 \cdot X_2^2 + 2,8 \cdot X_3^2; \quad (1)$$

для удельных финансовых затрат, руб/кДж:

$$Y_2 = 4,994 - 0,018X_2 - 0,054X_3 + 0,017 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,490 \cdot X_1^2 + 0,231 \cdot X_2^2 + 0,265X_3^2; \quad (2)$$

для энергоэффективности, кДж/кг:

$$Y_3 = 448,6 + 19,1 \cdot X_1 + 16,9 \cdot X_2 + 36,1 \cdot X_3 - 7,1 \cdot X_1 \cdot X_2 - 58,7 \cdot X_1^2 - 29,4X_2^2 + 38,3 \cdot X_3^2, \quad (3)$$

где X_1 , X_2 , X_3 представлены в условных единицах.

Для перевода в условные единицы нужно воспользоваться следующими уравнениями:

$$V_{II} = 0,05 + 0,02 \cdot X_1; \quad (4)$$

$$t_B = 70 + 50 \cdot X_2; \quad (5)$$

$$C_{yB} = 70 + 10 \cdot X_3, \quad (6)$$

где X_1 – скорость подачи топлива в условных единицах;

X_2 – температура воздуха в условных единицах;

X_3 – содержание углеводов в топливе в условных единицах;

V_{II} – скорость подачи топлива, л/с;

t_B – температура воздуха, °C;

C_{yB} – содержание углеводов в топливе, %.

В идентификации модель не нуждается, так как все входные параметры не зависимы ни от каких других параметров, не входящих в математическую модель, а взаимодействие между ними учитывает сама математическая модель.

Верификацию полученной математической модели производили при помощи вышеуказанного программного средства с использованием критерия Фишера. Было установлено, что при заданной вероятности попадания полученного единичного значения в доверительный интервал, равной 0,95, отклонение расчётных значений от экспериментальных данных составляет не более 3%. Вышесказанное свидетельствует о возможности

применения математической модели как для прогнозирования получаемых результатов, так и для оптимизации технологического процесса.

Результаты исследования. При оптимизации I этапа был произведён поиск оптимальных значений скорости подачи топлива, температуры воздуха, содержания углеводов в топливе с целью получения наименьшей шумовой нагрузки [1–9].

На основе математической модели были построены плоскости отклика, представленные на рисунках 1, 2, 3.

По рисунку 1 видно, что при содержании углеводов в топливе 60% оптимальными являются скорость подачи воздуха от -1 до 0,4 у.е. (от 0,03 до 0,048 л/с) и температура воздуха от -0,5 до +0,5 у.е. (от 45 до 95°C). При этом можно получить шумовую нагрузку менее 64 Дб.

По рисунку 2 видно, что при содержании углеводов в топливе 70% оптимальными являются скорость подачи воздуха от -1 до 0,2 у.е. (от 0,03 до 0,042 л/с) и температура воздуха от -0,5 до +0,5 у.е. (от 45 до 95°C). При этом можно получить шумовую нагрузку менее 61 Дб.

На рисунке 3 показано, что при содержании углеводов в топливе 80% оптимальными являются скорость подачи воздуха от -1 до 0,4 у.е. (от 0,03 до 0,048 л/с) и температура воздуха от -0,6 до +0,6 у.е. (от 40 до 100°C). При этом можно получить шумовую нагрузку менее 67 Дб.

Наиболее оптимальным является использование топлива с содержанием углеводов 70% при скорости подачи воздуха от -1 до 0,2 у.е. (от 0,03 до 0,042 л/с) и температуры воздуха от -0,5 до +0,5 у.е. (от 45 до 95°C). При этом можно получить шумовую нагрузку менее 61 Дб.

При оптимизации II этапа был произведён поиск оптимальных значений скорости подачи топлива, температуры воздуха, содержания углеводов в топливе с целью получения наибольшей энергоэффективности [1–9].

На основе математической модели были построены плоскости отклика, представленные на рисунках 4, 5, 6.

Рисунок 4 демонстрирует, что при содержании углеводов в топливе 60% оптимальными являются скорость подачи воздуха от 0 до 0,3 у.е. (от 0,05 до 0,056 л/с) и температура воздуха от 0 до 0,5 у.е. (от 70 до 95°C). При этом можно получить энергоэффективность более 450 кДж/кг.

По рисунку 5 видно, что при содержании углеводов в топливе 70% оптимальными являются скорость подачи воздуха от 0 до 0,3 у.е. (от 0,05 до 0,056 л/с) и температура воздуха от 0,1 до 0,4 у.е. (от 75 до 90°C). При этом можно получить энергоэффективность более 450 кДж/кг.

На рисунке 6 показано, что при содержании углеводов в топливе 80% оптимальными являются скорость подачи воздуха от -0,2 до 0,5 у.е.

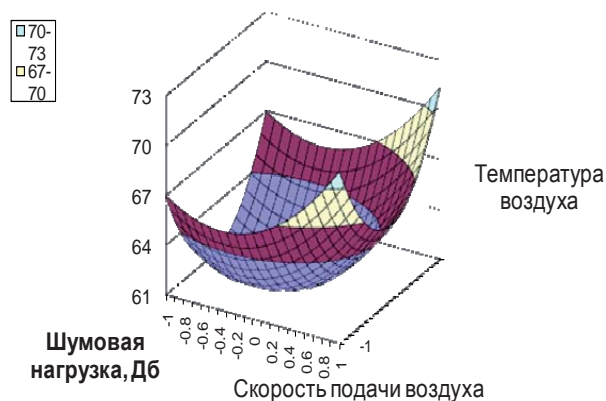


Рис. 1 – Зависимость шумовой нагрузки от скорости подачи воздуха и температуры воздуха при содержании углеводородов в топливе 60%

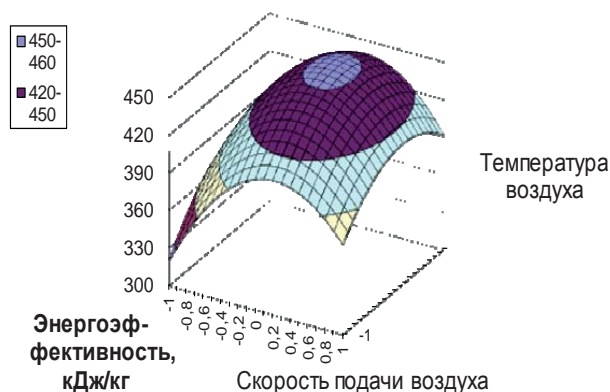


Рис. 4 – Зависимость энергоэффективности от скорости подачи воздуха и температуры воздуха при содержании углеводородов в топливе 60%

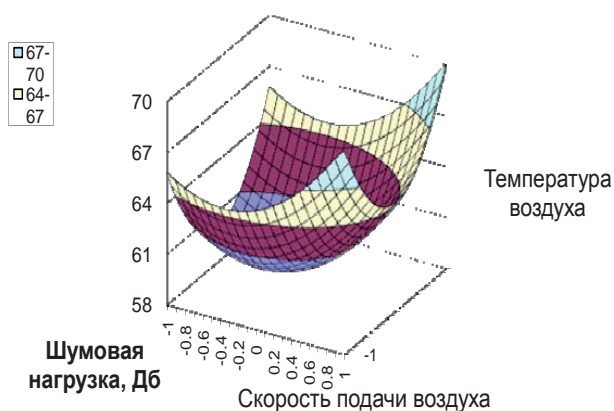


Рис. 2 – Зависимость шумовой нагрузки от скорости подачи воздуха и температуры воздуха при содержании углеводородов в топливе 70%

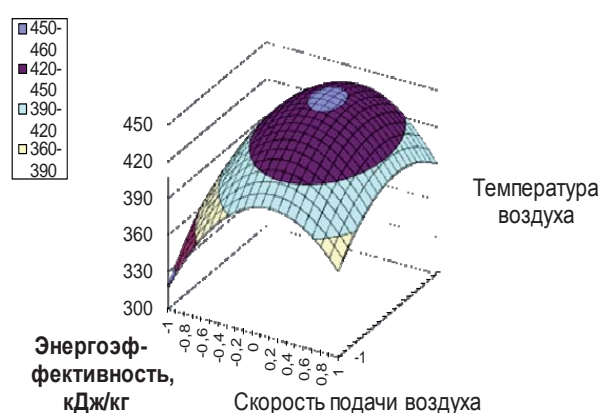


Рис. 5 – Зависимость энергоэффективности от скорости подачи воздуха и температуры воздуха при содержании углеводородов в топливе 60%

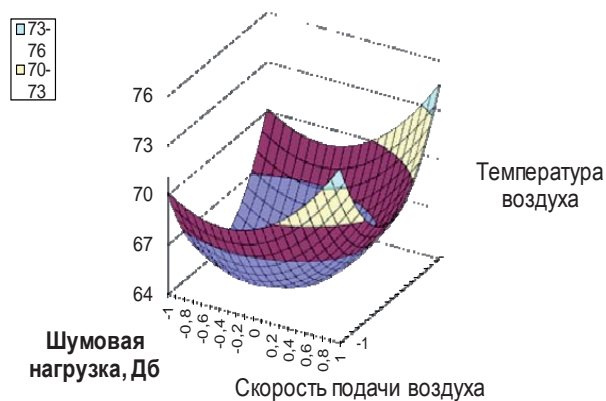


Рис. 3 – Зависимость шумовой нагрузки от скорости подачи воздуха и температуры воздуха при содержании углеводородов в топливе 80%

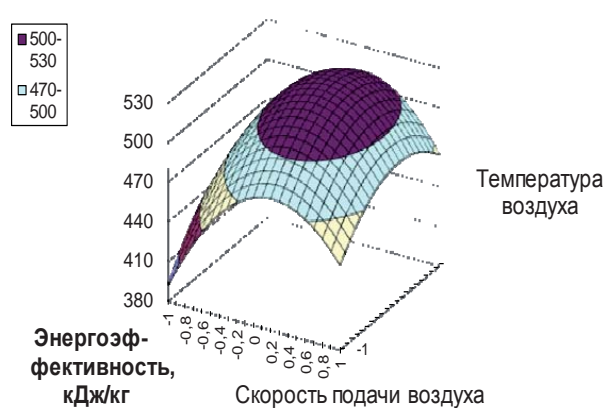


Рис. 6 – Зависимость энергоэффективности от скорости подачи воздуха и температуры воздуха при содержании углеводородов в топливе 80%

(от 0,046 до 0,06 л/с) и температура воздуха от -0,2 до 0,8 у.е. (от 30 до 100°C). При этом можно получить энергоэффективность более 500 кДж/кг.

Вывод. С учётом преобладания значения шумовой нагрузки и удельных финансовых затрат над энергоэффективностью можно сделать вывод, что при применении разработанной технологии сжи-

гания птичьего помёта оптимальными являются скорость подачи воздуха от 0 до 0,3 у.е. (от 0,05 до 0,056 л/с), температура воздуха – от 0,1 до 0,4 у.е. (от 75 до 90°C). При этом можно получить: энергоэффективность более 450 кДж/кг, шумовую нагрузку – менее 61 Дб, удельные финансовые затраты – менее 5,2 руб/кг.

Литература

1. Левин Е.В. Оценка воздействия помётохранилища бывшей птицефабрики «Снежная» в Мурманской области на атмосферный воздух и почву / Е.В. Левин, Р.Ф. Сагитов, Т.А. Гамм [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 2 (64). С. 193–196.
2. Левин Е.В. Воздействие помётохранилища бывшей птицефабрики «Снежная» Мурманской области на поверхностные воды // Е.В. Левин, Р.Ф. Сагитов, Т.А. Гамм [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 3 (65). С. 210–212.
3. Левин Е.В. Экологическое обоснование ликвидации помётохранилища на основе результатов инженерно-экологических изысканий / Е.В. Левин, Т.А. Гамм, Р.Ф. Сагитов, С.В. Шабанова [и др.]. М., 2016. 128 с.
4. Егоров А.А. Анализ проблемы технических этажей в жилых зданиях / А.А. Егоров, В.Д. Баширов, Р.Ф. Сагитов [и др.] // Актуальные направления научных исследований: от теории к практике: сб. матер. III Междунар. науч.-практ. конф. Чебоксары, 2015. С. 29–30.
5. Егоров А.А. Обоснование применения крышных котельных установок в зданиях жилищно-коммунального назначения / А.А. Егоров, В.Д. Баширов, Р.Ф. Сагитов [и др.] // Актуальные направления научных исследований: от теории к практике: сб. матер. III Междунар. науч.-практ. конф. Чебоксары, 2015. С. 232–233.
6. Захаревич В.В. Анализ проблемы технических этажей в жилых зданиях / В.В. Захаревич, В.Д. Баширов, Р.Ф. Сагитов [и др.] // Актуальные направления научных исследований: от теории к практике: сб. матер. III Междунар. науч.-практ. конф. Чебоксары, 2015. С. 29–30.
7. Захаревич В.В. Обоснование применения крышных котельных установок в зданиях жилищно-коммунального назначения / В.В. Захаревич, В.Д. Баширов, Р.Ф. Сагитов [и др.] // Актуальные направления научных исследований: от теории к практике: сб. матер. III Междунар. науч.-практ. конф. Чебоксары, 2015. С. 232–233.
8. Шабанова С.В., Сагитов Р.Ф., Перехода Д.П. Воздействие выбросов предприятий энергетики на прилегающую территорию // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. № 6 (56). С. 205–208.
9. Митрофанов С.В. Исследования процесса сгорания топлива в котельной при утилизации помёта птицефабрик / С.В. Митрофанов, В.Ю. Соколов, С.А. Наумов [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 2 (70). С. 139–142.