

В.В. БАРАНИЧЕНКО, аспирант (ДГТУ),
Я.А. БРАТИЩЕНКО, студент гр. ВПМ22 (ДГТУ),
Д.Д. МЕДВЕДЕВ, аспирант (ДГТУ),
А.И. РАХМАНОВ, студент гр. АТК33 (ДГТУ)
Научный руководитель В.И. ГРИЩЕНКО, к.т.н., доцент (ДГТУ)
г. Ростов-на-Дону

ТЕХНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ МНОТОПЛИВНОГО ГОРЕЛОЧНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Разрабатываемое в Донском государственном техническом университете (ДГТУ) горелочное устройство (ГУ) предназначается для обогрева тепличных хозяйств во всех регионах РФ. Отсюда специфика технических требований: ориентация на режим «включение – выключение», топливная универсальность при минимальной токсичности дымовых газов. Испытания опытного образца (рисунок 1), наряду с имитационным компьютерным моделированием [1], призваны оптимизировать аэродинамику топливно-воздушной смеси и тепловую нагрузку на элементы конструкции.

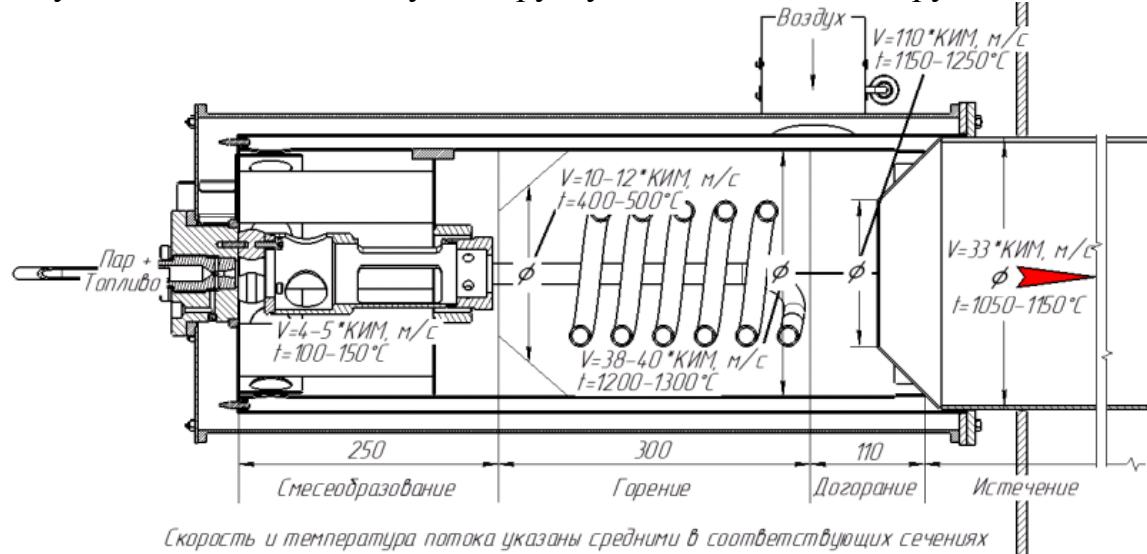


Рис. 1. Конструкция опытного образца ГУ для АПК

Испытания топливного тракта. Опытный образец ГУ имеет расчетную тепловую мощность 0,2-1 МВт (расход углеводородного топлива 10 кг/МВт·ч). Экспериментальная зависимость расхода горючего Q [кг/ч] от частоты питания электропривода топливного насоса f [Гц], необходимая для управления ГУ, определена «проливкой». Полученная методами мате-

матического программирования [2] функция $Q(f)$ для объемного Q_V и мас-
сowego Q_M расхода имеет вид:

$$Q_V = 8.99 \cdot 10^{-4} f - 0.46 \text{ л/мин. или } Q_M = 4.58 \cdot 10^{-2} f - 23.5, \text{ кг/час.} \quad (1)$$

Погрешность (1) не превышает 0,5 %, что достаточно для управления ГУ.

Испытания воздушного тракта необходимы для снижения мощности дутьевого вентилятора (ДВ). Измерения скоростного поля в контрольных точках выявляют потери давления в различных элементах конструкции. Схема и результаты таких измерений приведены на рисунках 2-4.

Обработка методом [2] данных (рисунок 2) свидетельствует: генерируемый ДВ поток характеризуется идентичной структурой турбулентности в диапазоне эксплуатационного расхода воздуха; течение воздуха – несжимаемое, а для аксиальной скорости в сечении (рисунок 2) справедлива формула:

$$V(x, y) = 2.43\eta e^{2 \cdot 10^{-5}(x-9.7)^2 - 5.9 \cdot 10^{-4}(y-57.4)^2} \times \\ \times [x(100-x) \cdot y(100-y)]^{1/8}, \quad (2)$$

где η – коэффициент мощности электропривода.

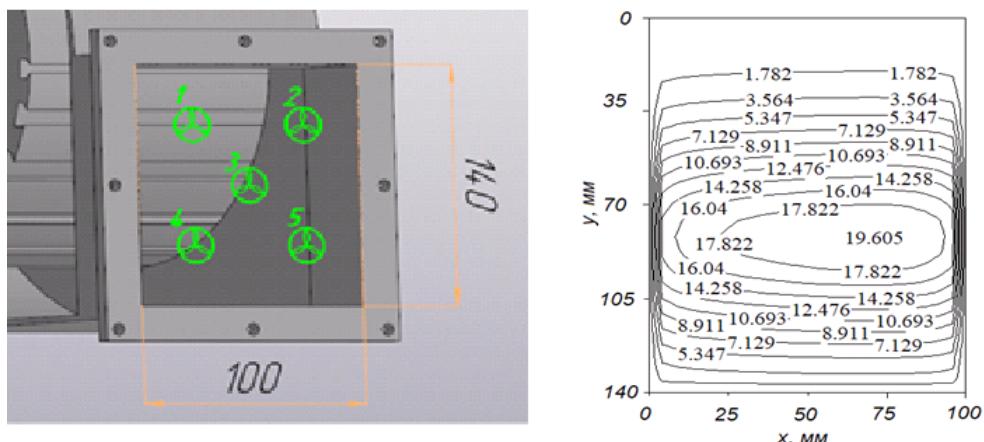


Рис. 2. Схема и результаты измерений скоростного поля на выходе ДВ

Среднее значение аксиальной скорости потока здесь составляет

$$\langle V \rangle = \int_0^{140} \int_0^{100} V(x, y) dx dy / \int_0^{140} \int_0^{100} dx dy = 8.98 \cdot \eta \text{ м/с,} \quad (3)$$

что в 1.27 раз ниже среднеарифметического значения в контрольных точках из-за неоднородности потока.

Затем определялась производительность ДВ с переходником на

круглое сечение $\phi = 84$ мм (рисунок 3).

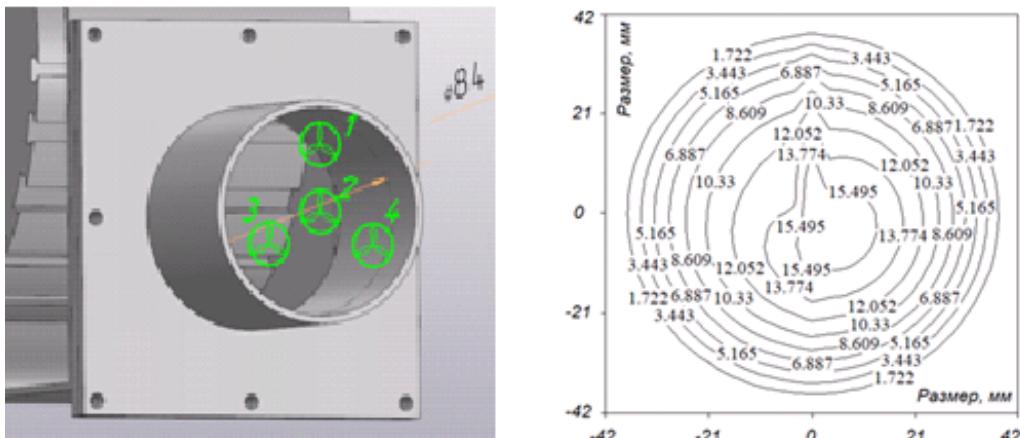


Рис. 3. Поле аксиальной скорости в цилиндрическом патрубке ДВ

Экспериментальные данные (рисунок 3) описываются [2] формулой:

$$V(r, \varphi) = 2.4 \cdot \eta \cdot (15.7 + 1.90 \cdot \cos(\varphi + 0.596)) \cdot [1 - (r/42)^8]. \quad (4)$$

Средняя аксиальная скорость потока в данном сечении составляет

$$\langle V \rangle = \int_0^{2\pi} \int_0^{42} V(r, \varphi) r dr d\varphi / \int_0^{2\pi} \int_0^{42} r dr d\varphi = 10.9 \cdot \eta, \text{ м/с}, \quad (5)$$

объемный и массовый расходы $Q_V = 216$ л/час и $Q_m = 280$ кг/час соответственно, а аэродинамические потери в элементе тракта достигают 50 %.

Анализ потока в выходном сечении соединительной гофры длиной 0.9 м и диаметром 80 мм свидетельствует, что аэродинамические потери на данном участке конструкции составляют $\sim 3\%$; при этом поле аксиальной скорости эволюционирует до теоретической для труб структуры.

Сравнивая параметры воздушного потока в выходном патрубке ненагруженного и нагруженного ДВ, заключаем, что в условиях исследованного режима дробной мощности ГУ объемный расход составляют примерно 14 % номинального. Расход воздуха, обеспечивающий ДВ на номинальной мощности электропривода, составляют $Q_V = 3200$ л/час или $Q_m = 4150$ кг/час. Отсюда следует, что выбранный ДВ обеспечит надежное сжигания ДТ с подачей 100 кг/час (1 МВт тепловой мощности), если общий коэффициент расхода воздушного тракта ГУ превысит 40 %.

Результаты измерений аксиальной составляющей скоростного поля в контрольных точках выходного сечения ГУ показаны на рисунке 4. Их можно описать [2] формулой:

$$V(r, \varphi) = \eta \cdot (1.59 - 0.29 \cdot \cos(\varphi - 0.56)) \cdot [1 - (r/140)^8], \text{ м/с} . \quad (6)$$

Средняя аксиальная скорость потока в выходном сечении составляет:

$$\langle V \rangle = \int_0^{2\pi} \int_0^{140} V(r, \varphi) r dr d\varphi / \int_0^{2\pi} \int_0^{140} r dr d\varphi = 1.271 \cdot \eta, \text{ м/с} , \quad (7)$$

что при $\eta = 1$ соответствует расходу $Q_V = 282$ л/час или $Q_M = 363$ кг/час.

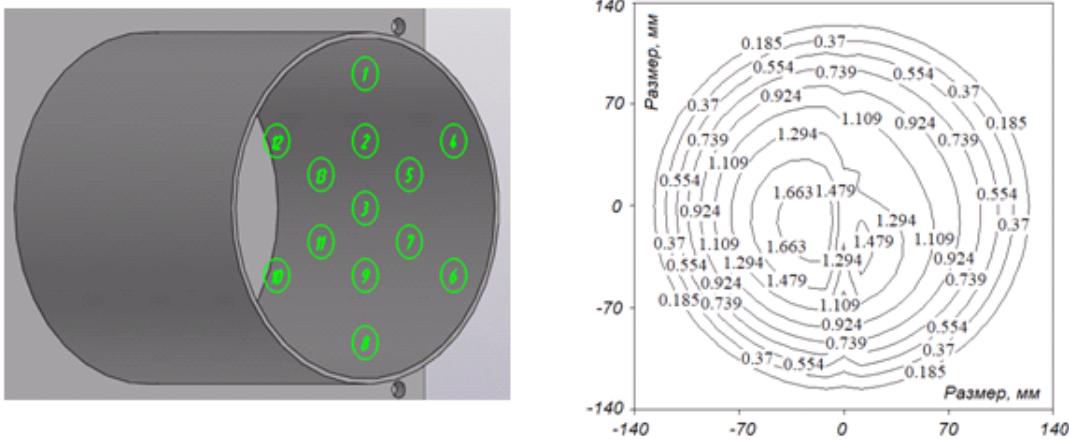


Рис. 4 Контрольные точки и экспериментальное поле аксиальной скорости в выходном сечении ГУ

Практический результат аэродинамических исследований опытного образца ГУ состоит в том, что реальный коэффициент расхода воздушного тракта составляет 9 % или существенно ниже требуемых 40 %. Впоследствии этот факт подтвердили огневые испытания: качественное горение и полное сжигание топлива обеспечивалось лишь до уровня тепловой мощности вчетверо ниже номинальной.

Устранить выявленный в ходе испытаний недостаток конструкции можно, сократив потери в переходнике между ДВ и соединительной гофрой при одновременном расширении воздушного канала горелки (рисунок 1) примерно втрое. Отметим, что реализация этих рекомендаций впоследствии позволила обеспечить качественное горение на проектной мощности.

Термические испытания экспериментального ГУ. Измерение температуры в камере сгорания ГУ осуществлялись при помощи хромель-алюмелевых термопар. Глубина погружения термозондов в факел регулировалась составными простоявками (рисунок 5).

Испытывался пуск ГУ и выход на заданный режим при частичной подаче 11- 18 кг/час солярки и 1-3 кг/час (управляющего) водяного пара. Стационарная температура в точках (рисунок 2) рассчитывалась методами [2]. Динамика выхода ГУ на рабочий режим задавалась формулой:

$$T_k(t) = T_0 + (T_k(\infty) - T_0)(1 - e^{-t/\tau}), \quad (8)$$

где k – номер контрольной точки. Обработка экспериментальной динамики разогрева ГУ дает величину $\tau \approx 180$ с.

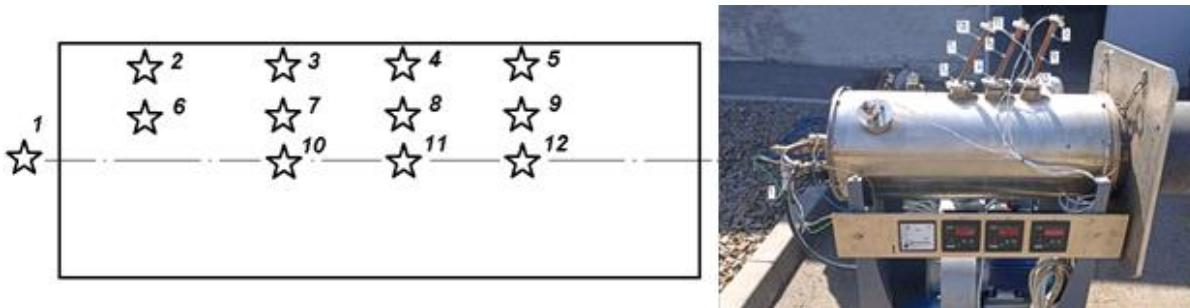


Рис. 5. Расположение контрольных точек в термических испытаниях экспериментального ГУ для агропромышленного комплекса

Экспериментально установлено: 1) пар повышает температуру горючей смеси при дробной мощности; 2) при номинальной мощности пар снижает теплонапряженность форсунки; 3) пар позволяет управлять геометрией и температурой факела, сужает застойные зоны.

Основные результаты и выводы. В результате технических испытаний и компьютерного моделирования опытного образца ГУ внесены существенные изменения в конструкцию и рабочий процесс, что позволило обеспечить проектные технико-экономические показатели.

Список литературы:

1. Яценко, О.В. Генерация и анализ детальных информационных моделей в прикладной физико-химической кинетике / О.В. Яценко // Обозрение прикл. и промышл. Математики, 2006. – Т. 13. – Вып. 5. – С. 938.

2. Жигулин, И.Н. Тепломассообмен в энергетических и транспортных системах: компьютерные методы исследования и обучения / И.Н. Жигулин, Е.Н. Ладоша, О.В. Яценко – В 2-х т. Ростов н/Д: Изд-во РГУПС, 2002. – 436 с.

Информация об авторах:

Бараниченко Вадим Владимирович, аспирант, ДГТУ, 344001,
г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1, корп. 1, ауд. 258, spu-37.5@donstu.ru

Братищенко Ярослав Андреевич, студент гр. ВПМ22, ДГТУ, 344001,
г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1, корп. 1, ауд. 258, spu-37.5@donstu.ru

Медведев Денис Дмитриевич, аспирант, ДГТУ, 344001, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1, корп. 1, ауд. 258, spu-37.5@donstu.ru

**VIII Международная молодежная научно-практическая
конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

104-6

21-22 ноября 2025 г.

Рахманов Арслан Икрамович, студент гр. АТК33, ДГТУ, 344001,
г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1, корп. 1, ауд. 258, sru-37.5@donstu.ru

Грищенко Вячеслав Игоревич, к.т.н., доцент, ДГТУ, 344001, г. Ростов-
на-Дону, пл. Гагарина, д. 1, корп. 1, ауд. 258, sru-37.5@donstu.ru