

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.

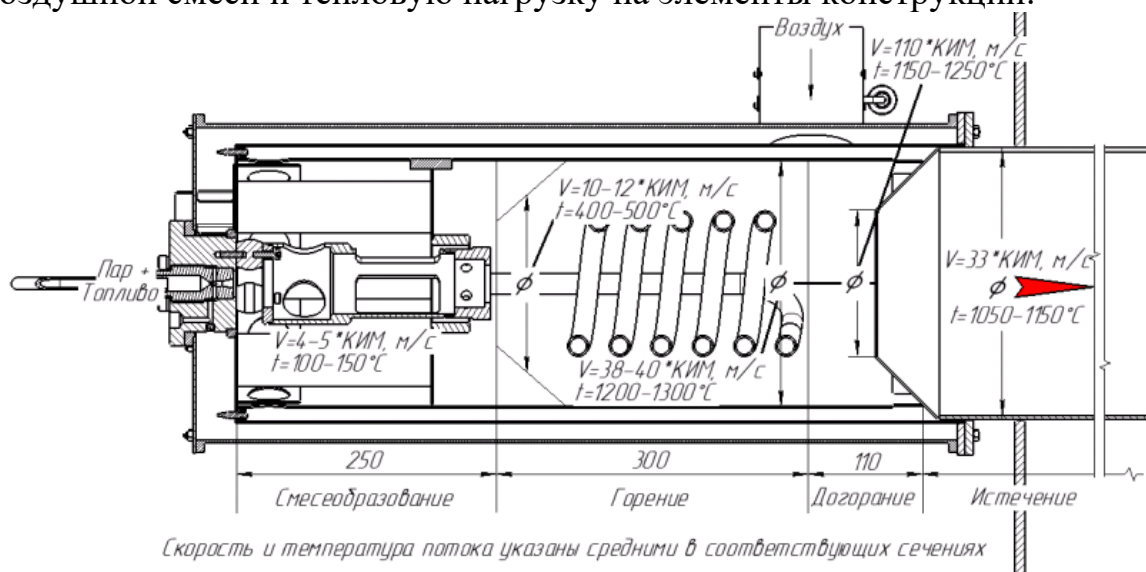


Рис. 1. Конструкция опытного образца ГУ для АПК

**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 массового  $Q_M$  расхода имеет вид:

$$Q_V = 8.9910^{-4} f - 0.46 \text{ л/мин. или } Q_M = 4.5810^{-2} f - 23.5, \text{ кг/час.} \quad (1)$$

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:

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

где  $\eta$  – коэффициент мощности электропривода.

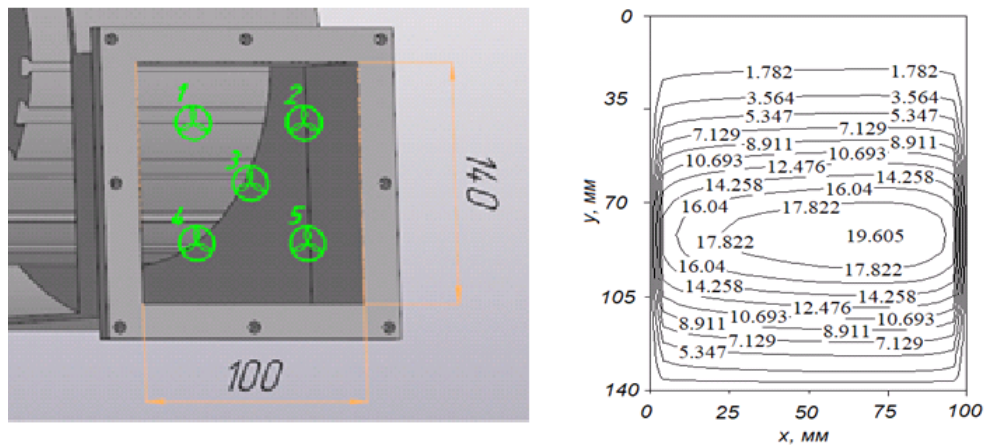


Рис. 2. Схема и результаты измерений скоростного поля на выходе ДВ

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  $\varnothing = 84$  мм (рисунок 3).

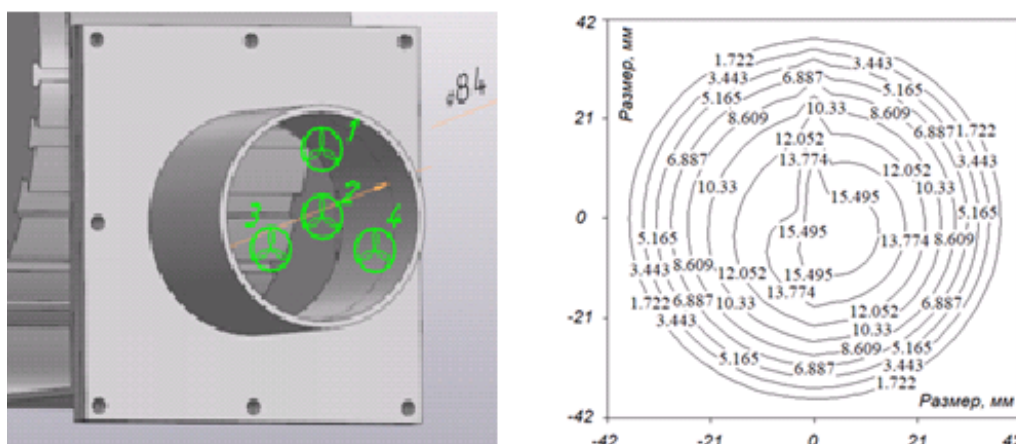


Рис. 3. Поле аксиальной скорости в цилиндрическом патрубке ДВ

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, обеспечиваемый 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.

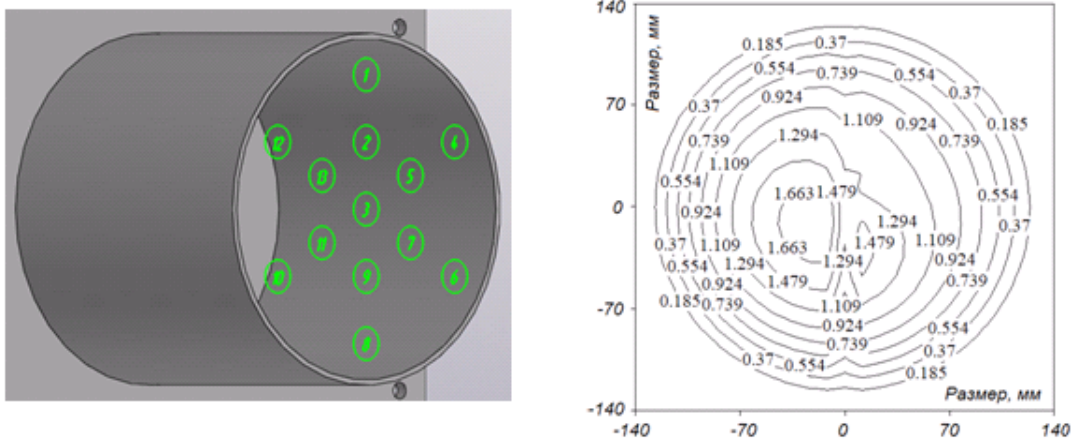


Рис. 4 Контрольные точки и экспериментальное поле аксиальной скорости в выходном сечении ГУ

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 гофром 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 проставками (рисунок 5).

Испытывался пуск ГУ и выход на заданный режим при частичной подаче 11- 18 кг/час солянки 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.

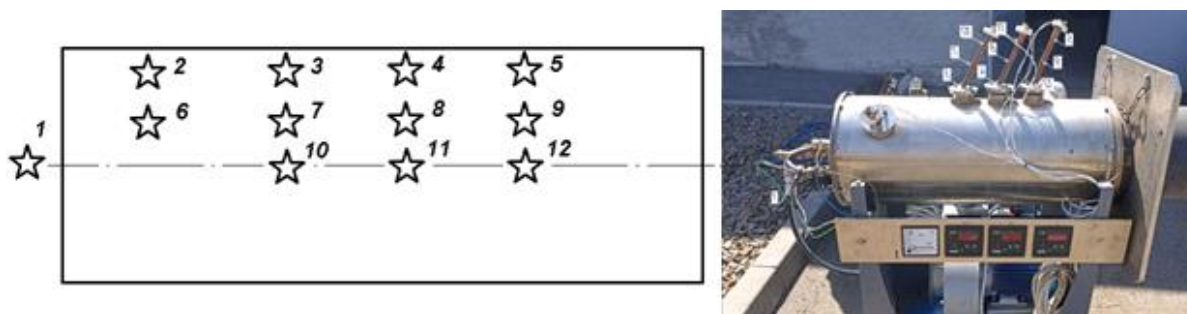


Рис. 5. Расположение контрольных точек в термических испытаниях экспериментального ГУ для агропромышленного комплекса

**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

---

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