

УДК 66.02 (075.32)

О.М. БУГАЕНКО, Ю.А. ГУСЕВ, А.В. СКЛЯРОВ, А.С. МОСКАЛЕНКО

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭЖЕКТОРНОГО СОПЛА ПОДАЧИ ЧАСТИЦ СОРБЕНТА ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ОЧИСТКИ ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОТ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Статья посвящена моделированию эжекторного сопла газотурбинной установки, предназначенной для сбора нефтепродуктов в случае их аварийного разлива.

математическая модель, сорбент, биосорбент, газотурбинный двигатель, рекультивация, выходное устройство, установка, дальнобойность, инжектируемый поток

Введение

Известно, что нефть является одним из самых существенных загрязнителей, нарушающих экологию мирового океана, внутренних водоемов, а также почвенных покровов суши. Одним из направлений защиты окружающей среды в случае аварийного разлива нефти является локализация загрязненного участка и сбор ее с применением различных сорбентов.

Формулирование проблемы

Технология очистки воды от нефтепродуктов включает в себя распределение тонкодисперсных сорбционных материалов на большой водной поверхности.

Сорбенты – это материалы, поглощающие загрязняющее вещества в свои многочисленные поры, а также, использующие эффект смачивания, повышающий результативность процесса очистки водной поверхности от нефтепродуктов.

Для более тонкой очистки поверхности воды, а также почвы возможно введение в загрязняющую среду водной суспензии или порошкообразного препарата, содержащего нефтеокисляющие бактерии – биосорбента.

Применяемые биосорбенты содержат специальные бактерии, поглощающие нефтепродукты, при этом

продуктом их деятельности является углекислый газ, а также гумус, который не оказывает вредного воздействия на природу. Следует отметить, что при обработке почв биопрепаратом необходимо периодически увлажнять обработанную поверхность водой.

Применение перечисленных сорбентов и биосорбентов для рекультивации почв и водоемов загрязненных нефтепродуктами требуют затрат больших денежных средств, а их доставка и распределение на большие загрязненные поверхности в течение короткого времени представляет значительные трудности.

Анализ литературных источников показал на отсутствие специальных установок, которые могли бы решить комплексную задачу очистки почв и водоемов, загрязненных нефтепродуктами.

Распределение тонкодисперсных сорбционных материалов, а также и биосорбентов, может быть осуществлено с помощью многофункционального генератора многофазного потока, представленного в работах [1, 3].

Рассматриваемый генератор состоит из двух основных частей: газотурбинного двигателя (ГТД) и специального многофазного сопла.

Задача ГТД – формирование газового потока, являющегося несущей фазой, с заданными параметрами в выходном устройстве.

Выходное устройство формирует многофазный поток твердых частиц сорбента или биосорбента.

Подача твердых частиц в камеру смешения выходного устройства может быть осуществлена принудительно, например, с помощью шнека. Математическая модель такого сопла, а также ее программная реализация представлена в работе [1]. Однако применение шнека при подаче частиц сорбента в камеру смешения сопла усложняет конструкцию установки и вносит в систему управления установкой определенные трудности.

Возможна также эжекционная подача частиц сорбента в многофазное сопло установки. Такое конструктивное решение устраняет недостатки установки, указанные выше.

Для определения геометрических параметров эжекторного сопла, а также для оценки эффективности его работы нами была разработана его математическая модель, учитывающая физические свойства различных типов сорбентов.

Решение проблемы

Расчет инжектора для подачи твердой фазы проводился по методике изложенной в [4]. При расчете считалось, что эжектируемой средой являются твердые частицы без смеси с газом, что допустимо при их малом массовом расходе $G_{mч}$ по сравнению с расходом газа $G_г$ ($G_г \ll G_m$).

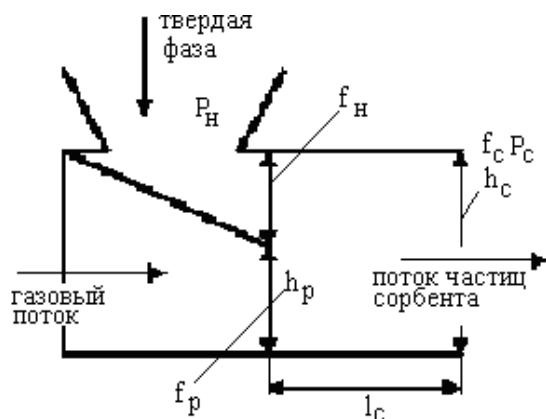


Рис. 1. Схема эжекторного сопла

Оптимальное отношение сечений эжектора определяется по зависимости

$$\frac{f_c}{f_p} = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a},$$

где $a = \varphi_1$; $c = \varepsilon_{pн} \frac{v_c}{v_p} (1 + u_T)^2$;

$$b = - \left(\varphi_1 + 2\varepsilon_{pн} \times \left(\frac{v_c}{2v_p} \times (1 + u_T)^2 - (\varphi_2 - 0.5) \times \left(\frac{v_T}{v_p} \times u_T^2 \right) \right) \right).$$

Уравнение характеристики инжектора имеет вид

$$\frac{p_n - p_c}{p_n} = k \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} \frac{p_p f_p}{p_n f_c} q_{pн}^2 \times \left(\varphi_1 \frac{\lambda_{pн}}{q_{pн}} + \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}} \times \left((\varphi_2 - 0.5) \times \frac{f_p}{f_n} \times u_T^2 \times \left(\frac{v_T}{v_p} - 2 \frac{f_p}{f_c} (1 + u_T) \right) \right) \right),$$

где u_T – коэффициент инжекции твердой фазы;

$$v_p, v_T, v_c = v_p \frac{1}{1 + u_T} + v_T \frac{u_T}{1 + u_T} - \text{удельный объём}$$

рабочего газа, твердой фазы и смешанного потока соответственно, м³/кг;

φ_1, φ_2 – коэффициенты скорости ($\varphi_1 = 0,9491$ и $\varphi_2 = 0,8455$ по [4];

f_c, f_p, f_n – площади соответствующих сечений, м² (рис. 1), $f_c = f_p + f_n$;

p_c, p_p, p_n – давления в соответствующих сечениях, Па;

k – показатель адиабаты;

$\varepsilon_{pн}, \lambda_{pн}, q_{pн}$ – газодинамические функции (относительная плотность, приведенная скорость и приведенная массовая скорость соответственно).

Данные функции находятся по таблицам газодинамических функций по относительному давлению

$$\Pi_{pн} = p_n / p_p.$$

Длина камеры смешения определяется по зависимости

$$l_c = \frac{h_c - 0.984h_p}{1,2a},$$

где $a = 0,09 - 0,16$ – эмпирический коэффициент; h_c, h_p – высота соответствующих сечений.

По приведенным выше зависимостям определены геометрические размеры рабочего эжекторного сопла, а также параметры потока на входе в разгонную часть сопла (на выходе из камеры смешения).

В качестве исходных, были использованы параметры газового потока газотурбинного двигателя ГТД-5, который используется нами как экспериментальная установка для решения экологических проблем [5]. Расход газа – $G_g = 1$ кг/с; давление – $P = 150000$ Па; температура $T = 850$ К.

В качестве сорбента рассматривалась древесная стружка.

В результате расчета были получены такие результаты:

- площадь рабочего сопла эжектора $f_p = 0,008366$ м²;
- высота рабочего сопла эжектора $h_p = 0,044$ м;
- длина камеры смешения $l_c = 0,185$ м;
- давление на входе в разгонное сопло $p_c = 126562$ Па.

Вследствие того, что параметры на входе в разгонное сопло изменились, необходимо оценить влияние данных изменений на параметры характеризующие эффективность его работы.

Как было указано в [3], основным параметром, характеризующим эффективность работы разгонного сопла, является скорость твердой фазы на срезе сопла. На основе математической модели многофазного разгонного устройства при известной его геометрии, были определены параметры фаз на срезе сопла.

В частности, интересующая нас скорость твердой фазы равна 42 м/с. Расчетная скорость твердой фазы на срезе сопла без использования инжекционной подачи составляет 50 м/с.

Литература

1. Расчет дальности двухфазной струи пожаротушащей установки на базе газотурбинного двигателя / В.С. Чигрин, Ю.А. Гусев., С.В. Епифанов, О.Ф. Муравченко // Авиационно-космическая техника и технология: Сб.научн. тр. – Х.: Гос. Аэрокосм. ун-т «ХАИ», 1999. – Вып. 14. – С.18-20.
2. Математическое моделирование многофункциональных генераторов трехфазных потоков на базе авиационных ГТД / С.В. Епифанов, О.М. Бугаенко, Ю.А. Гусев, А.В. Скляров // Авиационно-космическая техника и технология: Научн.-техн. журнал. – 2005. – Вып. 8 (24). – С.58-61.
3. Проверка достоверности математической модели многофазного разгонного сопла / В.Е. Костюк, О.М. Бугаенко, Ю.А. Гусев, А.В. Скляров // Авиационно-космическая техника и технология: Научн. техн. журнал. – 2006. – Вып. 7 (33). – С.157-160.
4. Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 350 с.
5. Многофазный генератор на базе газотурбинного двигателя для решения задачи очистки водной поверхности от нефтепродуктов / О.М. Бугаенко, Ю.А. Гусев, С.В. Епифанов, А.В. Скляров // Сучасні проблеми охорони довкілля раціонального використання водних ресурсів та очистки природних і стічних вод: Тр. міжнар. наук.-практ. конф. – К.: Знання, 2007. – С. 49-52.

Поступила в редакцию 4.06.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Е. Ведь Национальный технический университет “ХПИ”, Харьков.