

## УСТАНОВКА ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ВОДНЫХ АКВАТОРИЙ И ГРУНТА НЕФТЕПРОДУКТАМИ

Важнейшее значение во всем мире имеют сегодня вопросы экологии. Угрожающее загрязнение окружающей среды достигло масштабов, влияющих на жизнь планеты в целом. Одним из аспектов этой проблемы является загрязнение земной поверхности и водных акваторий в результате аварийных ситуаций, связанные с изношенностью устаревших танкеров, перевозящих нефтепродукты, нефтепроводов, а также с изношенностью устаревших танкеров, перевозящих нефтепродукты, нефтепроводов, а также несанкционированных врезок в них с целью хищения нефти и нефтепродуктов. В связи с этим расширилась география нефтезагрязненных территорий страны и водоемов, как внутренних (реки, водохранилища, озера), так и акваторий морей и океанов.

Засорение нефтепродуктами водных акваторий любого географического района приводит к созданию сложной экологической обстановки, для ликвидации, которой необходимы значительные финансовые затраты, а также длительное время. Традиционно в таких случаях применяются боновые заграждения, препятствующие растеканию нефтепродуктов, с последующим их сбором с помощью различных технических устройств: нефтемусоросборщиков, скиммеров, насосов, ковшевых черпалок и др. [1]. При этом на водной поверхности остается тонкая пленка нефтепродуктов, собрать которую очень сложно. Для сбора нефтепродуктов или других углеводородных соединений с водной поверхности в настоящее время применяются различные сорбенты – материалы способные поглотить в свои поры загрязняющие соединения, а также разместить их на своей поверхности за счет эффекта смачивания. В данной статье рассматривается применение одного из простейших и недорогих сорбентов – древесной стружки.

Технология доставки и распределение сорбента на большие загрязненные поверхности в течение короткого времени требует применения специализированных установок. Основываясь на мировом опыте, следует признать, что на сегодняшний день наиболее эффективным являются газотурбинные технологии. В Национальном аэрокосмическом университете им. Н.Е. Жуковского «ХАИ» разработана экспериментальная установка [2] на базе газотурбинного двигателя ГТД-5. Она позволяет переместить частицы сорбента с расходом 2–10 кг/с на расстояние до 40 метров. Установка может быть установлена на различных транспортных средствах, масса ее не превышает 120 кг.

В состав газотурбинной установки входят следующие модули:



Рисунок 1 – Схема разгонного трехфазного сопла

- газотурбинный двигатель (ГТД);
- многофазное эжекторное сопло с бункером для загрузки сорбента (рис. 2).

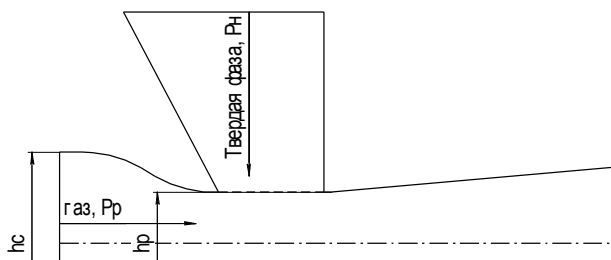


Рисунок 2 – Схема инжекционной подачи твердой фазы

Задача ГТД – формирование газового потока (несущей фазы) с заданными параметрами в выходном устройстве.

Принцип действия разгонного сопла показан на (рис. 1). Частицы сорбента (твердая фаза), подаются в выходное устройство установки. На участке 0–1 происходит подача твердых частиц сорбента, к которым затем на участке 1–2 подводится кинетическая энергия от газового потока двигателя, и твердые частицы ускоряются и перемещаются с газовым потоком.

В качестве твердой фазы могут рассматриваться пористые материалы органического, минерального происхождения или на основе полимеров, обладающие эффектом адсорбции, которые позволят эффективно собирать пленку нефтепродуктов с водной поверхности. Простейшим сорбентом может быть, как сказано выше, обычная древесная стружка.

Выходное устройство должно обеспечить необходимую объемную концентрацию дисперсной фазы и дальнобойность двухфазного потока для различных типов сорбента. Для обеспечения дальнобойности потока возможна дополнительная подача жидкой фазы – воды, которая позволяет увеличить импульс потока сорбента. Кроме того, подача воды позволяет снизить температуру газового потока в случае применения сорбентов или биосорбентов, чувствительных к повышенным температурам. В этом случае поток в выходном устройстве будет трехфазным.

Проектирование выходного устройства осуществлялось на базе его математической модели [3], которая обеспечивает необходимую объемную концентрацию дисперсной фазы и дальнобойность сорбентного потока.

Математическая модель (ММ) выходного устройства содержит дифференциальные уравнения: закон сохранения энергии смеси, массы и количества движения каждой фазы; уравнения притока тепла к жидкой и твердой фазам; уравнения состояния фаз и вспомогательные соотношения.

Однако, для работы рассматриваемого разгонного устройства необходимо осуществлять принудительную подачу сорбента в сопло, например, с помощью шнека. Применение шнека усложняет конструкцию установки и ее эксплуатацию. В связи с этим нами было предложено использование в специализированной установке эжекторного сопла. В настоящей статье предлагается конструктивное решение и расчет эжекторного разгонного сопла.

Расчет инжектора для подачи твердой фазы проводился по методике, изложенной в [4]. Предполагалось, что инжектируемой средой является твердое тело без смеси с газом, что допустимо при малом массовом расходе смешиваемого газа ( $G_{инт} \ll G_T$ ).

Оптимальное отношение сечений инжектора определяется по зависимости

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

где  $a = \varphi_1$ ;

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

$$c = \varepsilon_{pn} \frac{v_c}{v_p} (1 + u_T)^2.$$

Уравнение характеристики инжектора имеет вид:

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

где  $u_T$  – коэффициент инжекции твердой фазы;  $v_p, v_T, v_c = v_p \frac{1}{1 + u_T} + v_T \frac{u_T}{1 + u_T}$  – удельный объем рабочего газа, твердой фазы и смешанного потока соответственно, м<sup>3</sup>/кг;  $\varphi_1, \varphi_2$  – коэффициенты скорости ( $\varphi_1 = 0.9491$  и  $\varphi_2 = 0.8455$  по [5]);  $f_c, f_p, f_n$  – площади соответствующих сечений, м<sup>2</sup> (рис. 1),  $f_c = f_p + f_n$ ;  $p_c, p_p, p_n$  – давления в соответствующих сечениях, Па;  $k$  – показатель адиабаты;  $\varepsilon_{pn}, \lambda_{pn}, q_{pn}$  – газодинамические функции (относительная плотность, приведенная скорость и приведенная массовая скорость соответственно).

Данные функции находятся по таблицам газодинамических функций по относительному давлению

$$\Pi_{pn} = p_n / p_p.$$

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 определяются геометрические размеры рабочего сопла инжектора, а также параметры газа на входе в разгонное сопло (на выходе из камеры смешения). В результате расчета были получены такие результаты:

площадь рабочего сопла инжектора  $f_p = 0.008041 \text{ м}^2$ ;

высота рабочего сопла инжектора  $h_p = 0.043 \text{ м}$ ;

длина камеры смешения  $l_c = 0.195 \text{ м}$ ;

давление на входе в разгонное сопло  $p_c = 126634 \text{ Па}$ .

Используя результаты расчетов, нами было спроектировано и изготовлено эжекторное сопло применительно к параметрам газового потока двигателя ГТД5. На основании ММ разгонного устройства, при известной геометрии, скорость твердой фазы на срезе сопла, с учетом инжекционной подачи, 42 м/с. При стендовых испытаниях было установлено, что дальнобойность при нулевом угле атаки установки

к горизонту составила 24 м, а протяженность пятна орошения 26 м<sup>2</sup>. Газотурбинная установка с эжекторным соплом представлена на (рис. 3).



Рисунок 3 – Распыл древесной стружки с использованием эжекторного сопла

Для исследования сорбентных возможностей древесной стружки нами был проведен лабораторный эксперимент сбора нефтяных углеводородных соединений, в частности, дизельного топлива, с поверхности воды.

Для этой цели в емкость с водой, загрязненной дизельным топливом, помещалась древесная стружка из расчета 0,35 кг на квадратный метр. Насыщение стружки продолжалось в течение двух суток. Взвешивание извлеченной стружки после удаления из ее пор воды показало увеличение веса за счет насыщения дизельным топливом в 1,5 раза, что свидетельствует о высоких сорбентных качествах древесной стружки.

В заключении можно отметить, что создана методика расчета эжекторного сопла газотурбинной установки, позволяющего осуществлять быструю доставку сорбента на поверхности, загрязненные нефтью. Кроме того, проведена оценка сорбентных свойств древесной стружки, которая показала эффективность ее применения при ликвидации загрязнений нефтепродуктами.

#### Литература

1. Соловьев В.И. Медицинские аспекты и санитарно-гигиеническая оценка бактериальных препаратов, применяемых для борьбы с нефтяным загрязнением водоемов/. В.И Соловьев, В.А. Пушкина, Г.А. Кожанова, Т.В. Гудзенко // Вода и здоровье 2001: Сб. научн. статей. □, Одесса: ОЦНТЭИ, 2001 С. 195–200.

2. Бугаенко О.М. Многофазный генератор на базе газотурбинного двигателя для решения задачи очистки водной поверхности от нефтепродуктов / Бугаенко О.М., Гусев Ю.А., Епифанов С.В., Скляр А.В. // Сучасні проблеми охорони довкілля раціонального використання водних ресурсів та очистки природних і стічних вод.: Тр. Міжнар. наук. практ. конф. – К.: Товариство «Знання», 2007 С. 49–52.

3. Епифанов С.В. Математическое моделирование многофункциональных генераторов трехфазных потоков на базе авиационных ГТД/ Епифанов С.В., Бугаенко О.М., Гусев Ю.А., Скляр А.В. // Авиационно-□космическая техника и технология: Научн. техн. журн. 2005. Вып. 8(24). С. 58–61.

4. Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты. – М.: Энергоатомиздат, 1989. 208 с.

УДК 66.02 (075.32)

Бугаенко О.М.

### **ГАЗОТУРБІННА УСТАНОВКА З ЕЖЕКТОРНИМ СОПЛОМ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ОЧИСТКИ ПРИ НАФТОВОМУ ЗАБРУДНЕННІ**

Розглянуто питання розрахунку та конструювання ежекторного сопла газотурбінної установки, призначеної для доставки сорбенту в зону аварійного розливу нафти. Розглянуто сорбційні властивості стружки з дерева.