

УДК 621.1.076-627.7

О.М. БУГАЕНКО

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

## РАСЧЕТ ДАЛЬНОБОЙНОСТИ МНОГОФАЗНОГО ПОТОКА И РАЗМЕРА ПЯТНА ПОКРЫТИЯ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ УЧАСТКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТРАЕКТОРНОГО ПОДХОДА

*В данной работе рассмотрены вопросы обеспечения экологической безопасности в зоне разлива нефтепродуктов. Для этих целей был создан многофазный газогенератор на базе авиационного двигателя использующий в качестве несущей фазы его газовый поток. Разработана математическая модель разгонного устройства, что дало возможность проектирования различных видов сопел. Проведена верификация данной модели с помощью современных методов вычислительной аэродинамики (ВАГД) и теоретический расчет дальнобойности многофазного потока и размера пятна покрытия нефтезагрязненных участков. При расчетах использовался траекторный подход, представлены результаты расчетов, сделаны выводы.*

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, математическая модель, газовый поток, верификация, авиационный двигатель.

### Введение

В настоящее время аварийные разливы нефти и нефтепродуктов (ННП) при добыче, транспортировке, переработке, хранении могут привести к экологической катастрофе и загрязнению окружающей природной среды. Для очистки загрязненной поверхности от нефтяных загрязнений применяется физико-химический метод, который включает в себя распределение тонкодисперсных сорбционных материалов на загрязненной поверхности с последующим их сбором. Недостатком способа, использующего сорбенты, является их обязательный сбор после окончания процесса сорбции и дальнейшая утилизация или переработка для повторного применения.

Для более тонкой очистки поверхности воды, а также почвы возможно введение в загрязняющую среду водной суспензии препарата, содержащего нефтеокисляющие бактерии (биологический метод). Важной задачей при этом является доставка и распределение на загрязненной поверхности обезвреживающих веществ.

Для доставки и распределения обезвреживающих веществ на загрязненные поверхности, в Национальном аэрокосмическом университете «ХАИ» создана установка на базе авиационного двигателя, отработавшего свой летный ресурс, использующая в качестве несущей фазы газовый поток двигателя (рис. 1) [1]. Рассматриваемый газогенератор состоит из двух основных частей: газотурбинного двигателя (ГТД) и специального разгонного устройства.

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

Выходное устройство формирует многофазный поток твердых частиц сорбента или биодеструктора.

Необходимо отметить, что предлагаемый газогенератор может выполнять различные задачи экологической направленности такие как тушение пожаров, очистка железнодорожных вагонов от остатков грузов, пылеподавление при взрывных работах в карьерах, дегазации и дезактивации техники, производственных и гражданских сооружений и т.д.

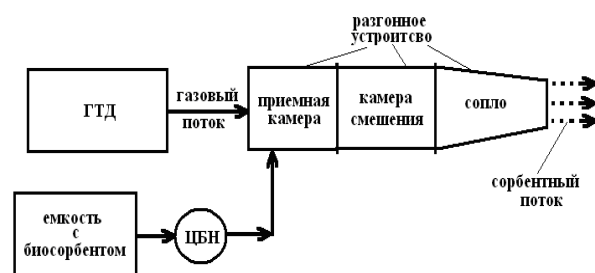


Рис. 1. Принципиальная схема установки

Предлагаемая турбоустановка работает следующим образом. Частицы сорбента – твердая фаза или суспензия биодеструктора – жидкая фаза, подаются в выходное устройство установки, где происходит подача частиц сорбента или биодеструктора, к которым затем подводится кинетическая энергия от газового потока двигателя и твердые частицы или биодеструктор ускоряются и перемещаются с газовым потоком.

### Постановка задачи

Основными параметрами, определяющими эффективность работы многофункционального газогенератора, являются скорость дисперсной фазы и давление несущей фазы (газа) в разгонном устройстве. Для этого нами была создана математическая модель, позволяющая производить расчет различных видов сопел [2]. Для определения достоверности результатов, полученных с помощью предложенной модели (то есть для верификации модели), может быть использован экспериментальный метод. Его реализация возможна, так как нами были созданы установки с различными ГТД и разгонными устройствами, спроектированными по предложенной методике. Однако экспериментальные исследования связаны со значительными материальными и временными затратами; кроме того, экспериментально проверить целый ряд параметров крайне сложно. Альтернативный подход основан на использовании более точных моделей процессов, происходящих в разгонном устройстве. Эти модели основаны на использовании модели более высокого уровня, реализованной на базе современного пакета вычислительной аэрогидродинамики (ВАГД).

Необходимо сравнить решения двух задач по определению параметров многофазных течений: многожидкостной с использованием математической модели и траекторной (дисперсной), основанной на ВАГД [3].

При верификации определялось изменение основных параметров по длине сопла методом ВАГД, которое сравнивалось с результатами, полученными с помощью математической модели.

Таким образом, используя метод ВАГД, мы можем оценить работу многофункционального газогенератора и теоретически оценить дальность доставки обезвреживающих веществ и площадь пятна покрытия нефтезагрязненных участков земли и водной поверхности.

### Решение поставленной задачи.

Для решения поставленной задачи нами [3] использовался траекторный подход (моделирование методом ВАГД). Наличие третьей (жидкой) фазы не учитывалось, так как ее влияние незначительно вследствие малой концентрации.

Решение методом ВАГД проводилось в трехмерной расчетной области размером  $40 \times 8 \times 8$  м на сетке, представленной на рис. 2. Размер элементов сетки в горизонтальном направлении увеличивается по мере удаления от оси газовой струи. Данное распределение густоты сетки выполнено для уменьшения количества элементов сетки (соответственно

для уменьшения времени расчета) при сохранении необходимой точности.

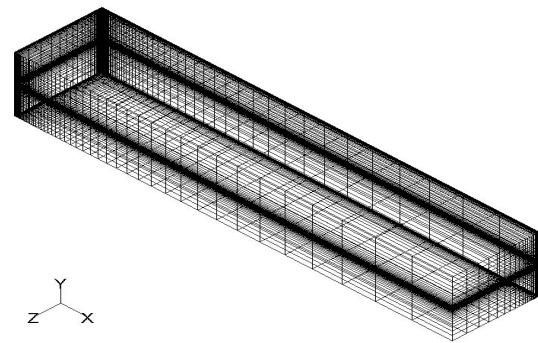


Рис. 2. Трехмерная расчетная сетка

Задача решалась в два этапа. На первом этапе определялись параметры газового потока (рис. 3), после чего определялись траектории частиц, которые движутся под действием силы тяжести, газовых сил (в том числе флуктуационных) и сил инерции.

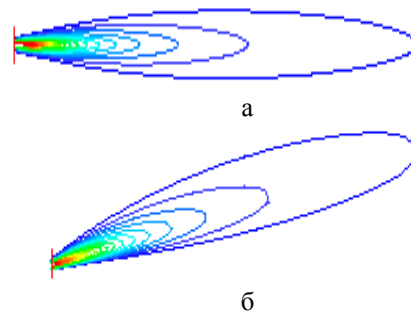


Рис. 3. Распределение абсолютной скорости газа за соплом ( $W_{г}=150$  м/с) в плоскости его симметрии

Данный подход позволил получить статистические параметры, характеризующие дальнобойность и размеры пятна покрытия, поскольку в расчете учитывается рассеивание, вызванное влиянием турбулентности на траекторию частицы. Главными преимуществами данного подхода являются его наглядность и умеренная требовательность к машинным ресурсам.

Траектории 1000 пробных частиц определялись для  $W_{ч} = 50$  м/с и  $d_{ч} = 3$  мм при двух значениях плотности частиц ( $\rho = 200$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho = 700$  кг/м<sup>3</sup>), двух значениях скорости газа на срезе сопла ( $W_{г} = 150$  м/с и  $W_{г} = 200$  м/с) и двух углах подъема струи ( $\alpha = 0$  и  $\alpha = 15^\circ$ ). Результаты расчетов для ( $W_{г} = 150$  м/с и  $\alpha = 0$ ) представлены на рис. 4.

Результаты, представленные на рис. 3 – 4, позволяют сделать вывод о том, что метод ВАГД позволяет оценить дальнобойность сорбентного потока и площадь покрытия им загрязненной нефтепродуктами поверхности для сорбентов различной плотности, при изменении скорости газа в разгонном устройстве газогенератора и угла подъема струи потока.

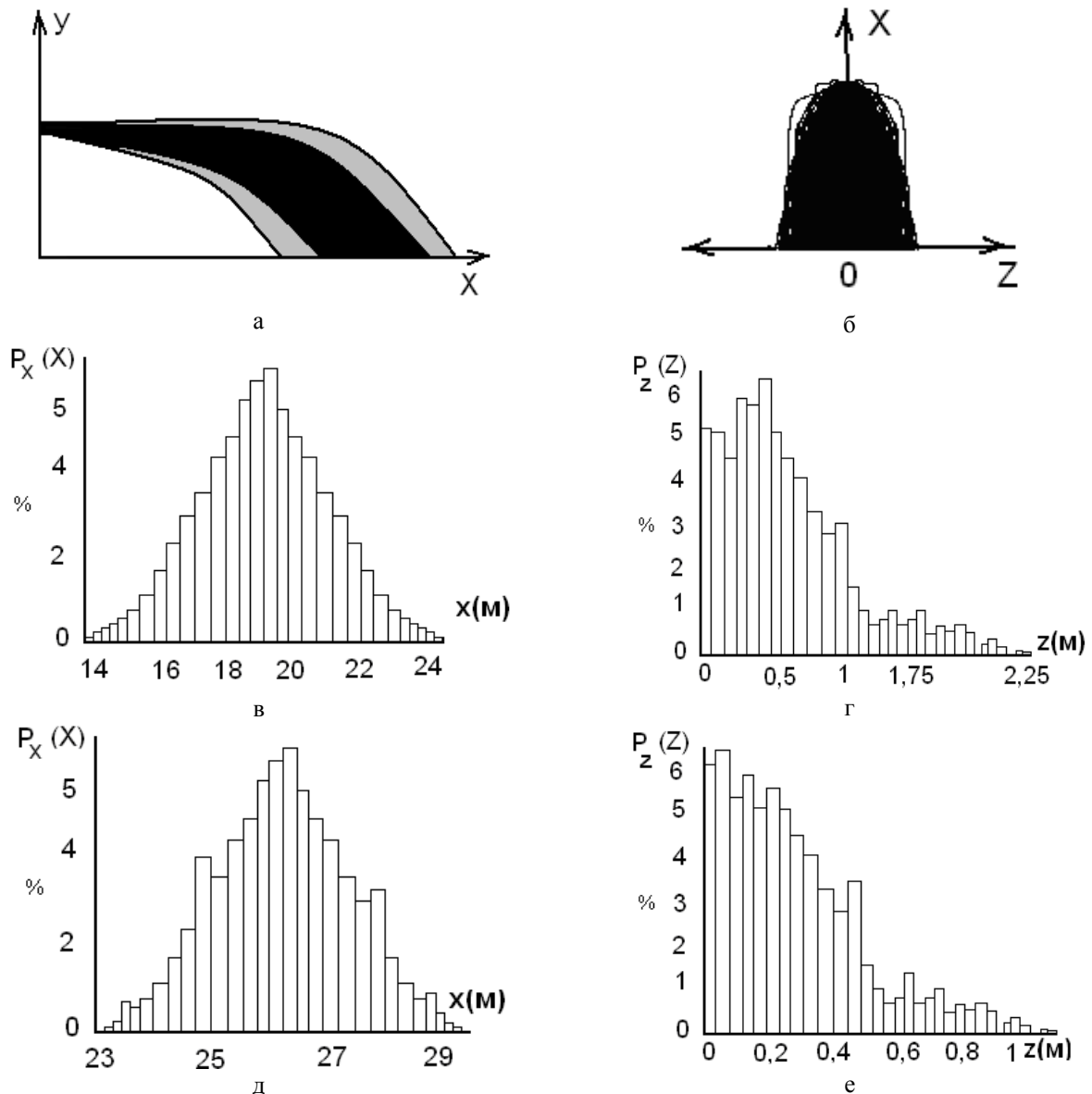


Рис. 4. Распределение частиц в потоке:

а, в, д – общий вид траектории и функции плотности распределения частиц по длине зоны покрытия;  
 б, г, е – общий вид траектории и функции плотности распределения частиц по ширине зоны покрытия;  
 в, г –  $\rho = 200$ ; д, е –  $\rho = 700$

## Заключение

Анализ представленных выше материалов позволяет сделать вывод о достоверности математической модели сопла разгонного устройства и возможности ее использования в совместной модели с газотурбинным двигателем.

Кроме того, необходимо отметить важное значение решения задачи течения многофазных потоков в трехмерном пространстве, которое позволяет на стадии проектирования технологического процесса очистки водной акватории или грунта оценить дальнюю боковую и размеры пятна покрытия обезвреживающими веществами загрязненной поверхности.

## Литература

1. Бугаенко, О.М. Многофункциональный газогенератор для ликвидации последствий загрязнений водных акваторий и грунта нефтепродуктами [Текст] / О.М. Бугаенко, Ю.А. Гусев, Н.В. Нечипорук // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2008. – № 8 (55). – С. 176 – 185.
2. Математическое моделирование многофункциональных генераторов трехфазных потоков на базе авиационных ГТД [Текст] / С.В. Епифанов, О.М. Бугаенко, Ю.А. Гусев, А.В. Складов // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2005. – № 8 (24). – С. 58 – 61.

3. Проверка достоверности математической модели многофазного разгонного сопла [Текст] / В.Е. Костюк, О.М. Бугаенко, Ю.А. Гусев, А.В. Скляров // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2006. – № 7 (33). – С. 157 – 160.

Поступила в редакцию 24.05.2012

**Рецензент:** канд. техн. наук, ст. научн. сотрудник кафедры конструкции авиационных двигателей В.Е. Костюк, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

### РОЗРАХУНОК ДАЛЕКОБІЙНОСТІ БАГАТОФАЗОВОГО ПОТОКУ ТА РОЗМІРУ ПЛЯМИ ПОКРИТТЯ НАФТОЗАБРУДНЕНИХ ДІЛЯНОК З ВИКОРИСТАННЯМ ТРАЕКТОРНОГО ПІДХОДУ

*О.М. Бугаєнко*

В даній роботі розглянуто питання забезпечення екологічної безпеки в зоні розливу нафтопродуктів. Для цих цілей було створено багатофазовий газогенератор на базі авіаційного двигуна, що використовує в якості несучої фази його газовий потік. Розроблено математичну модель розгінного пристрою, що дало можливість проектування різноманітних видів сопел. Проведено верифікацію даної моделі з допомогою сучасних методів обчислювальної аеродинаміки (ОАГД) та теоретичний розрахунок далькості багатофазового потоку і розміру плями покриття нафтозабруднених ділянок. При розрахунках використовувався траекторний підхід, представлені результати розрахунків, зроблено висновки.

**Ключові слова:** екологічна безпека, математична модель, газовий потік, верифікація, авіаційні двигуни.

### CALCULATION OF THE RANGE OF MULTIPHASE FLOW AND SIZE OF OIL SPILL COVERING BY USING TRAJECTORY APPROACH

*О.М. Bugayenko*

The given work is dedicated to issues of environmental safety in the area of oil product spill. To this end a multiphase gas generator based on gas turbine engine that uses its gas flow as a carrying phase has been created. A mathematical model of a boosting unit has been elaborated which enabled designing of various types of nozzles. This model has been verified with the help of up-to-date methods of computational aerohydrodynamics, and theoretical calculation of the range of multiphase flow and size of oil spill covering was done. A trajectory approach was employed for calculations, results of calculation have been presented and conclusions drawn.

**Key words:** environmental safety, mathematical model, gas flow, verification, gas turbine engine

**Бугаенко Олег Михайлович** – канд. техн. наук, старший преподаватель, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: o.bugaenko2010@yandex.ua.