

СТЕНД ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЯГОВОГО УСИЛИЯ ГАЗО- ЖИДКОСТНОГО РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Васильев Александр Иванович

физика

8 класс, МАОУ гимназия №35, г. Екатеринбург

*Научный руководитель: Черных Илья Викторович, д.т.н., доцент, УрФУ,
г.Екатеринбург*

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы движения морской парусной яхты с помощью реактивного двигателя во время штиля. Описываются принципы реактивного движения. Приводится описание стенда для экспериментального исследования усилия, развиваемого реактивным двигателем. Даются результаты экспериментальных исследований.

Ключевые слова: реактивный двигатель, тяговое усилие, шампанское, капитан Врунгель.

Введение

Реактивное движение — это движение, которое возникает при отделении от тела некоторой его части с определенной скоростью. Принцип реактивного движения подсмотрен человеком в природе [1]. Человек заметил, что некоторые представители бескрайних просторов воды передвигаются не так, как это делают обычные рыбы. Они буквально выталкивают из себя воду, что и заставляет их начинать стремительно двигаться и набирать скорость. Это и есть реактивное движение.

Конструкция простейшего реактивного двигателя включает камеру сгорания, сопло и трубопроводы, подающие топливо и окислитель [2]. Топливо и окислитель смешиваются в специальной камере и сгорают. В результате сгорания получается большой объем газа, имеющий высокое давление. Этот газ,

выходя из камеры через узкое сопло, приобретает высокую скорость. Сам двигатель перемещается в противоположном направлении.

Таким образом в реактивном двигателе обязательно должны быть представлены три элемента:

1. Некоторая емкость (камера, бак и т.п.) в которой поддерживается высокое давление.
2. Сопло – узкое отверстие в камере или баке.
3. Рабочее тело (газ, жидкость) которое выходит через сопло с высокой скоростью.

Самой главной технической характеристикой двигателя является развиваемое им тяговое усилие. Существуют методики для расчета этого усилия. Однако, для проверки теории необходимо проводить физические эксперименты для определения усилия. Такие эксперименты проводятся на испытательных стендах. Каждый из таких стендов создается специально для определенного типа двигателя. Для испытания газо-жидкостного двигателя также нужен специальный стенд. Таким образом, тема проекта, посвящённого созданию испытательного стенда *является актуальной*.

Цель работы: Спроектировать и изготовить стенд для измерения тягового усилия газо-жидкостного реактивного двигателя (ГЖРД). Измерить тяговое усилие двигателя. Определить, возможно-ли движение судна с помощью такого двигателя.

Гипотеза: Судно может двигаться с помощью газо-жидкостного реактивного двигателя.

Задачи:

1. Спроектировать и изготовить стенд для измерения тягового усилия газо-жидкостного реактивного двигателя.
2. Определить усилие сопротивления при движении судна по воде.
3. Определить может ли судно двигаться с помощью газо-жидкостного реактивного двигателя.

Исследование велось следующими *методами*:

1. Физический эксперимент

2. Расчет

Область исследования проекта – реактивные двигатели.

Объектом исследования в проекте является газо-жидкостный реактивный двигатель.

Предмет исследования – тяговое усилие газо-жидкостного реактивного двигателя.

Применение реактивного двигателя на морских и речных судах

В настоящее время реактивные двигатели устанавливаются, в основном, на ракеты и самолеты. Но есть и примеры установки таких двигателей на быстроходные суда. Так в 1952 году был построен первый реактивный катер [3]. Катер показал скорость 331 км/ч, что даже для гоночных автомобилей является очень высокой скоростью. В конце заезда катер врезался в затопленное бревно, и пилот погиб. В настоящее время рекорд скорости для реактивного катера 511 км/ч. Он был установлен в 1978 г. австралийцем Кеном Уорби.

Одним из вариантов реактивного двигателя является двигатель, рабочим телом которого является газо-жидкостная смесь. Случай применения такого двигателя описан в повести Андрея Некрасова «Приключения капитана Врунгеля в 1937 году в журнале «Пионер» [4]: *Но у самого финиша мы сплеховали: не рассчитали немножко, зашли под бережок, попали в полосу безветрия, заштилели... Мистер Денди посмотрел за корму и загрустил: выругался, сорвал крышку с ящика, извлек бутылку — и хлоп в доньшко! Пробка вылетела, как из пушки. При этом «Беда» получила такой толчок, что заметно продвинулась вперед...Мы все трое встали на корме и одну за другой принялись вышибать пробки... А «Беда» между тем движется вперед по ракетному принципу, набирает ход.*

Как это происходило в повести показано на рис. 1. Конечно, автор повести выдумал этот случай. Однако, бутылка с газированным напитком при открывании является, с точки зрения физических принципов, настоящим

реактивным двигателем. В ней присутствуют все элементы реактивного двигателя. Сама бутылка является баком, внутри которого создано повышенное давление, горлышко бутылки является соплом, а рабочим телом жидкость с пузырьками газа. Таким образом, рассматриваемый двигатель следует называть газо-жидкостным реактивным двигателем (ГЖРД).

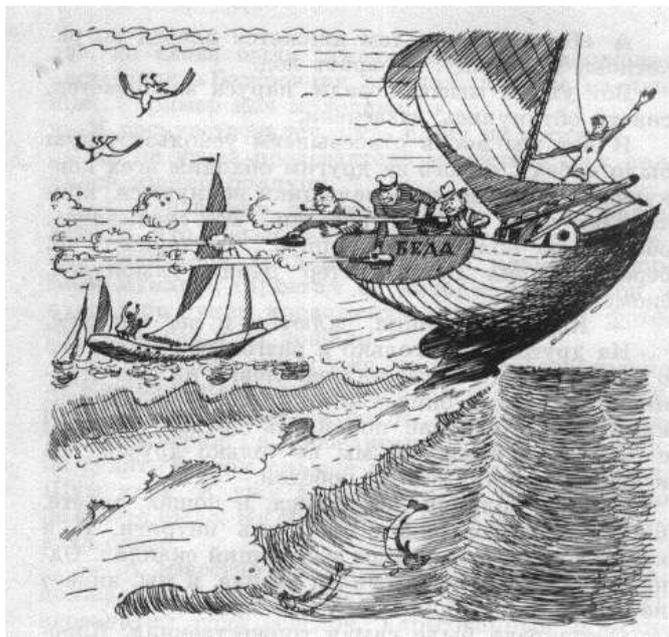


Рис. 1. «Реактивная» яхта

Как уже отмечалось во *Введении* тяговое усилие реактивного двигателя является его главной технической характеристикой. Однако, в настоящее время в литературе и в сети Internet полностью отсутствуют сведения о том какое тяговое усилие может развить бутылка Шампанского. Отсутствие таких данных и побудило автора проекта создать стенд для измерения силы тяги бутылки Шампанского или, иными словами, газо-жидкостного реактивного двигателя. Знание величины этого усилия позволит судить, является-ли эпизод с гонками парусных яхт в книге Некрасова выдумкой, или же такой случай и в самом деле мог произойти.

Проектирование и изготовление стенда для измерения тягового усилия

Для успешного проведения испытаний стенд должен иметь три основных элемента: корпус – для закрепления двигателя, систему измерения и систему фиксации (протоколирования) измерений.

Корпус стенда изготовлен из сантехнической пластиковой трубы внешним диаметром $D_1 = 110$ мм и внутренним $D_2 = 92$ мм.

Система измерения и ее элементы показаны на рис. 2а. Поскольку силомер рассчитан на максимальное усилие 100 кгс, что, по-видимому, много больше, чем тяговое усилие бутылки Шампанского, то пружины силомера заменены на более мягкие (это, в дальнейшем, потребовало провести калибровку силомера). Также из силомера убраны элементы, фиксирующие стрелку на максимальном усилии.

Под действием тягового усилия подвижный элемент силомера сдвигается и его перемещение с помощью зубчатой передачи внутри силомера передается стрелке. Угол поворота стрелки силомера прямо пропорционален величине усилия.

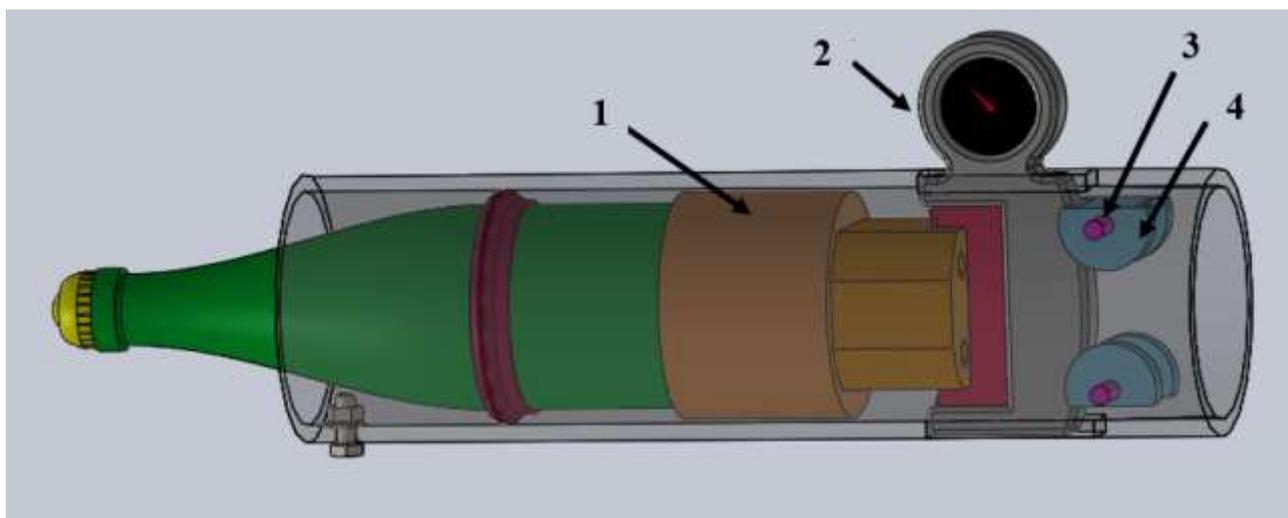


Рис. 2а. Система измерения (1 – адаптер, 2 – силомер, 3 – шпилька, 4 – втулка)

Для фиксации измерений использована экшн-камера (*Action camera*). Экшн-камера – это цифровая видеокамера, специально предназначенная для съёмки в условиях агрессивной окружающей среды и во время движения [5]. Она имеет малые габариты и вес. Экшн-камера позволяет снимать видео с частотой 120 fps (кадров в секунду). С помощью адаптера камера в защитном боксе крепится к корпусу стенда. Объектив камеры находится напротив шкалы силомера. Таким образом, во время проведения эксперимента камера фиксирует

движение стрелки силомера. В дальнейшем, при покадровом просмотре видеоролика, можно для выбранного момента времени увидеть положение стрелки и записать величину усилия.

Поскольку видеокамера снимает с высокой частотой кадров, то для ее работы требуется хорошее освещение. Поэтому на корпусе с помощью специального держателя закреплен светодиодный фонарик. Фонарик освещает шкалу силомера.

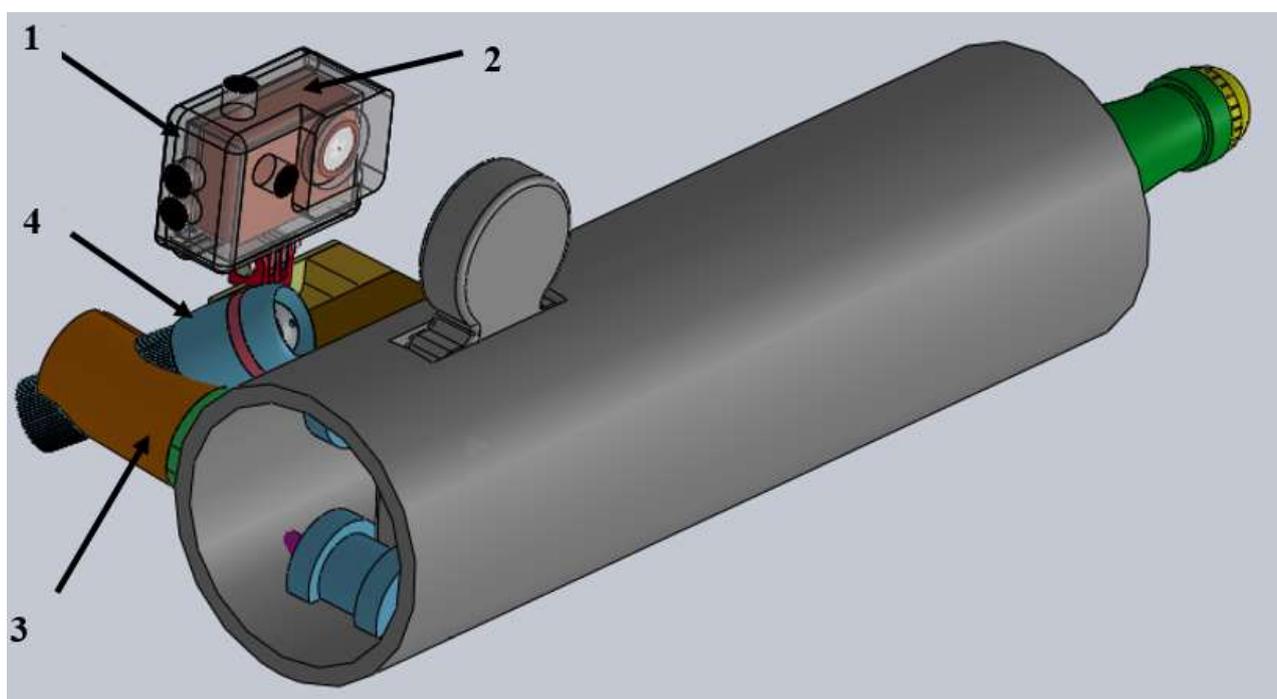


Рис. 26. Стенд с системой фиксации измерений (1 – защитный бокс камеры, 2 – камера, держатель, 3 – фонарик)

Перед изготовлением стенда была разработана сборочная модель в программе Solidworks. Благодаря этому устранены все недостатки конструкции и сборка стенда не вызвала затруднений. Основные детали стенда были изготовлены с помощью 3D-принтера [6] из ABS-пластика. Готовый стенд показан на рисунке 3.



Рис. 3. Готовый стенд

Экспериментальные исследования

Перед испытаниями была выполнена калибровка силомера с помощью емкости с водой. Цена деления силомера составила $k = 1.35 \text{ Н}$.

Перед испытаниями бутылка с Шампанским нагревалась в емкости с водой до температуры 40°C , что примерно соответствовало условиям, описанным в повести Некрасова. Бутылка помещалась в стенд, находящийся в горизонтальном положении. Затем включалась система измерения и бутылка открывалась. Видеокамера фиксировала отклонение стрелки силомера в различные моменты времени.

Для измерения усилия проведены 3 опыта. После покадрового просмотра видеозаписей заполнены таблицы по которым построены графики. Для сравнения результатов все полученные зависимости тягового усилия были построены в одной системе координат (рис. 4).

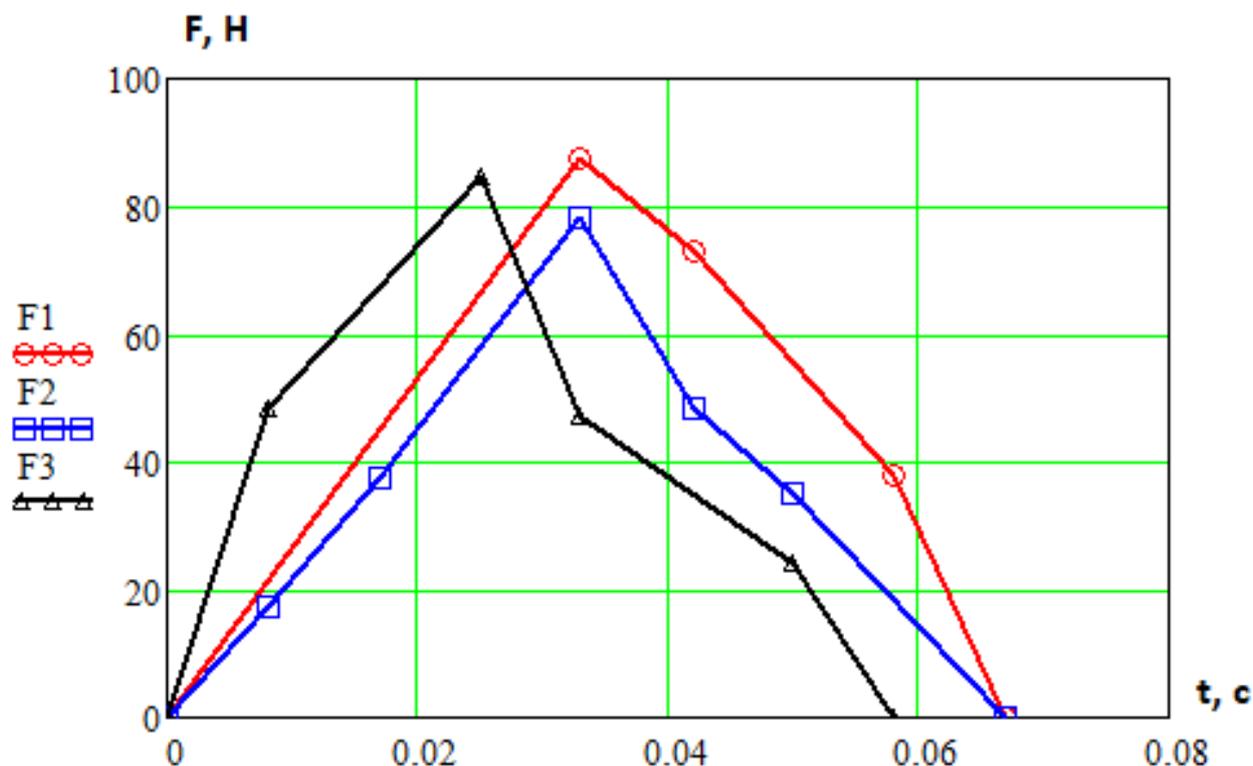


Рис. 4. Сравнение опытов

Сравнение результатов опытов показывает, что длительность импульса тягового усилия составляет $t_{\text{имп}} \approx 0,07\text{с}$, а максимальное тяговое усилие $F_m \approx 80\text{ Н}$.

Оценка возможности движения яхты с помощью ГЖРД

Сопrotивление воды движению судна не является постоянной величиной [7]. Каждый кто купался в воде замечал, что если вести рукой в воде медленно, то сопротивление воды почти не ощущается. Но стоит попытаться провести рукой быстро, так сразу становится ясно, что для этого требуется значительное усилие. Этот эффект имеет место для движения любого предмета в воде. Таким образом, чем больше скорость движения судна, тем большее сопротивление оказывает вода. В статье [7] приведена зависимость усилия сопротивления от скорости для яхты класса *Folkbot* [8]. Данная зависимость была приведена к размерам яхты «Беда». Рассчитанный для яхты «Беда» график усилия сопротивления воды показан на рис.5. График построен в программе *Mathcad*.

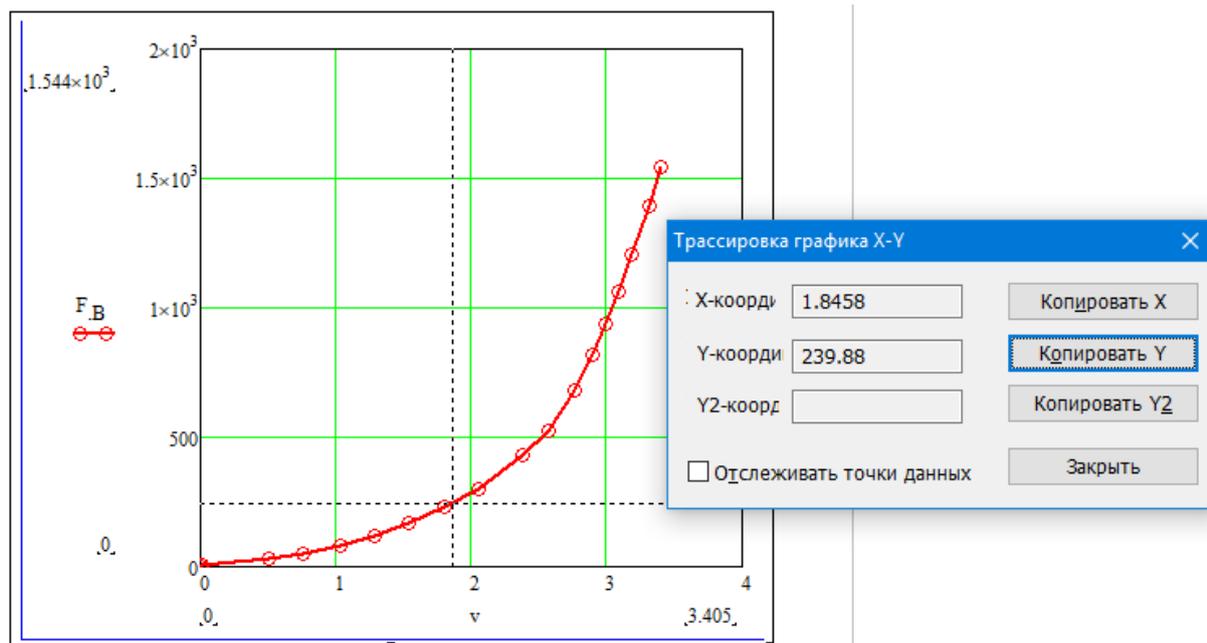


Рис. 5. Кривая полного сопротивления воды движению яхты «Беда»

На графике отмечена точка, соответствующая тяговому усилию, развиваемому тремя бутылкам с Шампанским $F = 240$ Н (согласно повести, бутылки открывали все 3 члена команды). Скорость яхты для данного усилия $V = 1,85$ м/с = 6,7 км/ч. Скорость эта не велика и, скорее, соответствует скорости пешехода, однако ее достаточно, чтобы вывести яхту из зоны штиля.

Выводы

Впервые с помощью физического эксперимента определено тяговое усилие, развиваемое бутылкой Шампанского при его открывании. Определена зависимость сопротивления движению яхты «Беда» от скорости. Рассчитана скорость движения яхты «Беда» при использовании трех газожидкостных реактивных двигателей. Она составляет 6,7 км/ч.

Заключение

Проведенные исследования позволяют утверждать, что случай описанный в повести Некрасова вполне мог произойти в реальности. Конечно, рассчитанная скорость не высока, но яхта вполне может на этой скорости выйти из зоны штиля. Таким образом, рабочая гипотеза подтверждена и задачи исследования решены. Однако еще одним важным вопросом является определение расхода

шампанского при движении, т.е. сколько бутылок необходимо открыть, чтобы яхта прошла заданное расстояние, например, 100м. Также важен вопрос об оптимальном наклоне бутылки по отношению к линии горизонта, поскольку при открывании бутылки в горизонтальном положении не все Шампанское из нее выходит. Ответы на эти вопросы будут даны при дальнейших исследованиях.

Список использованной литературы

1. Принцип реактивного движения ракеты [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rutvet.ru/princip-reaktivnogo-dvizheniya-rakety-10824.html> (27.03.2020)
2. Плюсы и минусы реактивного двигателя [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://plusimiusi.ru/plyusy-i-minusy-reaktivnogo-dvigatelya> (27.03.2020)
3. Гонки на воде: Катера с ракетными двигателями [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.popmech.ru/adrenalin/8187-gonki-na-vode-katera-s-raketnymi-dvigatelyami/> (27.03.2020)
4. Некрасов А.С. Приключения капитана Врунгеля // Пионер. – 1937. – №4 . С. 120 – 123.
5. Экшен-камера [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BA%D1%88%D0%B5%D0%BD-%D0%BA%D0%B0%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B0> (28.03.2020)
6. Васильев А.И. 3D-принтер PRUSA I3. Сборка, настройка, модернизация // Старт в науке. – 2018. – №5, Ч.8. – С. 1311 – 1319.
7. Якшаров П.С. Буксировочные испытания яхт // Катера и Яхты. – 1974. – №4 (50). С. 44 – 45.
8. Яхта-монотип «Фолькбот» [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://vodnyimir.ru/Yahta_monotip_Folkbot.html (29.03.2020)