

Д. А. Разумов

**О МЕТОДИКЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ОСОБЕННОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОНТОНА-ЗАГЛУШКИ
С НАБЕГАЮЩИМ ПОТОКОМ ЖИДКОСТИ**

Волгоградский государственный технический университет
razumoff.dmitriy@yandex.ru

Рассматривается задача глушения подводных аварийных скважин углеводородов методом установления заглушки с помощью робототехнического комплекса на основе якорно-тросовых движителей. Разработан проект экспериментальной установки, позволяющей определить усилие, действующее на заглушку в зависимости от ее расположения относительно скважины. Предложена аналитическая зависимость величин усилия от расстояния между заглушкой и скважиной и ее угловым положением относительно оси скважины. Описана методика проведения эксперимента и алгоритм обработки экспериментальных данных.

Ключевые слова: аварийная скважина углеводородов, глушение, заглушка, усилие, якорно-тросовые движители.

D. A. Razumov

**ON THE METHODOLOGY OF EXPERIMENTAL RESEARCH FEATURES
OF THE FLOW-PLUG INTERACTION WITH AN INCOMING FLOW OF LIQUID**

Volgograd State Technical University

The problem of jamming underwater emergency wells of hydrocarbons by installing a plug using a robotic complex based on anchor-cable thrusters is considered. A design of an experimental installation has been developed to determine the force acting on the plug, depending on its location relative to the well. An analytical dependence of the force values on the distance between the plug and the well and its angular position relative to the axis of the well is proposed. The method of conducting the experiment and the algorithm for processing experimental data are described.

Keywords: emergency well of hydrocarbons, jamming, plug, force, anchor-cable thrusters.

Введение

Одна из характерных тенденций в проблеме добычи нефтепродуктов состоит в разработке подводных месторождений углеводородов. Од-

новременно возникает необходимость в разработке методов аварийного глушения скважин [1, 2]. Эта проблема решалась различными способами [3–5], в частности, методом установки

заглушки на ее устье с помощью якорно-тросовых движителей [6]. Якорно-тросовые движители рассматривались при изучении движения роботов-понтонных с небольшой положительной плавучестью при перемещении по дну водоема [7–9]. Могут они применяться и для подтягивания понтона-заглушки к устью скважины [6]. Однако для корректного расчета мест установки якорей и их количества; усилий, развиваемых приводами изменения длины тросов; изучения устойчивости движущейся заглушки необходимо иметь статическую зависимость усилия, действующего на заглушку со стороны струи углеводородов в зависимости от взаимного расположения устья скважины и заглушки, как твердого тела.

Описание лабораторной установки

Разработанная лабораторная установка включает в себя несколько объектов (рис. 1):

1) емкость-водоем с плоскими боковыми поверхностями, заполненная водой. На одной боковой поверхности нанесена координатная сетка;

2) маятник, состоящий из твердого тела в форме шара, имеющего возможность перекачиваться по боковой поверхности емкости. Твердое тело маятника крепится на оси к тонкому стержню AB длиной l , другой конец которого закреплен шарнирно в точке O , на борту емкости;

3) шланг, из которого вертикально вверх извергается жидкость. Давление жидкости создается насосом.

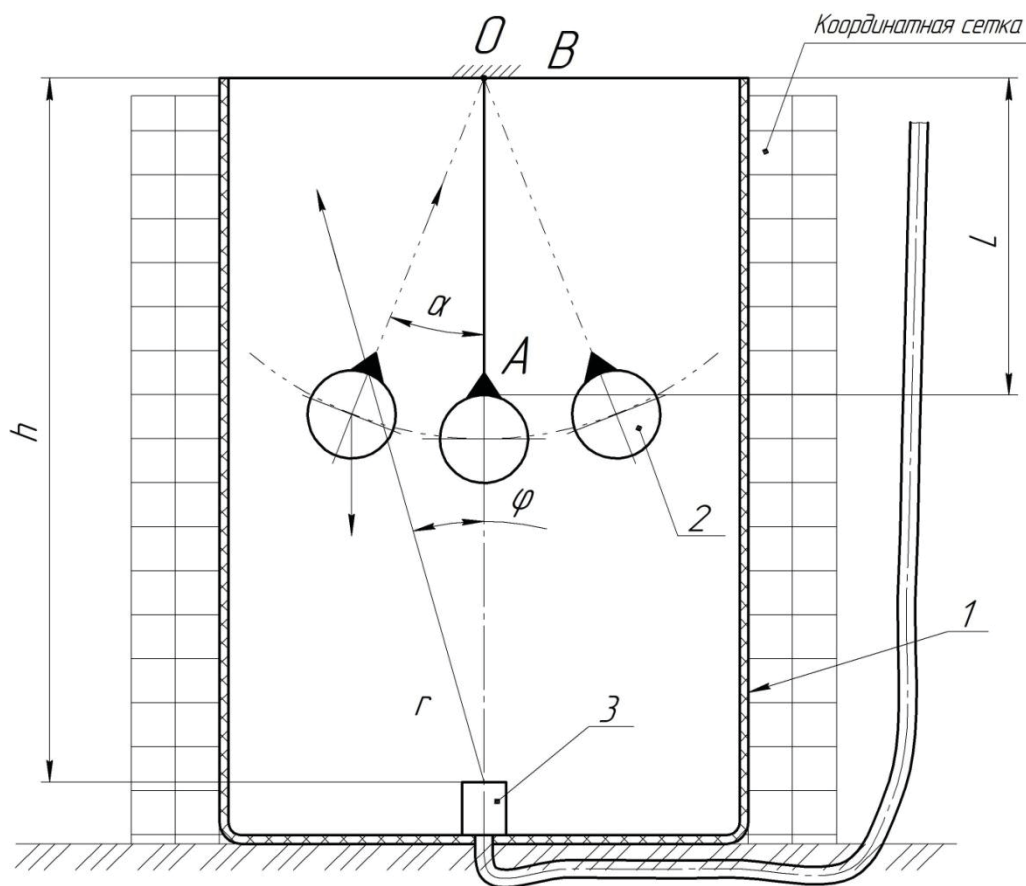


Рис. 1. Схема лабораторной установки:
1 – емкость-водоем; 2 – маятник; 3 – шланг

Математическая модель динамики движения рассматриваемого маятника

Расчетная схема рассматриваемой механической системы отличается от схемы экспериментальной установки тем, что твердое тело маятника заменяется материальной точкой той же массы m (рис. 2).

Тогда, предполагая, что сила сопротивления движению материальной точки линейно зависит от скорости, дифференциальное уравнение движения маятника примет вид

$$ml^2\ddot{\alpha} = -mgl \sin \alpha + F(\varphi, r)l \sin(\alpha + \varphi) - \mu \dot{\alpha} l, \quad (1)$$

где μ – коэффициент линейного сопротивления жидкости.

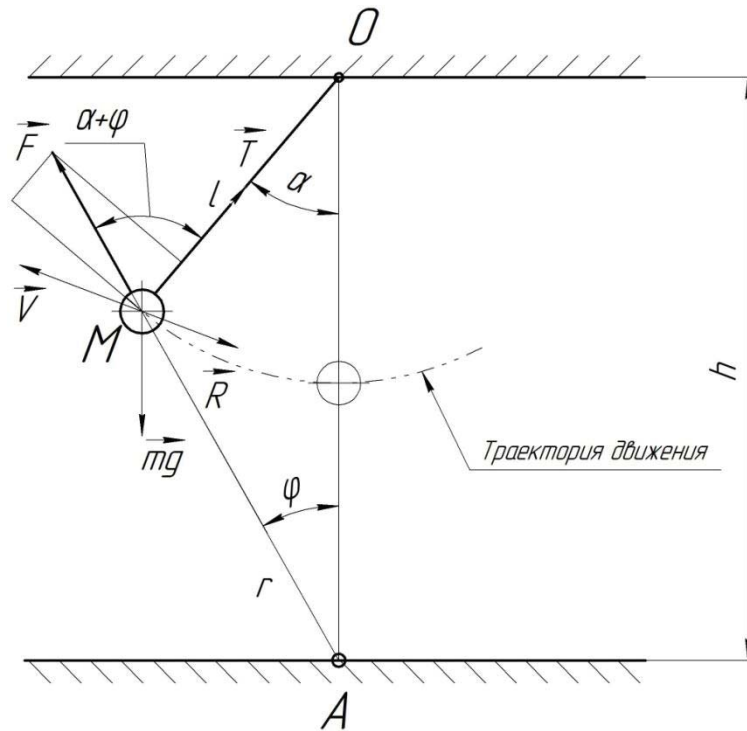


Рис. 2. Расчетная схема:

F – сила, действующая со стороны струи из наконечника шланга; R – сила сопротивления вязкого движения; V – скорость движения маятника; T – сила натяжения троса; mg – сила тяжести; l – длина троса; α – угол отклонения маятника от вертикальной оси; φ – угол между струей из наконечника шланга и маятником; r – расстояние от наконечника шланга до маятника; h – расстояние от наконечника шланга до точки крепления маятника

Уравнение (1) дополняется геометрическими соотношениями, вытекающими из рассмотрения треугольника OMA . В частности,

$$\begin{cases} \frac{r}{\sin \alpha} = \frac{l}{\sin \varphi} = \frac{h}{\sin(\varphi + \alpha)} \\ r \cos \varphi + l \cos \alpha = h \end{cases} \quad (2)$$

Уравнение (1) с учетом уравнения (2) удобно привести к форме:

$$\ddot{\alpha} + \frac{\mu}{ml} \dot{\alpha} + \frac{1}{l} \left(g - \frac{F h}{m r} \right) \sin \alpha = 0. \quad (3)$$

В уравнении (3), исходя из соотношений (2), силу потока F следует считать зависящей от угла α .

$$\sin \varphi = \frac{l}{r} \sin \alpha. \quad (4)$$

При малых φ и α уравнения (3) и (4) упрощаются:

$$\ddot{\alpha} + \frac{\mu}{ml} \dot{\alpha} + \frac{1}{l} \left(g - \frac{F h}{m r} \right) \alpha = 0, \quad (5)$$

а сила F представляется зависящей от r и α .

Таким образом, при идентифицированном значении угла α можно определить силу F как функцию времени.

Если рассчитывать силу F как функцию r , φ или r , α [6]

$$F = \frac{P_0}{r^2} e^{-\chi \alpha^2} = \frac{P_0}{r^2} e^{-\chi \frac{l^2}{r^2} \varphi^2}, \quad (6)$$

то из эксперимента следует определить два параметра: χ и P_0 . При определении P_0 считается, что угол α малый и поэтому $r = \text{const}$, тогда:

$$F \approx \frac{P_0}{r^2}, \quad (7)$$

а из уравнения (5) следует, что период колебаний маятника τ равен

$$\tau = \frac{2\pi}{\sqrt{g - \frac{F h}{m r l}}}. \quad (8)$$

Откуда, с учетом (7),

$$P_0 = \frac{m r^2}{h} \left[g - \frac{4\pi^2}{\tau^2} (h - r) \right]. \quad (9)$$

Таким образом, для определения P_0 следует проводить серию экспериментов при известных постоянных параметрах h , m , варьируемой величины r и измеряемой τ .

Для определения параметра χ следует учитывать, что уравнение (5) существенно схема-

тизировано и описывает такое явление, как дивергенцию [10]. Суть его состоит в том, что положение равновесия маятника при $\alpha = 0$ становится неустойчивым, но имеет место новое положение равновесия при $\alpha = \alpha_x \neq 0$.

Это достигается при

$$F = \frac{P_0}{r^2} e^{-\chi \alpha^2} = \frac{mgr}{h}. \quad (10)$$

Определяя это новое положение равновесия α_x при известных P_0, r, h и m , можно найти χ :

$$\chi = \frac{\ln \frac{hP_0}{gmr^2}}{\alpha_x^2}. \quad (11)$$

Следовательно, для определения χ необходимо провести серию экспериментов при известных параметрах P_0 и h , варьируемой величины r и измеряемой α_x .

Заключение

1. Разработаны основы методики проведения экспериментальных исследований для идентификации усилия, действующего на понтон-заглушку со стороны потока жидкости из аварийной скважины углеводородов.

2. Использован известный эффект неустойчивости движения заглушки, представляющий собой монотонное возрастание ее колебаний от естественного состояния равновесия к новому, для определения параметров аналитической зависимости усилия от положения заглушки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Журавель, В. И. Аварийность на морских скважинах. Современное состояние количественной оценки рисков возможных выбросов / В. И. Журавель, И. В. Журавель // Oil and Gas Journal Russia. – 2013. – № 12.

2. Марков, О. В. Подводное противовыбросовое оборудование и особенности управления скважиной на море : Учебное пособие / О. И. Марков, В. М. Подгорнов, В. И. Исаев. – М.: РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2009. – 94 с.

3. Большой справочник инженера нефтегазодобычи. Бурение и заканчивание скважин : пер. с англ. / под ред. У. Лайонза, Г. Плизга. – СПб. : Профессия, 2009. – 628 с.

4. Басарыгин, Ю. М. Заканчивание скважин : учеб. пособие / Ю. М. Басарыгин. – М. : Недра, 2000. – 670 с.

5. Калинин, А. Г. Бурение нефтяных и газовых скважин : Учебник / А. Г. Калинин. – М. : ЦентрЛитНефтеГаз, 2008. – 848 с.

6. Управление движением подводного мобильного робота с якорно-тросовыми движителями / Е. С. Брискин, Н. Г. Шаронов, В. А. Серов, И. С. Пеньшин // Робототехника и техническая кибернетика. – 2018. – № 2(19). – С. 39–45.

7. Определение усилий в движителях якорно-тросового типа / Е. С. Брискин, И. С. Пеньшин, Л. Д. Смирная, Н. Г. Шаронов // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 14 (209) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2017. – С. 87–90.

8. Пеньшин, И. С. Об управлении роботов-понтонных с якорно-тросовыми движителями / И. С. Пеньшин, Е. С. Брискин // XVI Всероссийская мультиконференция по проблемам управления (МКПУ-2023) : Материалы мультиконференции : в 4 т. Волгоград, 11–15 сентября 2023 года / редкол.: И. А. Каляев, В. Г. Пешехонов, С. Ю. Желтов [и др.]. Т. 1. – Волгоград : Волгоградский государственный технический университет, 2023. – С. 201–203.

9. Гулевский, В. В. Управление ориентацией гусеничной цепи мобильных роботов с якорно-тросово-гусеничными движителями / В. В. Гулевский, Е. С. Брискин // XVI Всероссийская мультиконференция по проблемам управления (МКПУ-2023) : Материалы мультиконференции : в 4 т. Волгоград, 11–15 сентября 2023 года / редкол.: И. А. Каляев, В. Г. Пешехонов, С. Ю. Желтов [и др.]. Т. 1. – Волгоград : Волгоградский государственный технический университет, 2023. – С. 145–148.

10. Пановко, Я. Г. Основы прикладной теории колебаний удара / Я. Г. Пановко. – Ленинград : Машиностроение, 1976. – 320 с.