

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАПОЛНЕНИЯ НЕФТЬЮ КУПОЛА-СЕПАРАТОРА****Кильдибаева С.Р.****научный руководитель д-р физ.-мат. наук Гималтдинов И. К.*****Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета***

В связи с непрерывной разработкой нефтяных и газовых месторождений, запасы материковых залежей значительно уменьшились, что способствовало поиску альтернативных источников добычи энергоресурсов. В рамках современного научно-технологического прогресса, объемов потребления и использования нефти в качестве энергетического ресурса, найти ему замену невозможно. Вследствие этого, большое внимание уделяется поиску новых месторождений. Безусловно, наиболее актуальной на данный момент является разработка газовых и нефтяных месторождений в шельфовой зоне океанов.

Интенсивная разработка месторождений в шельфовой зоне ставит новую проблему – найти эффективный способ для ликвидации последствий техногенных аварий, вызванных разработкой шельфа.

Один из возможных вариантов устранения аварий такого рода рассматривается в этой статье. На рис.2 приводится схема купола-сепаратора и процесс его установки. Купол предназначен для установки непосредственно над местом утечки углеводородов из скважины с последующей эвакуацией нефти и газа через трубки для безопасного хранения.

Пусть на дне океана имеется осесимметричный источник (радиуса  $R$ ) утечки углеводородной смеси (нефть и газ) с известным объемным дебитом нефти  $Q_o$ , и газа  $Q_g$  и температурой  $T_e$ . Известны также теплофизические параметры окружающей среды и вытекающей смеси. Согласно предлагаемой технологии устранения аварий, к месту утечки смеси опускается купол из мягкого полиуретана и устанавливается строго над источником на высоте  $h_0$  от дна.

Процесс установки купола происходит в несколько этапов (рис. 1). С поверхности океана, непосредственно над местом аварии (фрагмент а), опускается купол в собранном виде. На некоторой высоте  $h_0$  от дна океана купол раскрывается и в открытую нижнюю часть купола с уже остывшей водой устремляется струя углеводородов (фрагмент б).

На фрагменте с) показан момент, когда купол установлен на дне океана с помощью якорей и канатов, снизу внутрь купола поступает струя из источника и выходит из верхней части купола. Отметим, что по мере распространения струи, в океане происходит захват окружающей воды струей. С увеличением координаты  $z$  струя расширяется [1] При определенных термобарических условиях возможно образование газовых гидратов, которые продолжают двигаться вместе со струей. Затем верхняя часть купола закрывается, и смесь углеводородов начинает скапливаться внутри купола.

Будем полагать, что объем купола достаточно большой и многофазная струя по мере поступления естественным образом сепарируется, и с течением времени внутри купола будет происходить расслоение флюидов. На данном этапе верхняя часть купола закрывается, и накопление углеводородной смеси происходит внутри купола. (В первом приближении принимаем, что откачка нефти через трубку (рис. 2) не происходит, а рассматривается только накопление нефти и гидрата внутри купола).

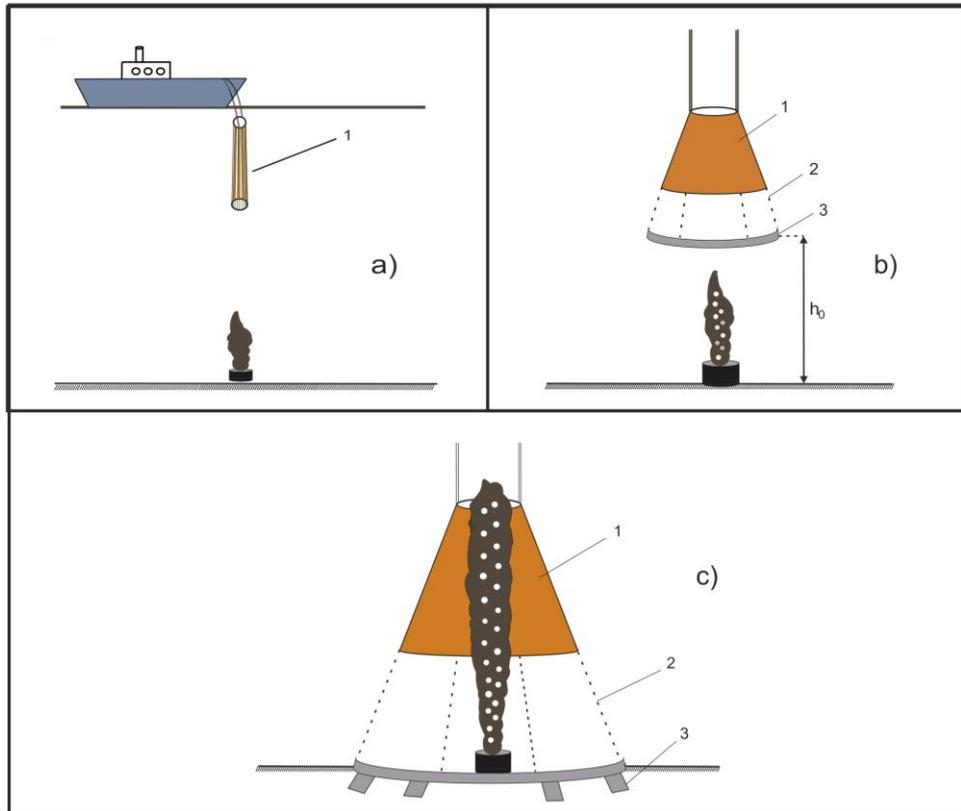


Рис. 1 Процесс установки купола-сепаратора.

1: оболочка купола, 2: тросы, 3: якорь фиксаторы

Введем координатную ось  $OZ$  (рис.2). Будем полагать, что нефть и гидрат расслаиваются и накапливаются в области под куполом.

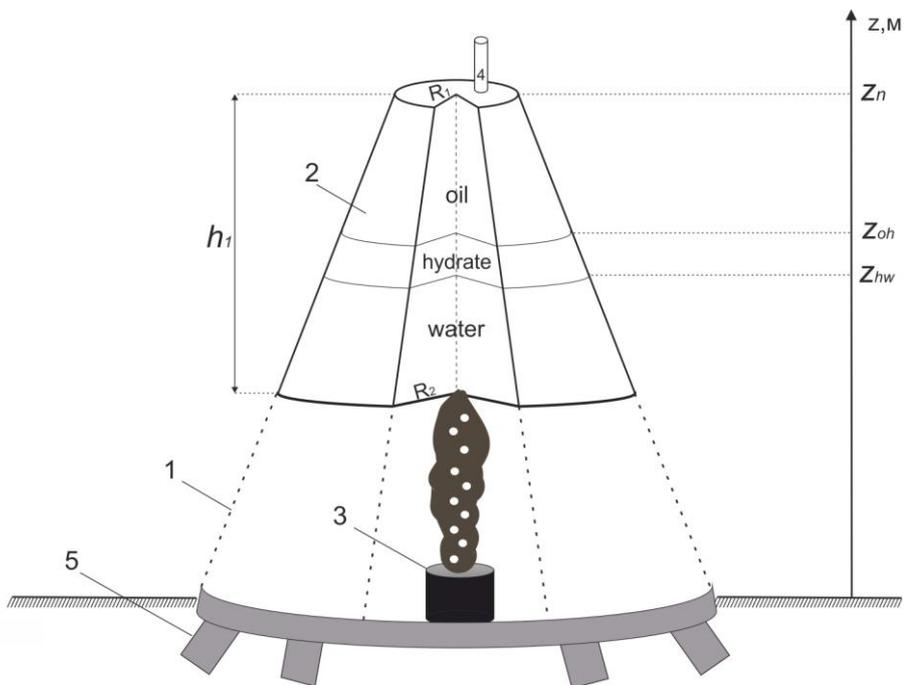


рис.2 Принципиальная схема купола-сепаратора: 1 –тросы, 2 - оболочка купола, 3 –трубка, через которую поступают нефть и газ, 4 – трубка для откачки нефти, 5 фиксаторы

Полагаем, что нефть накапливается на участке  $z_{oh} < z < z_n$ , гидрат на участке  $z_{hw} < z < z_{oh}$ . Здесь  $z_{oh}$  - координата раздела нефти и гидрата,  $z_{hw}$  - координата раздела гидрата и воды,  $h_o$ ,  $h_h$  - высоты нефти и гидрата. Полагается, что нефть и гидрат расслаиваются под куполом под действием силы Архимеда и слои нефти и гидрата распределяются как на рис. 2.

Законы сохранения для масс продуктов можно представить в следующем виде:

$$\frac{dM_o}{dt} = m_o^{(0)}, \quad \frac{dM_h}{dt} = \frac{m_g^{(0)}}{G} \quad (1)$$

здесь  $M_j$  – масса j-го компонента смеси в куполе,  $m_k^{(0)}$  – начальный массовый расход k-го компонента, нижние индексы o, g, h относятся соответственно к нефти (oil) газу (gas) и гидрату (hydrate).

Для определения средней температуры фаз газа и нефти воспользуемся законом сохранения энергии. Запишем законы сохранения для нефти и газа:

$$\frac{dQ_0}{dt} = - \int_{z_{oh}}^{z_{go}} 2\pi R \sqrt{1+R'^2} q_o^{(e)} dz + m_o^+ c_o T_e \quad (2)$$

Здесь  $q_o^{(e)}$  – поток тепла от фазы нефти в окружающую воду через боковую стенку купола,  $T_e$  – температура поступающей из скважины смеси. Для уравнения (2): первое слагаемое характеризует тепло, уходящее через стенку купола, второе слагаемое – тепло, приходящее от смеси, поступающей из скважины.

Задача решалась при следующих параметрах: температура окружающей среды  $T_w=277\text{K}$ , температура вытекающей смеси  $T_e=353\text{K}$ ,  $c_o = 1670 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ ,  $c_w = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ ,  $\lambda_o = 0,12 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$ ,  $\lambda_w = 0,55 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$ ,  $\lambda_p = 0,25 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$ ,  $\delta = 0,005 \text{ м}$ . Параметры купола полагались равными: радиус скважины  $R_0 = 0,85 \text{ м}$ , радиус верхнего основания купола  $R_1 = 3 \text{ м}$ , радиус нижнего основания  $R_1 = 26 \text{ м}$ , высота купола  $h_1 = 14 \text{ м}$ , высота установки купола  $h_0 = 10 \text{ м}$ .

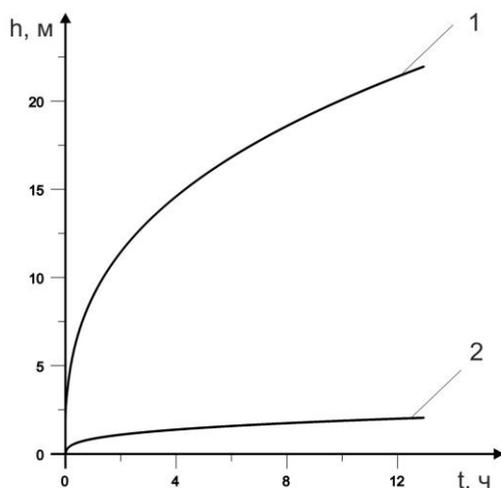


Рис. 3. График зависимости высоты j-ой фазы с течением времени  
1:  $h_o(t)$ , 2:  $h_h(t)$ .

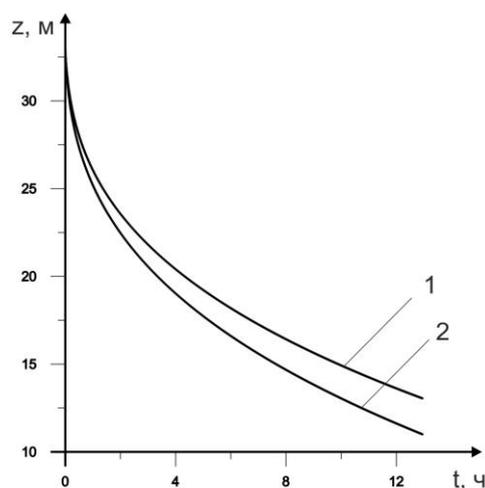


Рис. 4. Зависимость координаты z от j-ой фазы с течением времени  
1:  $z_{oh}(t)$ , 2:  $z_{hw}(t)$ .

Список литературы

1. Абрамович Г.Н. Теория турбулентных струй / Г.Н. Абрамович / Репринтное воспроизведение издания 1960 г. – М.:ЭКОЛИТ, 2011 – 720 с.