

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).

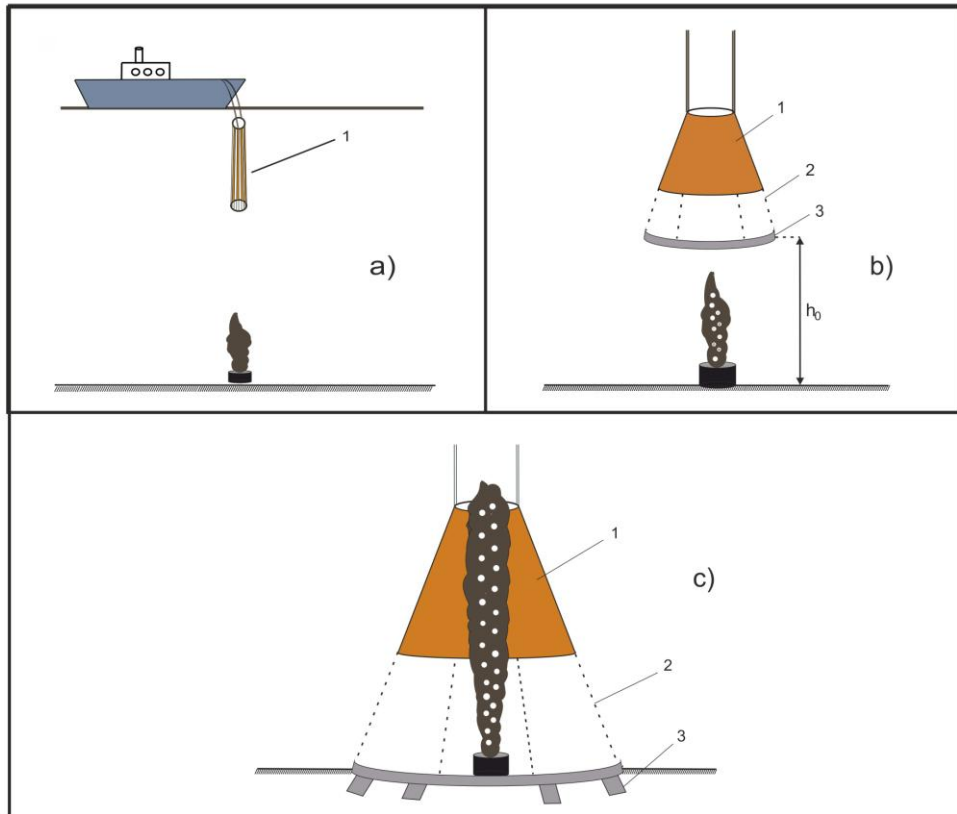


Рис. 1 Процесс установки купола-сепаратора.

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.

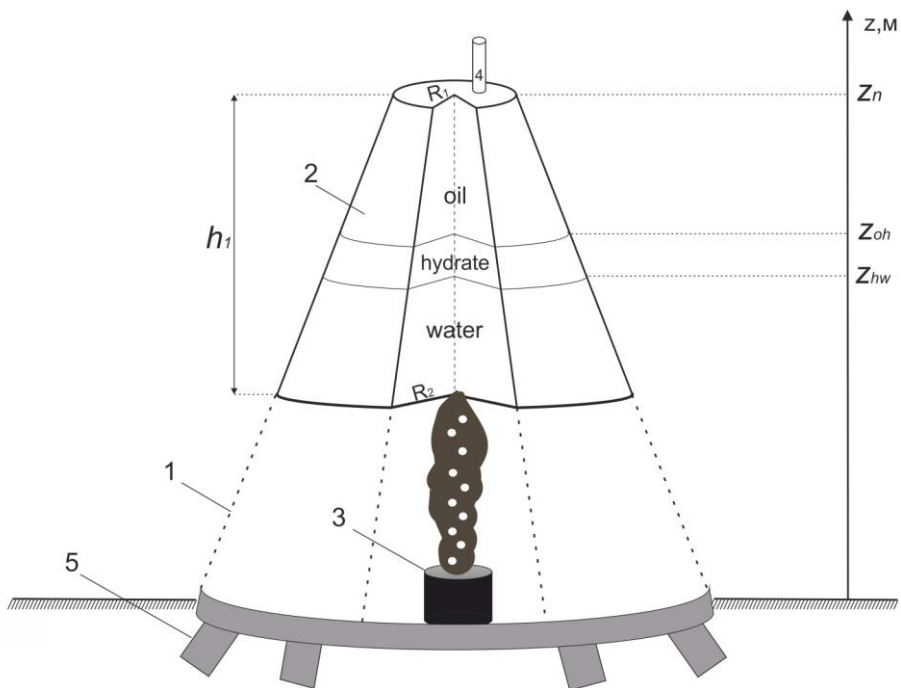


рис.2 Принципиальная схема купола-сепаратора: 1 – тросы, 2 – оболочка купола, 3 – трубка, через которую поступают нефть и газ, 4 – трубка для откачки нефти, 5 фиксаторы

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 $h_0 = 10 \text{ м}$.

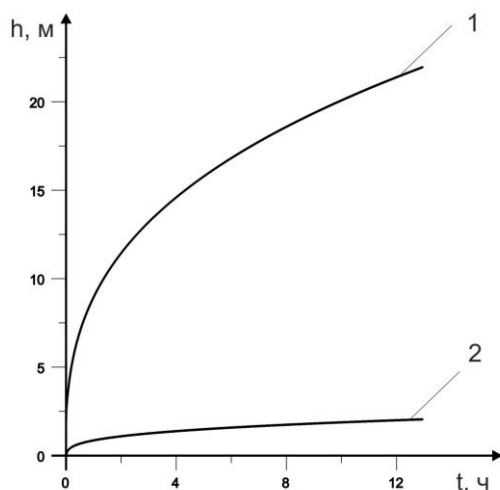


Рис. 3. График зависимости высоты j-ой фазы с течением времени
1: $h_o(t)$, 2: $h_h(t)$.

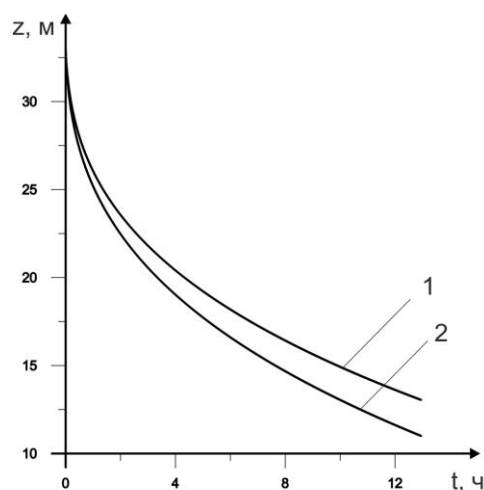


Рис. 4. Зависимость координаты z от j-ой фазы с течением времени
1: $z_{oh}(t)$, 2: $z_{hw}(t)$.

Список литературы

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