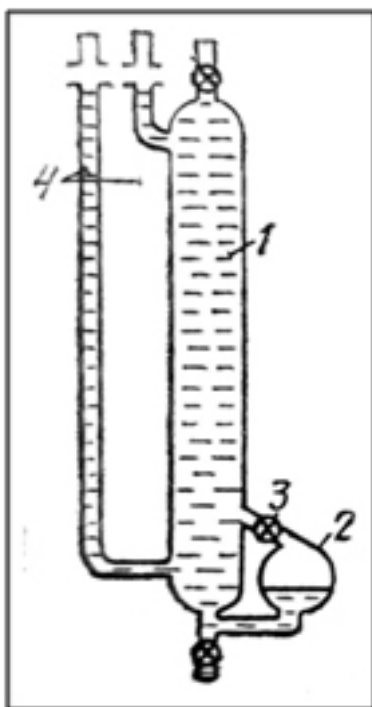


Введение

Извержение вулкана является процессом продуцирования на поверхность вещества недр Земли. Полагается, что механизм извержения требует превышение литостатического давления и на глубине в очаге магмы. В недрах газонасыщенный (растворенный) силикатный расплав преобразуется в газосодержащий (часть газа переходит в свободную фазу) и становится обладателем свойства газожидкостного течения – газлифтом.

В статье описан эксперимент, поясняющий природу газлифта, на примере подъема воды в канале. Подобный опыт, предложенный в статье [4], описан как «флюидный» механизм повышения давления в вулканических (магматических) системах.

**Эксперимент Г.С. Штейнберга о «флюидном» механизме**

На рис. 1 представлена схема одной (из двух) экспериментальных установок [4] для регистрации изменения давления при подъеме газовых пузырей. Авторы полагали, что газовый пузырь при всплывании не может увеличить объем в замкнутом рабочем канале, а должен увеличить давление на ρgh , где h – высота подъема пузыря (от вентиля 3 до крыши цилиндра 1). В статье и в дальнейших публикациях авторы не приводят экспериментальные данные, доказывающие это положение.

Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

1 – рабочий канал подъема пузырей (стеклянный цилиндр диаметром 30мм и высотой 500мм)

2 –сосуд с газом

3 – вентиль впуска газа в канал

4 – манометрические трубки (диаметром 1мм)

Конструкция эксперимента

Установка изготовлена из рукава ПВХ (поливинилхлорид материал, относящийся к группе термопластов) диаметром 12,5 мм длиной 15 м. Рукав разделен на три части: на 12 м и две по 1,5 м. С помощью крестовины они были соединены, как показано на рис. 2. Длинный вертикальный канал 12 м (отсчёт от низа крестовины) в центр и к ней на уровне 120 см прикреплены верхние концы левого и правого канала, закрытые пробками.

Система заполнялась через верх центрального канала водой. В левом и правом рукавах образуются газовые полости. В правом рукаве газовая полость используется как датчик давления.

Эксперимент о всплывании газовой полости выполняется в двух вариантах: когда центральный канал открыт или закрыт. Перед началом эксперимента при первом варианте уровень в центральном канале не максимален; он ниже среза приблизительно на двух кратную длину воздуха, так как увеличится при изменении (\approx от 2 до 1 атм). Во втором варианте центральный канал заполнен полностью и закрыт пробкой.

Начало эксперимента начинается с открепления верха левого канала и перемещения его (бросается) ниже крестовины, чтобы воздух проходил через неё в центральный канал. После (уже без воздуха) левый канал возвращается на исходное положение).



Рис. 2. Монтаж трёх рукавов на крестовине.

Регистрация начинается с запуска секундомера. Изображения секундомера в поле кадра видеокамер проводится для синхронизации видео камер: 1) внизу для кадров прохода газовой полости в центральном канале и за изменением уровня в правом канале, 2) вверху – изменение уровня воды и 3) в середине – проход газовой полости в центральном канале. Точность секундомера 0,01 с. В кадрах avi фильмах дискретность составляет 0,04 с.

Регистрация уровней определяется по изображениям кадров в программе Photoshop CS3. Для масштаба в поле кадра организована вертикальная мерная линейка с делением 1 см. В разных кадрах (разные углы зрения, расстояния), точность уровня составляет 0,5 см.

На последующих графиках время отсчитывается от момента, когда газ поступает в крестовину.

Датчик давления

Система, заполняемая водой через верх центрального канала, когда уровень воды в центральном канале достигает верха крестовины, отсекается воздух от атмосферы в правом и левом каналах.

Газовая полость в правом канале заперта при атмосфере при L_0 длине, а при рабочем давлении уменьшается до длины (от крестовины) h . Так при давлении над крестовиной в центре равно $H=11\text{ м H}_2\text{O}$, а в правом, сообщающемся канале, давление равно $1,20 \cdot h$, а $h=0,75\text{ м}$. По закону Бойля-Мариотта давление связано с объёмом. Полагая, что атмосферное давление равно $9,81\text{ м H}_2\text{O}$, получим длину газовой полости в правом канале, запертой при атмосфере

$$L_0 = (1,20 - 0,75)(9,81 + 11 - 0,75) / 9,81\text{ м} = 0,92\text{ м}$$

При той же массе газовой полости ($L_0 = \text{const}$) на рис. 3 представлен рассчитанный тарированный график: h - высота низа газовой полости над крестовиной в правом канале, от H - высоты уровня жидкости в центральном канале.

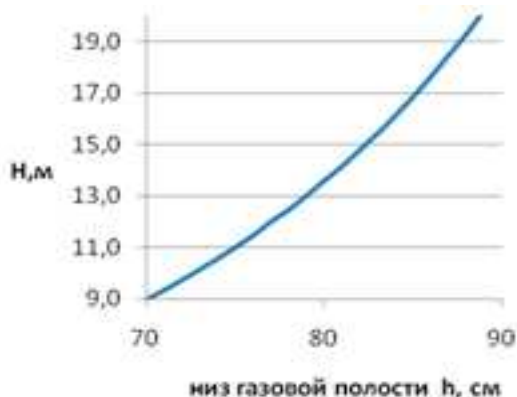


График нелинейный: при точности 0,5 см уровня газа давление в крестовине определяется с точностью $43/2\text{ см}$ (0,02 атм) при высоте 11 м, или $66/2\text{ см}$ (0,03 атм) при высоте 15 м. Точность определения давления по графику порядка 2 % от измеряемого значения.

Рис. 3. Тарированный график

В эксперименте этот график расчётный. Заметим, что из-за эластичности диаметр полиэтиленовых трубок зависит от давления и не постоянен.

Эксперимент № 1

Всплытие пузырька газа в воде известно потому, что газ легче воды и выталкивается по закону Архимеда. Этот подъём используется во флотации. Также в нашем эксперименте № 1 газовая полость всплывает по открытому центральному каналу. Одиночная газовая полость, всплывая по центральному каналу, разделяет воду надвигаемую выше полости и на спокойную на ниже полости. Часть воды стекает по стенке, обтекая полость. В картине всплытия в длинном канале легко заметить, что объём (длина) газовой полости увеличивается. Это увеличение из-за того, что давление газа по мере подъёма уменьшается и газ расширяется. На рис. 4 видно, что уровень воды (синяя линия) в центральном канале увеличивается от 11 до 12 м.

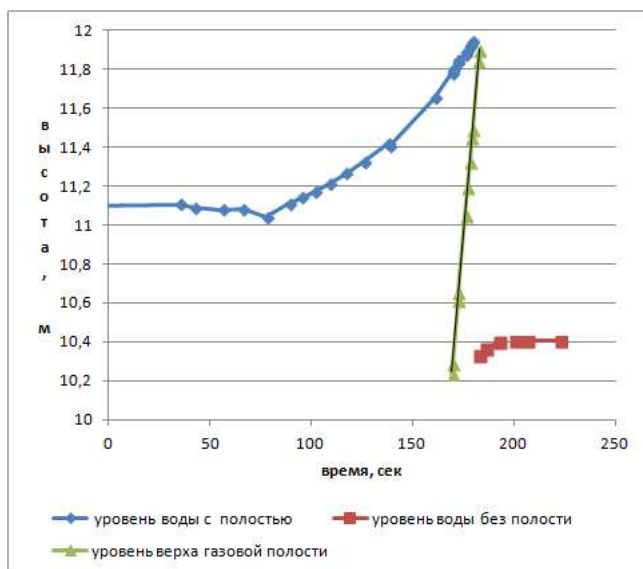


Рис. 4. Уровни в верхней камере.

Высота уровня воды в канале увеличивается, а объём (длина столба) двигаемой воды уменьшается. Столб двигаемой жидкости уменьшается от 11 м от крестовины до нуля (точка совпадение синей и зелёной линий).

Зелёная линия - уровень низа газовой полости, когда появляется в кадре верхней камеры. Максимальная длина газовой полости составляет $12 - 10,3 = 1,7$ м.

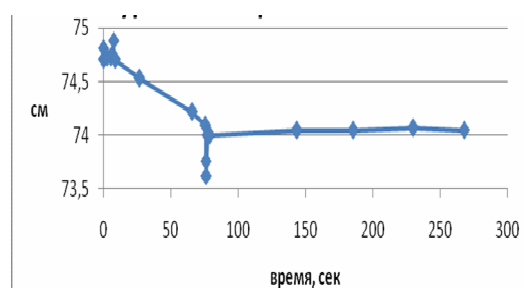


Рис. 5. Изменение уровня жидкости в правом канале

В течение эксперимента уровень жидкости в правом канале постоянен и равен 74 см (рис. 5). Уровень воды в центральном канале в эксперименте с 11,1 м в начале (синяя линия) увеличивался до 11,9 м и падал до 10,4 м (красная линия). Это уменьшение происходит замещением газовой полости до эксперимента в левом канале жидкостью.

Слово газлифт связывают со **способом** подъёма жидкости газом под давлением. Графики демонстрируют газлифт, как **свойство** - подъём газом при газожидкостном течении (в вертикальном канале) из-за разности плотностей и из-за разности сжимаемости газа и воды.

Длину газовой полости можно рассчитать через уравнения линий тренда рис. 6 (например, в точке 5 сек) и составляет 78 см.

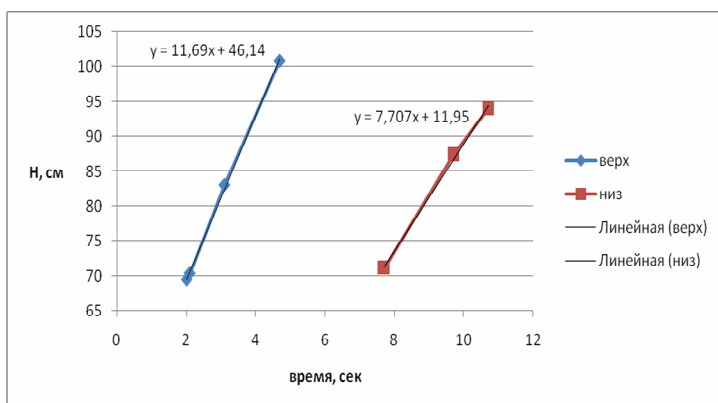


Рис. 6. Изменение границ верха и низа газовой полости у крестовины (нижняя камера).

Эксперимент №2

В эксперименте № 2 заполнен центральный канал полностью и закрыт. Длина газовой полости 124 см стала в конце эксперимента.

На рис. 7 представлен график изменения уровня в правом канале при всплывании газовой полости по центральному каналу. В течении около 100 с уровень увеличивается до 83,5 см, что указывает на рост давления.

График рис. 3 показывает, что давление от атмосферного увеличилось от 11 м до 16 м воды в центральном канале. Давление стало существенно больше атмосферного. Но увеличилось меньше, чем по представлению [4] где давление должно было быть порядка 20 м (возможно меньше из-за эластичности канала).

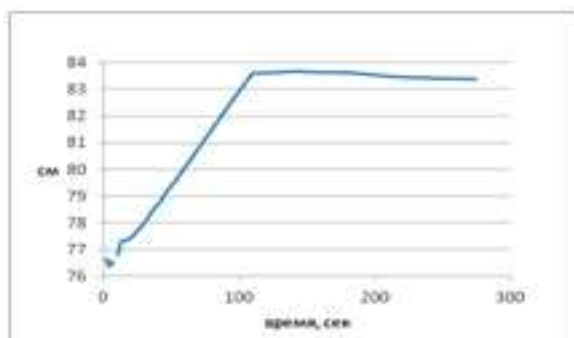


Рис. 7. Увеличение давления в правом канале. Эксперимент № 2

Выводы

Движение тела в среде другой плотности общеизвестно, например как формула Стокса. Можно представить, что газовая полость, как поршень будет поднимать воду в канале [3]. Как показывает эксперимент № 1 надо учитывать обтекание при подъёме газовой полости в более плотной среде. Эксперимент № 2 показывает, что надо учитывать, что газ существенно зависит от давления

1. Эксперимент поясняет природу газлифта, использованный в конце XIX веке: в двухфазном течении. Надо учитывать разности плотностей и сжимаемости фаз; а в течениях увеличение **объёмного содержания количества газа**.
2. При всплывании в открытом канале давление на входе постоянно (если длина канала достаточна), При всплывании в закрытом канале давление **увеличивается** (во всём канале).
3. **Нет необходимых внешних сил** для триггера (начала) и процесса извержения. Декомпрессия создаётся газом из раствора, переходящего его в свободную фазу.
4. Механизм извержения вулкана является процессом самовозбуждения подобно как в геотермальной скважине [1, 2].

Список литературы

1. Дрознин В.А. Физика вулканического процесса. М.: Наука. 1980. 92 с.
2. Дрознин В.А. Механика извержений // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Шестая научно-техническая конференция. 2017. Петропавловск-Камчатский: КФ ФИЦ ЕГС РАН. С. 262-267/
<http://emsd.ru/conf2017lib/pdf/model/droznin.pdf>
3. Нечаев А.М. От гейзера к вулкану: об универсальном механизму извержения и его верификации // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Шестая научно-техническая конференция. Петропавловск-Камчатский: КФ ФИЦ ЕГС РАН. 2017 . С. 300-304.
4. Штейнберг Г.С., Штейнберг А.С., Мержанов А.Г. Флюидный механизм подъёма давления в вулканических (магматических) системах. ДАН. Т. 279. № 5. 1984. С. 1081-1086.