

## **Анализ математической модели экологических последствий подземного хранения водорода**

---

**Белоусова О.А., Купрыгин В.В.**

*Уральский федеральный университет, Мира, 28, Екатеринбург. Факс: 8(343)-375-4450; тел: 8 (343)-375-44-50; E-mail: Dverka\_06@yahoo.com*

Подземное хранение водорода рассматривается как наименее дорогой способ хранения больших объемов газа. Водород рассматривается так же, как носитель электроэнергии, способный заменить в отдельных странах почти 60 % природного газа, используемого в непромышленной деятельности. В связи с этим неизбежно ставится вопрос о необходимости хранения больших объемов водорода. Выявлено, что изотопный анализ части добываемого из хранилища метана отличен от метана закачиваемого, то есть имеются внутрипластовые генераторы метана. Существует механизм естественной генерации метана в хранилище. Наблюдается естественная сепарация различных химических веществ (водорода и метана) в пространстве. То есть речь идет о некоем естественном реакторе, аннигилирующем углекислый газ и частично водород и удваивающем массу метана. Проблема имеет промышленное значение, затрагивая как энергетику, так и экологию.

---

### **Введение**

Возобновляемые источники энергии и среди них водородная энергетика рассматриваются в последнее время как один из существенных способов компенсации ожидаемого постепенного снижения мировой добычи нефти. Его практическое использование оправдано как технологически – высокая калорийность, эффективные способы транспорта, неограниченные ресурсы, так и экологически – отсутствие выбросов кислых газов. Водород рассматривается так же, как носитель электроэнергии, способный заменить в отдельных странах почти 60 % природного газа, используемого в непромышленной деятельности. В связи с этим неизбежно ставится во-

прос о необходимости хранения больших объемов водорода. С экологической точки зрения в подземном хранилище идет превращение углекислого газа в метан, т.е. данный процесс можно использовать для аннигиляции  $\text{CO}_2$ .

Математическое моделирование процесса подземного хранения водорода и исследование его как единой системы дает возможность решить широкий круг вопросов:

- предсказать влияние изменения рабочих условий, концентрации компонентов газа и производительности хранилища;
- получить обширную информацию о поведении всего комплекса;
- быстро и надежно оптимизировать режим эксплуатации;

– создать автоматизированную систему управления.

### Результаты и обсуждение

Модель описывается нелинейной автономной системой второго порядка, которая исследуется методами теории динамических систем. Критерий существования предельного цикла для случая

$$a = b = m = 1$$

и  $0,90032 < Q < 1,0$ .

При анализе математической модели получаем фазовый портрет (распределение кривых N и C) (рис.1.). На нем имеет место предельный цикл (наиболее близкое расположение кривых на фазовом портрете) при молярном дебите закачки  $Q = 0,92$ . По полученным результатам (рис.2.) видно, что распределение концентрации  $CO_2$  от времени и безразмерного числа бактерий в единице объема от времени имеет осцилляторный характер. По данным зависимостям можно судить о процессе генерации метана в подземных хранилищах водорода.

Используя метод Рунге – Кутты решим систему уравнений. Из нее мы находим распределение C и N по времени. C – молярная доля  $CO_2$ ; N – безразмерное число бактерий в единице объема

$$\begin{cases} \frac{dC}{dt} = Q - bCN^2 \\ \frac{dN}{dt} = aCN^2 - mN \end{cases}$$

$$y = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} t_n = 0 \\ t_k = 100 \end{matrix}$$

$$F(t, y) = \begin{pmatrix} Q - bCN^2 \\ aCN^2 - mN \end{pmatrix}$$

$$X = rkfixed(y, t_n, t_k, 1000, F)$$

где y – матрица описывающая начальные условия  $N_0 = 1$  и  $C_0 = 1$ ;  $t_n, t_k$  – начальный и конечный временной промежуток;  
 F(t,y) – искомая функция, описывающая зависимость C и N;  
 X – функция которая ищет зависимость F при условиях  $t_n, t_k, y$ ;  
 1000 – число точек на промежутке от  $t_n$  до  $t_k$ .

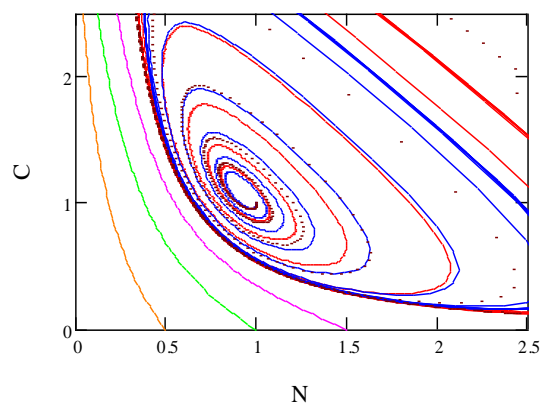


Рис. 1. Фазовый “портрет ” автономной системы (1) – (2). C – молярная доля  $CO_2$ ; N – безразмерное число бактерий в единице объема

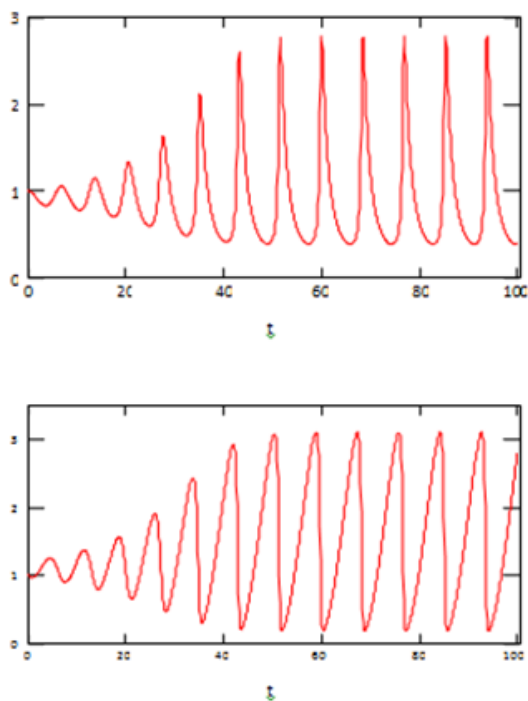


Рис. 2. Осцилляторная динамика  $N$  и  $C$  для модельной системы. (1) – (2) при  $a = b = 1.01$ ,  $m = 1$ ,  $Q = 0,92$ , с условием  $N_0 = 1$  и  $C_0 = 1$ .

## Библиографический список

1. Шестопапов В.В. Математические модели химико-технологических процессов и систем : конспект лекций. В 2 ч. Ч.1 / В.В. Шестопапов. М., 1977. 183 с.
2. Бесков С.Д. Технологические расчеты / С.Д. Бесков. М. : Высшая школа, 1968. 235 с.
3. Михайлов А.С. Перспективы поисков промышленных месторождений экзогенных цеолитов в СССР / А.С. Михайлов, А.И. Кринари // Советская геология. 1970. № 4. С. 27–35.