

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2020, №4, Том 12 / 2020, No 4, Vol 12 <https://esj.today/issue-4-2020.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/03NZVN420.pdf>

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Бутов К.А. Численные исследования и анализ распространения водорода в подземном хранилище газа // Вестник Евразийской науки, 2020 №4, <https://esj.today/PDF/03NZVN420.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**For citation:**

Butov K.A. (2020). Numerical studies and analysis of hydrogen distribution in an underground gas storage. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 4(12). Available at: <https://esj.today/PDF/03NZVN420.pdf> (in Russian)

УДК 622.691.2

ГРНТИ 52.47.33

**Бутов Кирилл Андреевич**

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа  
(национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина», Москва, Россия

Аспирант

E-mail: kir.butov@gmail.com

## **Численные исследования и анализ распространения водорода в подземном хранилище газа**

**Аннотация.** В статье представлена классификация видов производства водорода. Проведен анализ ключевых отличий между существующими видами производств, а также негативных сопутствующих факторов. На основе ретроспективного анализа определен круг сфер, в которых объем производства водорода вырос за последние десятилетия. Учитывая промышленный масштаб производства неуглеводородного компонента и перспективность водородной тематики, возникает необходимость хранения больших объемов газообразного водорода в подземных хранилищах газа. Однако, с целью понимания процессов, происходящих в пласте коллекторе, возникает необходимость предварительного моделирования процессов, происходящих при смешении метана и водорода.

Автором в статье приведена информация о возможности использования существующих моделей в зависимости от имеющихся геолого-промысловых данных для моделирования процессов, протекающих в пласте коллекторе. Ввиду отсутствия значительного количества исследований на первоначальном этапе проектирования разработки месторождения или подземных хранилищ газа целесообразным является применить оценочный расчет на существующих математических моделях. Которые позволят оценить характер искомых зависимостей, не прибегая к построению полномасштабных геологических и гидродинамических моделей.

Представлена математическая модель двунаправленного процесса изотермической фильтрации бинарной сжимаемой смеси газов метана и водорода. С целью выявления зависимостей смешения компонентов и распространения неуглеводородного газа проведено ранжирование параметров фильтрационно-емкостных свойств пласта. Рассмотрена зона смешения «водород-метан» в реализованных при моделировании вариантах. Формализован круг факторов, влияющих на распространение водорода по площади структуры. Выполненное математическое моделирование позволило определить наиболее значимые параметры при эксплуатации подземных хранилищ газа, а также определиться с последующим направлением исследований.

Данная статья является частью диссертационного исследования.

**Ключевые слова:** подземное хранение газа; водород; математическая модель; возобновляемая энергетика; неуглеводородная энергетика; моделирование; метан

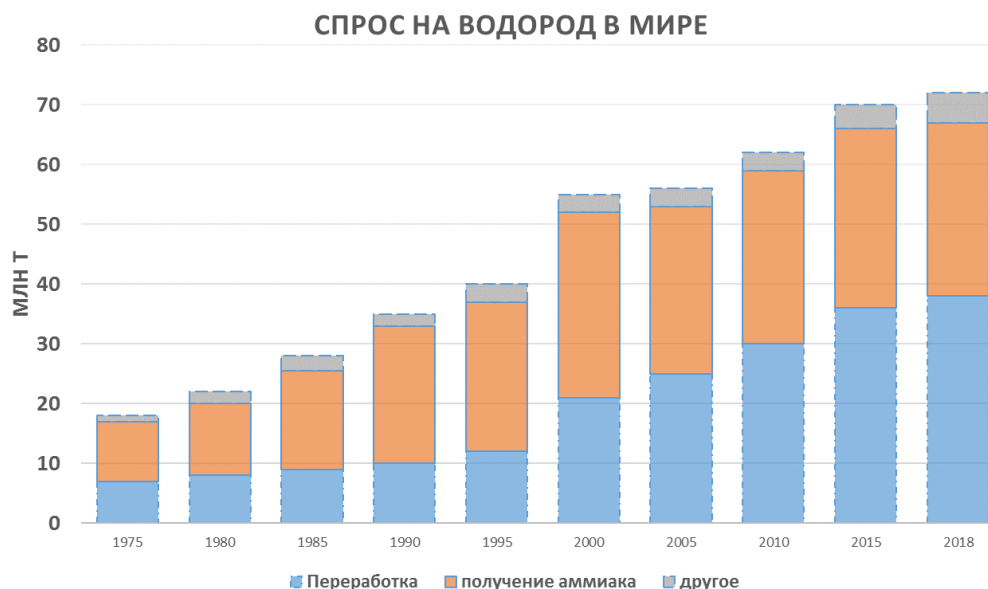
### Введение

В данный момент актуальным вызовом для газовой отрасли является применение накопленных знаний для совместного подземного хранения метана и водорода. В текущий момент одной из острых проблем современной мировой энергетике является накопление и аккумулирование полученной энергии. Передовым из возможных решений проблемы накапливания большого количества энергии может служить водородная энергетика. Одним из достоинств данного неуглеводородного компонента как топлива служит его удельная теплота сгорания втрое выше чем у нефти, а при сгорании образуется вода. Ввиду необходимости декарбонизации энергетической системы вопрос интеграции растущей доли возобновляемой энергетике предлагается решать за счет закачки излишек этой энергии в подземные хранилища газа [1; 2]. Стоит отметить, что на основе проведенных исследований авторы работ [3–5] отмечают, что существуют определенные особенности хранения газообразного водорода в подземных хранилищах с природным газом. Однако, учитывая перспективное направление водородной энергетике, представляется необходимым продолжать научно-исследовательские работы, направленные на изучение совместного хранения.

### Классификация видов производимого водорода

Производство водорода для энергетических компаний на текущий момент не является новой задачей. Следует подчеркнуть, что для незначительных объемов с целью хранения, как правило, используются различные резервуары высокого давления. Однако, в случае выработки излишек данного неуглеводородного компонента или для производственных нужд, возникает проблема масштабного хранения.

В настоящее время промышленное использование водорода сосредоточено в сферах переработки нефти, производства аммиака и метанола. Ретроспективный анализ спроса на водород представлен на рисунке 1.



*Рисунок 1. Спрос на водород в мире<sup>1</sup>*

Способы получения водорода вызывают много дискуссий в научном сообществе. Анализируя методы получения водорода, стоит отметить следующие методы электролиза, к которым относятся:

- электролиз растворов и расплавов (солей и щелочей);
- получение водорода с помощью протонообменной мембраны (PEM);
- получение водорода с помощью твердооксидных электролизеров.

Электролиз воды использовался для производства промышленного водорода в течении прошедшего столетия. Важно отметить, что производство водорода, в том числе, путем электролиза потенциальная возможность снизить выбросы CO<sub>2</sub> в атмосферу. При этом электролиз может быть ключевым фактором, способствующим увеличению количества установок, позволяющих использовать возобновляемую энергию для компенсации неравномерности потребления.

Как правило, эффективность преобразования воды в водород в основном зависит от используемой технологии и масштаба внедрения системы. Эффективность электролизера может достигать 80 %. В свою очередь, учитывая всю систему электролиза, более высокая эффективность достигается 60–65 % при использовании щелочного электролиза. Используя дистиллированную воду, электролизеры обычно производят водород с процентом чистоты от 99,5 % до 99,99 %. Учитывая вышесказанное, делаем вывод, что водород, полученный данным способом, может быть использован для хранения без последующей фазы очистки, а также, к примеру, для заправки автомобилей на водородном топливе.

Однако, необходимо иметь ввиду, что производство водорода с помощью электролиза в настоящее время дороже, относительно других методов из-за капитальных затрат и зависит от расходов на электроэнергию [6].

Большинство неуглеводородного компонента (до 70 процентов) в настоящее время производится из ископаемых источников энергии, таких как природный газ и уголь, путём паровой конверсии метана (Steam Methane Reforming). Главным недостатком этого процесса

<sup>1</sup> <https://www.irena.org/>.

является то, что выделяется углекислый газ при расщеплении углеводов. Безусловно, с целью уменьшения выбросов можно применить технологию по улавливанию углекислого газа. Однако, проект по выделению водорода и улавливанию углекислого газа скорее всего станет экономически нерентабельным.

Поэтому то, как производится водород, имеет значительные последствия для сокращения выбросов в атмосферу. Водород, полученный с помощью паровой конверсии, также называют «серым водородом», полученный с помощью улавливания углекислого газа – «синим». Более экологически чистым методом производства водорода является электролиз с протонообменной мембраной (Proton Exchange Membrane (PEM)). Данный метод подразумевает выделение водорода из воды при использовании электричества. Неоспоримым плюсом данного метода является отсутствие выбросов углекислого газа, и в сочетании с электричеством, полученным от возобновляемых источников энергии (к примеру, ветреные установки, солнечная энергетика) позволяет решить основную глобальную проблему мирового сообщества: как лучше необходимо хранить возобновляемую энергию. При использовании возобновляемых источников энергии для получения водорода путем электролиза – такой водород обычно называют «зеленым».

Учитывая растущую потребность в водороде из года в год и необходимость его крупномасштабного хранения, возникает необходимость моделирования процессов, происходящих в пласте – коллекторе.

### **Выбор модели для проведения исследований**

Использование современных трехмерных симуляторов (гидродинамических или геологических) для моделирования месторождений или подземных хранилищ газа является необходимостью, ввиду увеличения инженерных вызовов в нефтегазовой отрасли.

Ранее, моделирование разработки месторождений или подземных хранилищ газа было основано на балансовых моделях, которые были направлены на расчет уравнений фильтрации по пласту коллектора при этом используя упрощенные зависимости [7]. Кроме того, визуальное отображение полученных зависимостей являлось исключительно в виде схематических карт, разрезов и т. д. Современные программные комплексы трехмерного моделирования совмещают в себе математический аппарат для расчета уравнений фильтрации и полноценный механизм визуализации геолого-технологических данных. Данные программные комплексы позволяют на текущий момент создавать так называемые «цифровые двойники» объектов газовой и нефтяной отрасли.

Однако, чтобы иметь полноценное представление о строении и структуре геологического объекта необходимо иметь большое количество данных, отражающих точное геологическое строение объекта моделирования, геофизические исследования и т. д. В результате аккумулирования представительной информации начинается создание геологической и гидродинамической моделей для различных задач исследователей.

Построение вышеуказанных моделей требует больших временных и трудовых затрат. Ввиду этого, на первом этапе выявления зависимостей, протекающих в пласте коллекторе, целесообразным является построение простых математических моделей [8]. Данные зависимости позволяют предварительно оценить характер использования тех или иных вновь используемых технологий. В частности, закачки неуглеводородных компонентов в пористый пласт [9].

### Построение одномерной математической модели двухкомпонентной фильтрации

Рассмотрим математическую модель двунаправленного процесса изотермической фильтрации бинарной сжимаемой смеси газов метана и водорода [10]. Приводящая к системе нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных для давлений и концентрации с краевыми условиями, соответствующими постоянному темпу закачки газа в пористый пласт.

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \frac{p}{c} \frac{\partial c}{\partial t} + \alpha_1 \frac{c}{r^n} \frac{\partial}{\partial r} \left( r^n \frac{p}{c} \eta^0 \frac{\partial p}{\partial r} \right); \quad (1)$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \alpha_1 \eta^0 \frac{\partial p}{\partial r} \frac{\partial c}{\partial t} + \frac{c}{r^n} \frac{\partial}{\partial r} \left[ r^n \frac{p}{c} \left( \beta D_m - \alpha_2 \eta^0 \frac{\partial p}{\partial r} \right) \frac{\partial c}{\partial r} \right]; \quad (2)$$

где  $D_m$  – коэффициент молекулярной диффузии находящийся из соотношения  $D_m = \left( \frac{\eta_1}{\eta_2} \right)$ , при  $\eta_{1,2}$  – коэффициенты динамической вязкости метана и водорода соответственно.

$$\alpha_1 = \frac{k}{m\eta_1}; \quad \alpha_2 = \text{sign}w \frac{\lambda k}{m\eta_1}; \quad (3)$$

$$C = C_1 + M; \quad (4)$$

$$\eta^0 = \left( \frac{\eta_1}{\eta_2} \right) \frac{M(M+1)}{c}; \quad (5)$$

$$M = M_1 / (M_2 - M_1). \quad (6)$$

В свою очередь,  $M_1, M_2$  молярные массы компонентов метана и водорода. Для этапов закачки газа и простоя  $\text{sign}w = 1$ . В случае отбора данный коэффициент равен -1. С учетом соотношений (1) и (2) преобразуем уравнение к виду следующим путем. Если:

$$\varphi^1 = r \frac{p}{c}; \quad (7)$$

$$\varphi^2 = r \frac{p}{c} \left[ \beta D_m - \alpha_2 \eta^0 \frac{\partial p}{\partial r} \right] = \varphi^1 \left[ \beta D_m - \alpha_2 \eta^0 \frac{\partial p}{\partial r} \right]. \quad (8)$$

Тогда уравнение (1) преобразуется к виду:

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \frac{p}{c} \frac{\partial c}{\partial t} + \alpha_1 \frac{c}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( \varphi^1 \eta^0 \frac{\partial p}{\partial r} \right); \quad (9)$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \alpha_1 \eta^0 \frac{\partial p}{\partial r} \frac{\partial c}{\partial t} + \frac{1}{\varphi^1} \frac{\partial}{\partial r} \left( \varphi^2 \frac{\partial c}{\partial r} \right). \quad (10)$$

Тем самым решение сводится к численному методу решения. Метод решения сводится к неявной конечно-разностной схеме, расчет которой производится методом итераций по каждому уравнению и по системе в целом. На каждом слое находится давление из первого уравнения системы, далее оно используется для определения концентрации из второго уравнения системы. После чего итеративный процесс позволяет перейти к следующему слою.

Определение давления запишется в следующем виде:

$$\frac{P_{x,t+1} - P_{x,t}}{\tau} = \frac{P_{x,t+1}}{C_{x,t}} \frac{C_{x,t+1} - C_{x,t}}{\tau} + \frac{\alpha_1}{h^2} \frac{C_{x,t+1}}{r_x} * \left( \varphi^1_{x+\frac{1}{2},t+1} \eta^0_{x+\frac{1}{2},t+1} [P_{x+1,t+1} - P_{x,t+1}] - \varphi^1_{x-\frac{1}{2},t+1} \eta^0_{x-\frac{1}{2},t+1} [P_{x,t+1} - P_{x-1,t+1}] \right). \quad (11)$$

Ведем переменные для учета концентрации на текущем слое проведения расчетов и следующем:

$$\varphi_{x,t+1}^3 = \alpha_1 \frac{r}{h^2} \frac{C_{x,t+1}}{r_x}, \quad (12)$$

$$\varphi_{x,t+1}^4 = \frac{C_{x,t+1} - C_{x,t}}{\tau}. \quad (13)$$

С учетом (12) и (13) конечно-разносная схема для определения давления принимает вид:

$$P_{x,t+1} - P_{x,t} = P_{x,t+1} \varphi_{x,t+1}^4 + \varphi_{x,t+1}^3 \left( \varphi_{x+\frac{1}{2},t+1}^1 \eta_{x+\frac{1}{2},t+1}^0 [P_{x+1,t+1} - P_{x,t+1}] - \varphi_{x-\frac{1}{2},t+1}^1 \eta_{x-\frac{1}{2},t+1}^0 [P_{x,t+1} - P_{x-1,t+1}] \right). \quad (14)$$

Определение концентраций запишем в следующем виде:

$$\frac{C_{x,t+1} - C_{x,t}}{\tau} = \alpha_1 \eta^0 \frac{P_{x+1,t+1} - P_{x-1,t+1}}{2h} \frac{C_{x+1,t+1} - C_{x-1,t+1}}{2h} + \frac{1}{\varphi_1} \frac{1}{h^2} \left( \varphi_{x+\frac{1}{2},t+1}^2 (C_{x+1,t+1} - C_{x,t+1}) - \varphi_{x-\frac{1}{2},t+1}^2 (C_{x,t+1} - C_{x-1,t+1}) \right). \quad (15)$$

Для упрощения формализации введем новые переменные:

$$\varphi_{x,t+1}^2 = \varphi_{x,t+1}^1 \left\{ \beta D_m - \alpha_2 \eta_{x,t+1}^0 \frac{P_{x+1,t+1} - P_{x-1,t+1}}{2h} \right\}; \quad (16)$$

$$\varphi_{x+\frac{1}{2},t+1}^2 = \varphi_{x+\frac{1}{2},t+1}^1 \left\{ \beta D_m - \alpha_2 \eta_{x+\frac{1}{2},t+1}^0 \frac{P_{x+1,t+1} - P_{x,t+1}}{h} \right\} = \varphi_{22}; \quad (17)$$

$$\varphi_{x-\frac{1}{2},t+1}^2 = \varphi_{x-\frac{1}{2},t+1}^1 \left\{ \beta D_m - \alpha_2 \eta_{x-\frac{1}{2},t+1/2}^0 \frac{P_{x,t+1} - P_{x-1,t+1}}{h} \right\} = \varphi_{23}; \quad (18)$$

$$K_{x,t+1}^1 = \frac{\alpha_1 \tau}{4h^2} \eta_{x,t+1}^0 (P_{x+1,t+1} - P_{x-1,t+1}); \quad (19)$$

$$K_{x,t+1}^2 = \frac{\tau}{\varphi_{x,t+1}^1 h^2}. \quad (20)$$

При учете вышеуказанных соотношений (15-20) конечно-разносная схема для определения концентраций принимает вид:

$$C_{x,t+1} - C_{x,t} = K_{x,t+1}^1 (C_{x+1,t+1} - C_{x-1,t+1}) + K_{x,t+1}^2 \varphi_{22} (C_{x+1,t+1} - C_{x,t+1}) - K_{x,t+1}^2 \varphi_{23} (C_{x,t+1} - C_{x-1,t+1}). \quad (21)$$

Система данных уравнений решается с помощью специализированного программного продукта компании решали с помощью продукта компании The MathWorks, которая специализируется на разработке программного обеспечения в области численных вычислений и компьютерного моделирования – MATLAB.

### Распределение водорода в пласте коллекторе в результате моделирования на одномерной математической модели

Рассмотрим влияние на зону смешения «газообразный H<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub>», при заданных параметрах в таблице 1 таких как: пористость, проницаемость, пластовое давление и дебит закачки. В данных вариантах будет рассмотрен процесс закачки водорода и метана. Основной целью преследуется выявление зависимости при ранжировании параметров ФЕС

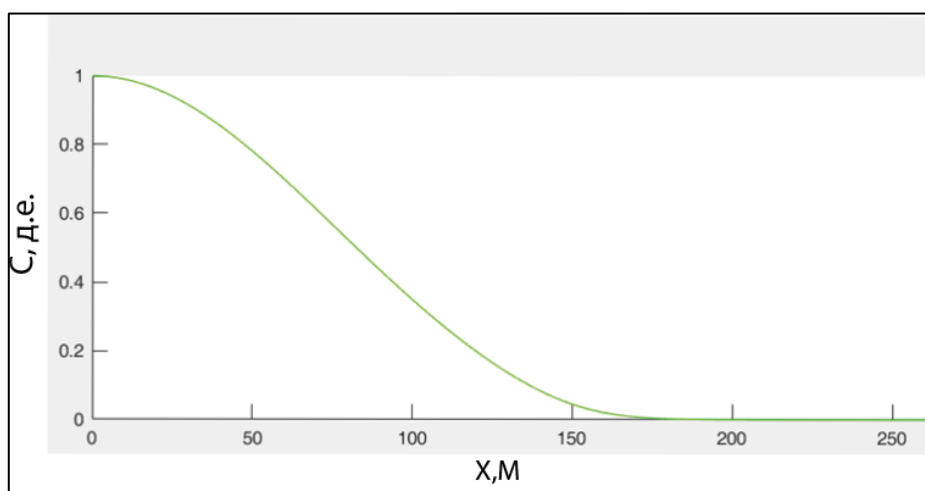
(фильтрационно-емкостных свойств). Ввиду этого было проведено несколько итераций расчетов с вариациями проницаемости ( $k$ ) при неизменной пористости ( $m$ ) (таблица 1) и моделирование закачки водорода при ранжировании пористости и неизменной проницаемости (таблица 2). Пластовое давление и температура в двух вариантах подобраны с таким расчетом чтобы водород находился в газообразном состоянии, а именно  $T_{пл} = 40 \text{ C}$ ,  $P_{пл} = 2.5 \text{ МПа}$ .

**Таблица 1**

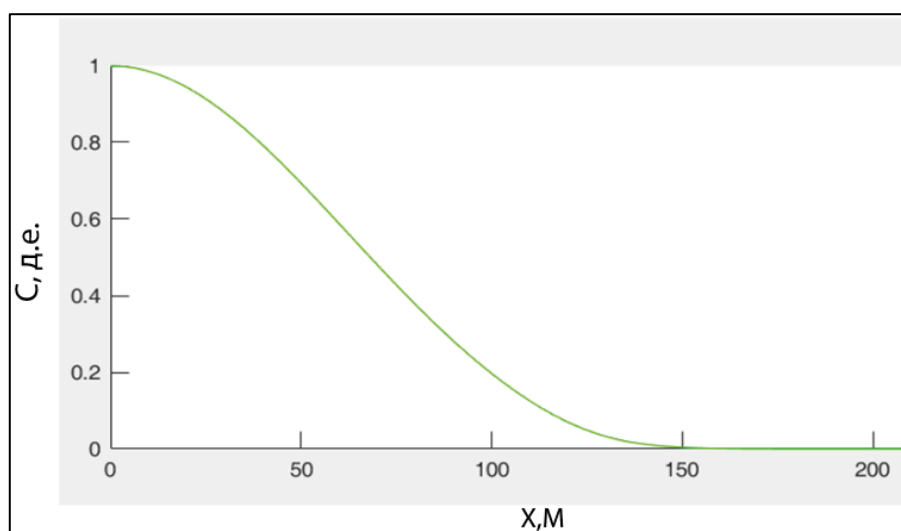
**Моделирование варианта при постоянной пористости**

№ варианта	$m$	$k$	$Q_{зак}$	$P_{пл}$
Вариант 1	10	300 мД	100	2.5МПа
Вариант 2	10	200 мД	100	2.5МПа
Вариант 3	10	100 мД	100	2.5МПа

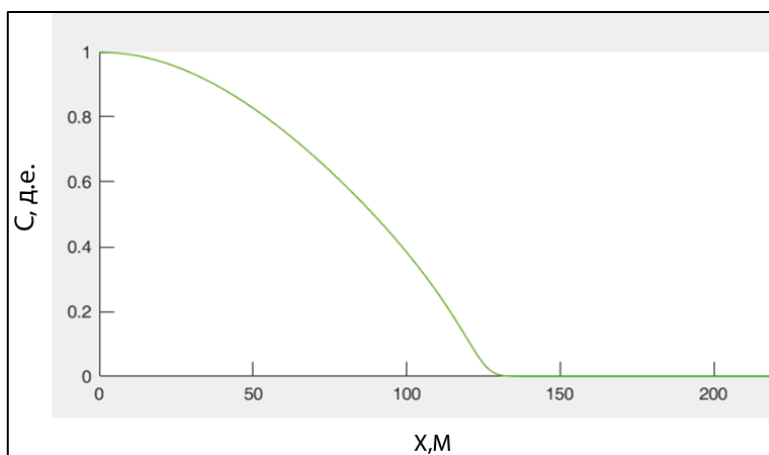
Составлено автором



**Рисунок 2.** Распределение концентрации  $H_2$  в пласте коллекторе при варианте 1 (получено автором)



**Рисунок 3.** Распределение концентрации  $H_2$  в пласте коллекторе при варианте 2 (получено автором)



**Рисунок 4.** Распределение концентрации  $H_2$  в пласте коллекторе при варианте 3 (получено автором)

На рисунках 2–4 представлены результаты расчета закачки газообразного водорода в горизонтальный пласт коллектор с учетом ранжирования коэффициента проницаемости в проведенных расчетах. Стоит отметить, что при максимально рассмотренной проницаемости при использованных данных в таблице 1 ( $k = 300$  мД), фронт водорода распространился до 160 метров. В случае же минимальной проницаемости ( $k = 100$  мД) 135 метров.

Данные расчеты показывают, что при увеличении проницаемости решаемой задачи, происходит увеличение фронта распространения неуглеводородного компонента. Как уже отмечалось ранее, при решении уравнения (1, 2) был учтен коэффициент молекулярной диффузии, поэтому смешение газов происходит при начале закачки.

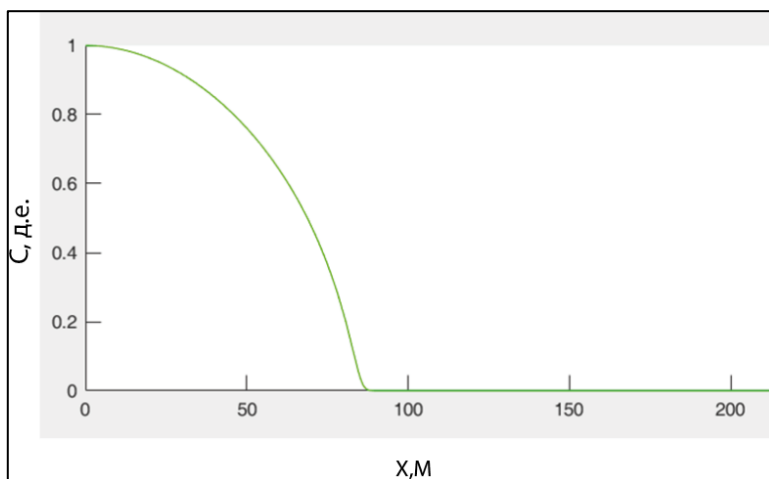
Кроме того, рассмотрим вариант закачки газообразного водорода для следующих случаев:

**Таблица 2**

**Моделирование варианта при постоянной проницаемости**

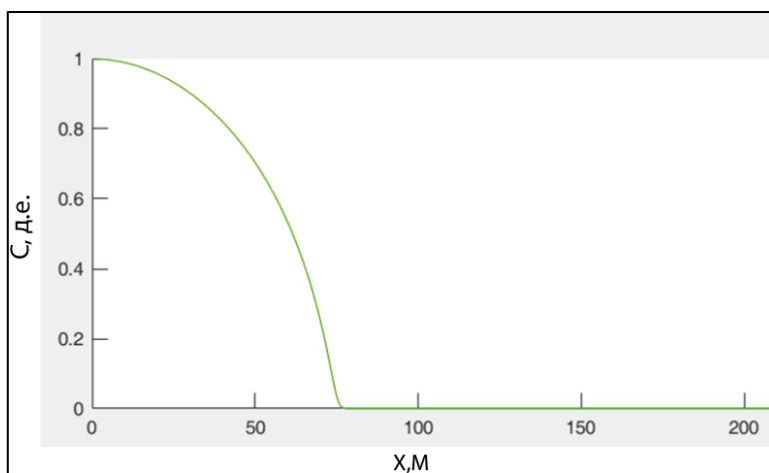
№ варианта	m	k	Q <sub>зак</sub>	P <sub>пл</sub>
Вариант 4	10	200 мД	100	2.5МПА
Вариант 5	15	200 мД	100	2.5МПА
Вариант 6	20	200 мД	100	2.5МПА

Составлено автором

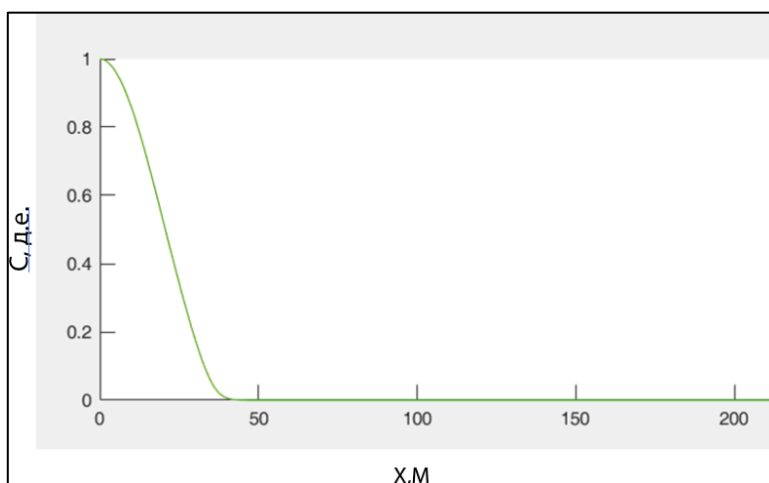


**Рисунок 5.** Распределение концентрации  $H_2$  в пласте коллекторе при варианте 4 (получено автором)





**Рисунок 6.** Распределение концентрации  $H_2$  в пласте коллекторе при варианте 5 (получено автором)



**Рисунок 7.** Распределение концентрации  $H_2$  в пласте коллекторе при варианте 6 (получено автором)

На рисунках 5–7 представлены результаты моделирования вариантов таблицы 2. При самом меньшем значении пористости из рассматриваемых ( $m = 10$ ) отмечаем наибольшее распространение водорода по площади рисунок 4. В частности, проведенные исследования показывают, что при увеличении коэффициента пористости при постоянной проницаемости и пластовом давлении, и дебите закачки, происходит сокращение зоны смешения газов.

Для этого сравним полученные результаты вышеуказанного варианта 4 и варианта 6 при  $m = 20$ . Зона распространения уменьшилась с 75 метров при  $m = 10$  до 42 метров при  $m = 20$ . Данная зависимость объясняется следующим: при увеличении пористости в математической модели происходит увеличение порового объема, и зона смешения сокращается [11; 12]. Также стоит отметить, что при анализе вышеуказанных вариантов зона смешения начинается при начале закачки газообразного водорода в метан. Различием является конечная точка смешения бинарной смеси.

### Заключение

Проведенные исследования на математической модели двунаправленного процесса изотермической фильтрации бинарной сжимаемой смеси газов могут быть использованы для оценочных расчетов моделирования циклической эксплуатации подземных хранилищ газа.

Рассмотренные варианты являются случаем, когда водород закачивается в качестве активного объема газа. На основе проведенных вычислений необходимо отметить о важности тщательного выбора геологического объекта для совместного хранения природного газа и водорода.

Учитывая высокое влияние проницаемости пласта на распространение водорода, следующими направлениями исследований представляются моделирование подземного хранения неуглеводородного компонента в трещиновато-поровой структуре.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Krock O., Crotagino F., Rudolph T. Overview on all Known Underground Storage Technologies for Hydrogen // HyUnder-research report. 2013. pp. 16–18.
2. Evans D.J., Chadwick R.A. Underground Gas storage // Geolog. Soc. Lond. Spec. Publ. 2009. pp. 123–124.
3. Walters. A.B. Technical and environmental aspects of underground hydrogen storage // World Hydrogen Energy Conf. 1976. V. 2B. pp. 65–79.
4. Crotagino F., Donadei S., Bünger U., Landinger H. Large-Scale Hydrogen Underground Storage for Securing Future Energy Supplies // 18th World Hydrogen Energy Conf. 2010. pp. 38–42.
5. Carden P.O., Patterson L. Physical, chemical and energy aspects of underground hydrogen storage // Int. J. Hydrogen Energy. 1974. pp. 145–160.
6. Garcia D., Barbanera F. Expert Opinion Analysis on Renewable Hydrogen Storage Systems Potential in Europe // Energies – Open Access Journal. 2016. № 9. С. 1–22.
7. Азиз Х., Сеттари Э. Математическое моделирование пластовых систем. Пер. с англ. – М: Недра, 1982, 407 с.
8. Алиев З.С., Бондаренко В.В. Руководство по проектированию разработки газовых и газонефтяных месторождений. Печора: Изд. Печерское время, 2003.
9. Каримов М.Ф. Эксплуатация подземных хранилищ газа, М.: «Недра», 1981.
10. Басниев К.С., Дмитриев Н.М., Каневская Р.Д., Максимов В.М. Подземная гидромеханика. – М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2006. – 488 с.
11. Mau R.E. Particle transport in flow through porous media: advection, longitudinal dispersion, and filtration / R.E. Mau – 1992.
12. Perkins T.K. A Review of Diffusion and Dispersion in Porous Media / T.K. Perkins, O.C. Johnston // Soc. Pet. Eng. J. – 1963.

**Butov Kirill Andreevich**

National university of oil and gas «Gubkin university», Moscow, Russia  
E-mail: kir.butov@gmail.com

## **Numerical studies and analysis of hydrogen distribution in an underground gas storage**

**Abstract.** The article presents a classification of the types of hydrogen production. The analysis of key differences between the existing types of industries, as well as negative related factors. Based on a retrospective analysis, a circle of areas in which the volume of hydrogen production has grown over the past decades has been determined. Given the industrial scale of production of the non-hydrocarbon component and the promising nature of the hydrogen theme, the need arises to store large volumes of hydrogen gas in underground gas storages. However, in order to understand the processes occurring in the reservoir, there is a need for preliminary modeling of the processes occurring when methane and hydrogen are mixed.

The author of the article provides information on the possibility of using existing models depending on the available geological and production data for modeling the processes occurring in the reservoir. Due to the lack of a significant amount of research at the initial stage of designing a development of a field or underground gas storages, it is advisable to apply the estimated calculation on existing mathematical models. Which will allow to evaluate the nature of the desired dependencies without resorting to the construction of full-scale geological and hydrodynamic models.

A mathematical model of the bidirectional process of isothermal filtration of a binary compressible mixture of methane and hydrogen gases is presented. In order to identify the dependencies of the mixing of the components and the distribution of non-hydrocarbon gas, the parameters of the reservoir properties of the reservoir are ranked. The hydrogen-methane mixing zone in the variants realized during the simulation is considered. The range of factors that influence the distribution of hydrogen over the area of the structure is formalized. The performed mathematical modeling made it possible to determine the most significant parameters during the operation of underground gas storages, as well as to determine the subsequent direction of research.

This article is part of a dissertation research.

**Keywords:** underground gas storage; hydrogen; mathematical model; renewable energy; non-hydrocarbon energy; modeling; methane