

## Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971  
ISI (Dubai, UAE) = 0.829  
GIF (Australia) = 0.564  
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912  
ПИИЦ (Russia) = 0.126  
ESJI (KZ) = 8.716  
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630  
PIF (India) = 1.940  
IBI (India) = 4.260  
OAJI (USA) = 0.350

SOI: [1.1/TAS](https://doi.org/10.15863/TAS) DOI: [10.15863/TAS](https://doi.org/10.15863/TAS)

### International Scientific Journal Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2020 Issue: 02 Volume: 82

Published: 29.02.2020 <http://T-Science.org>

QR – Issue



QR – Article



**V.F. Burnashev**  
Samarkand state University  
Senior teacher

**O.B. Akhmedov**  
Samarkand state University  
undergraduate

**B.O. Saidov**  
Samarkand state University  
undergraduate  
The Republic of Uzbekistan, Samarkand  
+(99890) 450-61-08,  
[sevar0887@mail.ru](mailto:sevar0887@mail.ru)

## NUMERICAL SOLUTION OF THE MULTI-PHASE FILTRATION PROBLEM FOR HORIZONTAL WELL GEOMETRY

**Abstract:** Based on the studies, it becomes possible to evaluate the productive use of horizontal wells in the development of viscous oil fields with moderate filtration and in cases where it is not possible to conduct full-fledged drilling operations. The disadvantage of horizontal wells is the costly cost of their construction.

**Key words:** horizontal well geometry, drilling technology, elements, gas saturation.

**Language:** Russian

**Citation:** Burnashev, V. F., Akhmedov, O. B., & Saidov, B. O. (2020). Numerical solution of the multi-phase filtration problem for horizontal well geometry. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 02 (82), 505-511.

**Soi:** <http://s-o-i.org/1.1/TAS-02-82-82> **Doi:**  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2020.02.82.82>

**Scopus ASCC:** 2604.

### ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ МНОГОФАЗНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ ГЕОМЕТРИИ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СКВАЖИНЫ

**Аннотация:** На основе исследований появляется возможность оценить продуктивное использование горизонтальных скважин в разработке месторождений вязкой нефти при умеренной фильтрации и в тех случаях, когда не выходит провести полноценные буровые работы. Недостатком горизонтальных скважин является затратная стоимость их построения.

**Ключевые слова:** геометрия горизонтальной скважины, технология бурения, элементы, газонасыщенность.

#### Введение

УДК 004.386

Сложность подобной задачи наряду с проблемами расчета процессов многофазной фильтрации усиливается нетривиальностью геометрии задачи. Целью работы является отработка численного алгоритма решения задачи

многофазной фильтрации для геометрии горизонтальной скважины, вскрывшей неоднородный пласт.

Скважина - горная выработка круглого сечения, пробуренная с поверхности земли или с подземной выработки без доступа человека к забою под любым углом к горизонту, диаметр которой намного меньше ее глубины.

## Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971  
 ISI (Dubai, UAE) = 0.829  
 GIF (Australia) = 0.564  
 JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912  
 РИНЦ (Russia) = 0.126  
 ESJI (KZ) = 8.716  
 SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630  
 PIF (India) = 1.940  
 IBI (India) = 4.260  
 OAJI (USA) = 0.350

### Виды скважин:

- Опорные скважины бурят для изучения геологического строения и гидрогеологических условий регионов.
- Параметрические скважины бурят для изучения глубинного геологического строения и сравнительной оценки перспектив нефтегазоносности возможных зон нефтегазоаккумуляции.
- Структурные скважины бурят для выявления перспективных площадей и их подготовки к поисково-разведочному бурению.
- Поисковые скважины бурят с целью открытия новых месторождений нефти и газа.
- Разведочные скважины бурят на площадях с установленной промышленной нефтегазоносностью с целью подготовки запасов нефти и газа.
- Эксплуатационные скважины бурят для разработки и эксплуатации залежей нефти и газа.
- Специальные скважины бурят для сброса промышленных вод, ликвидации открытых фонтанов нефти и газа и др.

В зависимости от геологических условий нефтяного месторождения бурят различные типы скважин. Нефтяная скважина может быть пробурена как:

- вертикальная;
- наклонно-направленная;
- горизонтальная;
- многоствольная или многозабойная

Актуальность задачи обусловлена развитием и широким внедрением технологий добычи нефти с использованием горизонтальных скважин. Практический интерес представляет прогноз динамики многофазного течения в неоднородном пласте, включающем в качестве составных элементов (рис. 1) собственно нефтеносный пласт (Н), газовую шапку (Г) и водонапорный пласт (В).

### Постановка задачи

В упрощенной постановке рассматривается нефтяной пласт мощности  $H$ , неограниченный по протяженности (рис. 1). Кровля пласта соответствует начальному положению ГНК, подошва пласта – начальному положению ВНК. Исходя из симметрии, расчетная область представляет собой полосу с вырезом в окрестности точки  $(0, 0)$ , соответствующим контуру добывающей скважины. После вскрытия пласта горизонтальной скважиной происходит отбор нефти и, соответственно, продвижение границ вытеснения нефти газом и водой.

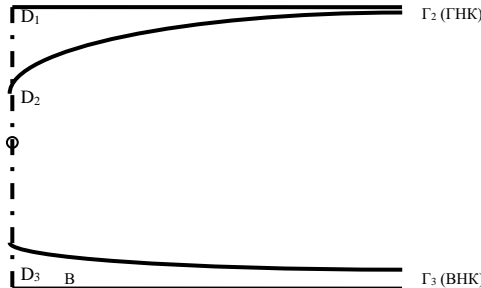


Рис. 1. Геометрия задачи

Математическая постановка основана на теории многофазной фильтрации [1] при следующих упрощающих допущениях: не учитывается сжимаемость жидкостей и газа, рассматривается идеализированная геометрия (плоскопараллельные внешние и внутренние границы сред); задаются модельные граничные условия постоянства давлений на границах, соответствующих начальным положениям ВНК и ГНК.

Задача рассматривалась в безразмерных переменных:

$$\tau = \frac{at}{H^2}, \quad a = \frac{k}{\mu_0 \Delta P}, \quad \bar{P} = \frac{P - P_c}{\Delta P}, \quad \Delta P = P_k - P_c,$$

в которых пространственные координаты масштабировались к мощности нефтяного пласта  $H$ ,  $\tau$  – безразмерное время,  $a$  – характерная скорость течения в пласте,  $\mu_0$  – вязкость нефти,  $k$  –

абсолютная проницаемость пород,  $\bar{P}$  – приведенное (нормированное) давление,  $P_k$  – давление на начальных контурах ВНК и ГНК,  $P_c$  – давление на контуре скважины.

Постановка задачи в безразмерном виде включает уравнение относительно газонасыщенности в области  $D_1$ :

$$\frac{\partial \sigma_g}{\partial \tau} = \text{div}(k_g(\sigma_g) \text{grad} \bar{P}), \quad (1)$$

уравнение относительно водонасыщенности в области  $D_3$ :

$$\frac{\partial \sigma_w}{\partial \tau} = \text{div}(k_w(\sigma_w) \text{grad} \bar{P}), \quad (2)$$

уравнение относительно давления по всей расчетной области

## Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971  
 ISI (Dubai, UAE) = 0.829  
 GIF (Australia) = 0.564  
 JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912  
 ПИИЦ (Russia) = 0.126  
 ESJI (KZ) = 8.716  
 SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630  
 PIF (India) = 1.940  
 IBI (India) = 4.260  
 OAJI (USA) = 0.350

$$\text{div}(\varphi \text{grad} \bar{P}) = 0,$$

$$\varphi = \begin{cases} k_g(\sigma_g) + \bar{\mu}_g k_{og}(\sigma_g) \varepsilon D_1 \\ k_w(\sigma_w) + \bar{\mu}_w k_{ow}(\sigma_w) \varepsilon D_3 \end{cases} \quad \varepsilon D_2, \quad (3)$$

где  $\sigma$  – насыщенности;

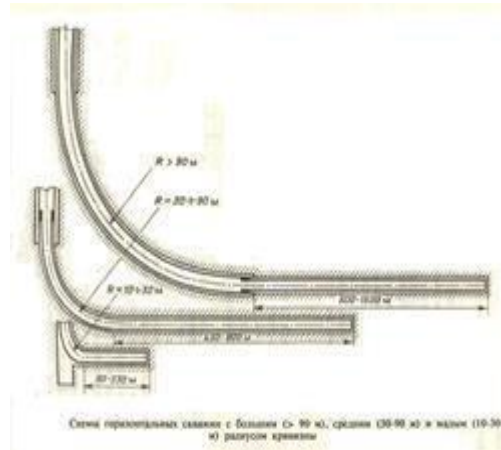
$k_g$  и  $k_{og}$  – относительные фазовые проницаемости газа и нефти;

$k_w$  и  $k_{ow}$  – относительные фазовые проницаемости воды и нефти;

$\bar{\mu}_g, \bar{\mu}_w$  – отношения вязкостей газа к нефти и воды к нефти;

индексы обозначают:  $g$  – газ,  $w$  – вода,  $o$  – нефть.

К системе уравнений (1)–(3) добавлены следующие граничные и начальные условия



На границах расчетной области, соответствующих начальному положению ВНК и ГНК задается постоянное давление  $\bar{P} = 1$  и значение газо- и водонасыщенности  $\sigma_g = 1$ ,  $\sigma_w = 1$ , на контуре скважины – постоянное давление  $\bar{P} = 0$ , на вертикальной границе расчетной области в силу симметрии задачи – условие непроницаемости  $\partial P / \partial n = 0$ . Начальные условия соответствуют нулевым насыщенностям воды и газа в расчетной области  $\sigma_g = 0$ ,  $\sigma_w = 0$ .

При численном решении поставленной задачи удобнее перейти к полярным координатам с полюсом в центре добывающей скважины. Расчетная сетка представляет собой совокупность лучей, исходящих из центра скважины и покрывающих расчетную область с заданным шагом по полярному углу  $\Delta\varphi$ , и совокупность подвижных узлов, соответствующих наперед заданным значениям насыщенности  $0 \leq \sigma_i \leq 1$ , для которых рассчитывается их перемещение вдоль семейства лучей. Для расчета давления сетка прослеживаемых узлов с заданными

насыщенностями дополняется узлами равномерно распределяющимися вдоль лучей в соответствующих областях, где  $\sigma = 1$  и  $\sigma = 0$ . При дискретизации по времени используется полностью неявная схема.

На рис. 2 представлены результаты решения рассматриваемой задачи, показывающие конфигурацию границ вытеснения нефти газом и водой на различные моменты времени. Отношение вязкостей газа и воды к нефти задавались равными  $\bar{\mu}_g = 0,01$  и  $\bar{\mu}_w = 1$ .

Представленные два варианта результатов численного решения отличаются разным расположением скважины относительно начальных границ ВНК и ГНК, которое определяется безразмерным параметром  $\square$  – безразмерным расстоянием от центра скважины до линии ГНК. Расположение скважины влияет как на скорость продвижения границ вытеснения, так и на порядок их подхода к контуру добывающей скважины. В первом случае к моменту прорыва воды вытеснение нефти газом сверху незначительно. Во втором случае происходит опережающий прорыв газа к контуру скважины при некотором отставании границы вытеснения водой.

## Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	РИИЦ (Russia) = 0.126	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 8.716	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 5.667	OAJI (USA) = 0.350

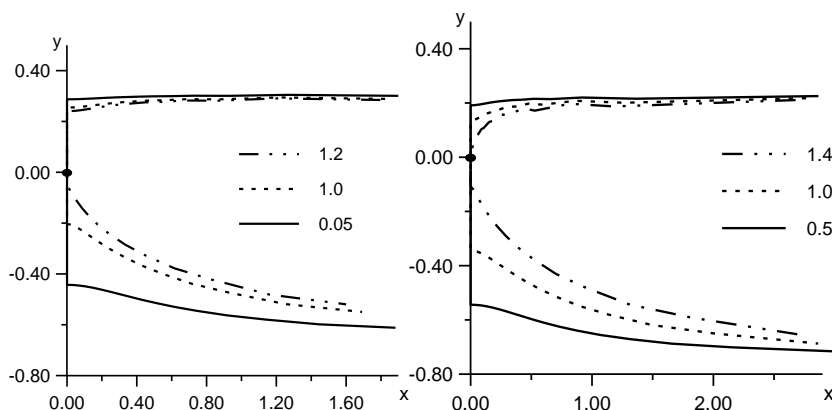


Рис. 2. Динамика движения ВНК и ГНК при различном расположении добывающей скважины:  
а)  $-\eta = 0,333$ ; б)  $\eta = 0,25$

Сейчас на добывающих районах активно ведется борьба с обводнением и выполняется целый ряд работ по устранению воды в скважинах. Это актуальный вопрос, требующий совершенствования и поиска новых методов.

**Для устранения воды в скважинах ставят конкретные задачи:**

1. Изучают систему проведения ремонтных и изоляционных работ, а также водонепроницаемых материалов.
2. Разрабатывают метод водоизоляции с помощью однородного раствора, перед этим закачав в пласт сжатый газ.
3. Испытывают новые технологии на основе состава из геля и цемента.
4. Исследуют вопрос использования струйного насоса для очистки зоны пласта после проведения водоизоляционных работ.

При осуществлении водоизоляционных работ в газовых и нефтяных скважинах используются такие тампонажные материалы: цемент, биополимеры жидкое стекло. Также делают смеси на базе минеральных и органических веществ и совершают тампонажные растворы. Все перечисленное эффективно помогает не допустить скопления воды в скважинах.

### Преимущество горизонтальных скважин

В настоящее время в нефтедобывающей промышленности наблюдается медленное истощение запасов и все большая их часть

приходится на труднодоступные месторождения.

Сложность добычи в том, что они характеризуются высокой вязкостью нефти и шельфами морей. Анализ и эффективность применения горизонтальных скважин подтверждается запасами нефти, которые извлекаются в Западной Сибири и России, что примерно в общей сумме составляет 12 млрд. тонн.

Применение горизонтальных технологий во много раз увеличивает эффективность разработки запасов. Они подразумевают процесс бурения и, собственно, сами горизонтальные скважины. Имеют наиболее значительную протяженную зону.

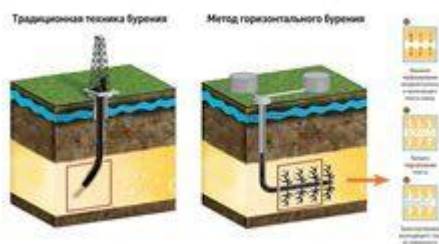
При строительстве этих скважин используется зарубежное и российское оборудование, а главный показатель – эффективность. Максимально стараются использовать отечественное снаряжение, но в виду отсутствия некоторой необходимой продукции, приходится прибегать к покупке импортного.

**Несмотря на то, что строительство горизонтальных скважин затратнее на 10-15%, чем вертикальных, их применение имеет немало преимуществ:**

- уменьшение суммарного количества скважин на месторождениях;
- рост уровня извлечения нефти;
- привлечение в разработку новые залежи нефтяных пластов и высоковязкой нефти.

## Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	РИИЦ (Russia) = 0.126	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 8.716	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 5.667	OAJI (USA) = 0.350



Гидравлический разрыв пласта (ГРП) – популярный метод, интенсивной добычи нефти при разработке низкопроницаемых коллекторов.

Многостадийный ГРП в горизонтальных скважинах (МГРП) – последовательное выполнение гидроразрывов пласта в одной скважине. Этот метод позволяет повышать уровень рентабельности от добычи нефти, в то время как, ГРП в наклонно направленных скважинах не дает должного объема рентабельности в разработке.

МГРП делится на 2 вида: общая технология и технология применения пакерных компоновок. Продуктивность горизонтальных нефтяных скважин после ГРП значительно повышает уровень дополнительной добычи нефти и сокращает затраты на бурение.

Основная идея проведения ГРП состоит в изменении геометрии участка горизонтального ствола скважины и организации благоприятных условий для следующего ГРП.

Область применения нефтедобывающих скважин с горизонтальными окончаниями достаточно обширная. В нее входит упрощение добычи нефти из труднодоступных месторождений, разработка участков сложных пород и т.д.

Такого рода скважины разумно использовать для предварительной промышленной добычи из недр земли.

**Перед осуществлением нефтедобычи проводятся следующие действия:**

1. Анализ и оценка целесообразности применения пластов. Для предварительной дегазации высокогазоносных угольных пластов бурение опережающих пластовых скважин – наиболее оптимальный способ понижения газовыделения в очистных забоях и промежуточных выработках угольных шахт. Подходящий диаметр дегазационных скважин равен 80 – 250 мм, а рациональная длина – от 5 до 250 м. скважин для заблаговременной дегазации угольных пластов.

2. Обобщение условий применения и результативности использования горизонтальных скважин при разработке месторождений газа и нефти доказало, что нынешние технологии и специальное аппаратное

обеспечение позволяют бурить скважины почти любой траектории с возможным люфтом не более 2м. Горизонтально разветвленные скважины по сравнению с вертикальными намного эффективнее. Использование таких скважин повышается при снижении мощности пласта и возрастании неоднородности его строения. Одна горизонтальная скважина способна заменить 5 вертикальных, а если учесть фактор неоднородности, то соотношение может быть 1:20.

3. Прогнозирование возможности использования скважин для добычи метана из угольных пластов. Наиболее развивающимися углеметановыми месторождениями России являются Печорский и Кузнецкий угольный бассейны. Разработан целый комплекс подходов к вскрытию таких мест земли, которые осуществляют профили горизонтальных скважин.

Все перечисленные действия направлены на оценку возможности уместности освоения метаноугольных залежей. Так как задача сложная она требует еще более детального изучения газоотдачи пластов с применением скважин с горизонтальным стволом, при этом следует учитывать множество факторов.

### Особенности строения горизонтальной скважины

Конструкция горизонтальной скважины напрямую зависит от геологических условий. Высокая продуктивность достигается за счет бурения скважины простой конструкции породоразрушающим инструментом.

Скважины рекомендуется бурить в коренных горных породах. При выборе конструкции буровых руководствуются принципами безопасности. Помимо этого, от сделанного выбора зависит объем расхода материалов и конечная стоимость строительства.

Также учитывают, что искривленная и вертикальная часть горизонтальной скважины рассмотрена не только со стороны верного выбора конструкции, а и – удовлетворительного забойного давления. Не берется во внимание лишь горизонтальная часть ствола.

## Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971  
ISI (Dubai, UAE) = 0.829  
GIF (Australia) = 0.564  
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912  
РИИЦ (Russia) = 0.126  
ESJI (KZ) = 8.716  
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630  
PIF (India) = 1.940  
IBI (India) = 4.260  
OAJI (USA) = 0.350

**Существуют основные требования к горизонтальной скважине:**

- выполненная конструкция не должна допускать разрушение стен;
  - предоставить герметизацию устья;
  - обеспечивать свободный доступ к забою.
- От соблюдения данных требований зависит надежность всей конструкции.

**Элементы горизонтальной скважины:**

- цементные оболочки;
- обсадная колонна;
- наклонная и вертикальная выработка.

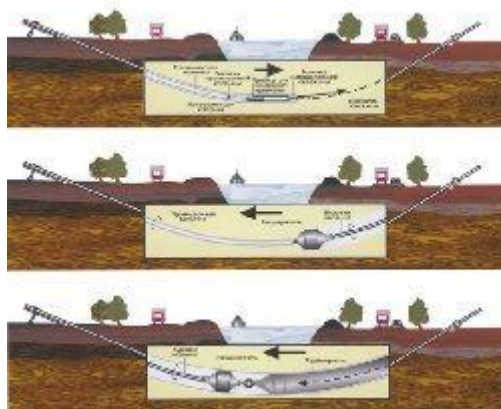
Для построения данного типа скважины подбираются такие элементы, с помощью которых поставленная цель достигается без происшествий и позволяет в течение долгого

времени эксплуатировать горизонтальную скважину.

**Крепление горизонтальных скважин приводит:**

- устойчивость стенок скважины в неустойчивых породах;
- изолирование зон поглощения промывочной и пластовой жидкости;
- размежевание интервалов продуктивных горизонтов и их изоляция от водных пластов;
- формирование должного канала для добычи нефти и газа;
- установка надежного оборудования для устья.

## Изучение горизонтальных скважин



Чтобы получать максимальный объем добычи углеводородов следует использовать новые технологии и проводить исследование горизонтальных скважин.

**Тщательное их изучение позволяет добиться результатов:**

- увеличить площадь фильтрации;
- улучшить технологию подземных газовых хранилищ;
- приумножить интенсивность закачивания в пласт.

Технологии не стоят на месте, и если раньше цена горизонтальных скважин была дороже в 8 раз, чем вертикальных, то сейчас разница сократилась в 2 раза. В нефтяной промышленности, используют метод горизонтального бурения.

**Как бурят горизонтальные скважины?**

Наиболее популярным является механический способ, который направлен на разрушение породы. Этот вид скважин зачастую бурят в породах высоких категорий, но в последнее время и в породах средней твердости.

**Технологии бурения горизонтальных скважин на выставке**

Нефтегазовая промышленность стремительно развивается. Представители данной индустрии продемонстрируют свои достижения в нефтегазодобывающей сфере на международной выставке «Нефтегаз», которая пройдет в ЦВК «Экспоцентр».

Посетить выставку можно весной в городе Москва. Рекомендуется предварительно зарегистрироваться на сайте «Экспоцентра» и получить по электронной почте билет на посещение выставки. Мероприятие посвящено передовым технологиям в данной сфере.

Среди экспонентов есть российские и иностранные представители. Их цель – поддержка и укрепление имиджа компании, установление прямых контактов с заказчиками, и увеличение объема продаж. Одна из тем, которая будет затронута на проекте в достаточной мере – горизонтальные скважины, которые занимают важное место в нефтегазовой отрасли.

Экспозиция использует новые маркетинговые и выставочные технологии, предоставляя всем присутствующим максимально удобные условия для создания деловых контактов в формате «B2B».

## Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971  
ISI (Dubai, UAE) = 0.829  
GIF (Australia) = 0.564  
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912  
РИИЦ (Russia) = 0.126  
ESJI (KZ) = 8.716  
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630  
PIF (India) = 1.940  
IBI (India) = 4.260  
OAJI (USA) = 0.350

«Нефтегаз» – мощная основа для развития бизнеса и совершенствования технологий.

### Заклучение

Таким образом, разработана и апробирована процедура численного решения модельной задачи трехфазной фильтрации для геометрии горизонтальной скважины, которая в дальнейшем будет обобщена для исследования более полной модели, учитывающей сжимаемость газовой фазы, ограниченность

запаса энергии газовой шапки и различные варианты строения пласта.

Кроме этого, на основе исследований появляется возможность оценить продуктивное использование горизонтальных скважин в разработке месторождений вязкой нефти при умеренной фильтрации и в тех случаях, когда не выходит провести полноценные буровые работы. Недостатком горизонтальных скважин является затратная стоимость их построения.

### References:

1. Zhuchkov, S.Ju., & Kanevskaja, R.D. (n.d.). Modelirovanie kislotnogo vozdejstviya v gorizontальной skvazhine, vskryvajushhej karbonatnyj neftesoderzhashhij plast.
2. Pergament, A. H., & Popov, S. B. (n.d.). Matematicheskie modeli i vychislitel'nyj jeksperiment Dvumernye zadachi dvuhfaznoj fil'tracii.
3. Trapeznikova, M.A. (1999). Parallel'nye algoritmy reshenija zadach mnogofaznoj fil'tracii. kandidat fiziko-matematicheskikh nauk. Moskva.
4. Konovalov, A.N. (1988). *Zadachi fil'tracii mnogofaznoj neszimaemoj zhidkosti*. (p.166). Novosibirsk: Nauka. ISBN 5-02-028569 -2.
5. Grigorjan, L. A., & Timofeeva, E. F. (2015). *Modelirovanie processa neftedobychi chislennymi metodami*. Modelirovanie processa neftedobychi chislennymi metodami // Molodoj uchenyj.
6. Zhumagulov, B. T. (1953). *Matematicheskie modeli fil'tracii neodnorodnoj zhidkosti i ih prilozhenie v komp'juternyh tehnologijah dlja nefjtanyh mestorozhdenij*.
7. Koldoba, E. V. (n.d.). *Matematicheskoe modelirovanie izotermicheskoj mnogokomponentnoj fil'tracii s fazovymi perehodami*.
8. Grigorjan, L. A. (n.d.). *Matematicheskoe modelirovanie zadachi razrabotki nefjtanyh mestorozhdenij*.
9. Konovalov, A. N. (1988). *Zadachi fil'tracii mnogofaznoj neszimaemoj zhidkosti*. god izdanija — 1988, p.166.
10. Burnashev, V.F., & Ahmedov, O. (2019). *Raschet tehnologicheskikh pokazatelej kislotnogo vozdejstviya na przabojnuju zonu nefjtanogo plasta s treshhinovato-poristym kollektorom* // Materialy sovmestnoj respublikanskoj konferencii “Privlechenie investicij – osnova perehoda vseh sfer dejatel'nosti neftegazovoj otrasli na put' innovacionnogo razvitija”. 21-22.11.2019. (pp.79-82). Tashkent.