



## Гидродинамика жидкостей в микротрещинных каналах

Рамиз Сейфулла оглы Гурбанов<sup>1</sup>, Малейка Агамоглан кызы Мамедова<sup>2</sup>,  
Алиабас Алипаша оглы Гаджиев<sup>3</sup>

<sup>1</sup> НИИ «Геотехнологические Проблемы Нефти, Газа и Химии». г. Баку, AZ 1010  
пр. Азадлыг. 20, E-mail: ramiz.qurbanov@yahoo.com

<sup>2</sup> Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности,  
г.Баку, AZ 1010, пр. Азадлыг, 20. E-mail: mamedova-1944@mail.ru

<sup>3</sup> SOCAR, НИПИ «Нефтьгаз» Азербайджан, AZ1012, г. Баку, проспект Зардаби, 88А.  
E-mail: aliabas.haciyev@socar.az

### Abstract

There are numerous investigations of the fluids flow in the small-sized channels in the reference. It is shown that the experimental results of hydraulic resistances in these channels are more than the estimated ones according to theoretical formulas. There are given supposed different explanations without quantitative estimation. The numerous experimental results in the reliable setting are given in this work.

Firstly, the experimental-estimated methodology for “microcrack-fluid” system has been proposed and realized for the quantitative estimation of the hydraulic resistances. This approach allows to conduct hydrodynamic engineering evaluations for fluid flow in the cracked-porous medium, for lubrication in the systems of mechanical engineering, instrument engineering and also for solutions of the sealing problems in different branches of industry and medicine.

**Ключевые слова:** раскрытость, гидравлическое сопротивление, аномальная нефть, эффект «микротрещина – жидкость».

### Введение

В настоящее время механические свойства жидкостей исследуются в трубах различного размера. Имеются исследования, в которых утверждается, что в трубах малых размеров сопротивление движению жидкости увеличивается по сравнению с расчетными формулами, и это явление объясняется с различными качественными факторами.

В настоящее время накоплен значительный фактический материал по изучению движения ньютоновских жидкостей в щелях, проведены многочисленные экспериментальные и теоретические исследования [1–4]. Но нет единого мнения о проявлении аномального поведения ньютоновских жидкостей и усиления реологических свойств неньютоновских систем в микротрещинах.

Учитывая эти положения в области механики жидкости нами были проведены эксперименты в специально разработанной установке с различными жидкостями: водой, вязкой и аномальной нефтью [5, 6].

### 2. Экспериментальная установка и результаты исследования

В работе представлена методика определения параметров канальных пористых систем, а именно: величины раскрытости трещины, коэффициента пропускной способности среды и реологии жидкости в осложненных условиях. Экспериментальные исследования проведены на установках, позволяющих создать плоскопараллельные и плоскорадиальные трещины различной раскрытости  $h$ . Упуская, из-за простоты, описание плоскопараллельной установки, подробно остановимся на описании особенностей плоскорадиальной установки. Конструкция трещинной модели, имитирующая плоскорадиальное движение жидкости в недеформируемой среде, представлена на рис. 1. Кровлей 6 и подошвой 2 трещины являются плиты диаметром 168 мм, зажатые между фланцами 1 и 7. Под действием перепада давления исследуемая жидкость через штуцер 4 поступает во втулку 5, герметизирующую резиновыми уплотнителями 3 кольцевую полость, затем в трещину между плитами и далее в систему для замера протекающей жидкости в штуцер 8. С целью обеспечения недеформируемости трещины плиты изготовлены из стали 40Х, которые после термообработки токами высокой частоты имеют поверхностную твердость 40–50 единиц по Роквеллу.

Внутренняя поверхность плит обработана и отшлифована с точностью, соответствующей 10-ому классу. С целью получения трещины, заданной раскрытости были использованы несмачиваемые

прокладки размерами  $5 \times 7$  мм, расположенные под углом  $120^\circ$  относительно друг друга. Толщина прокладок выбиралась в зависимости от величины, требуемой раскрытости трещины.

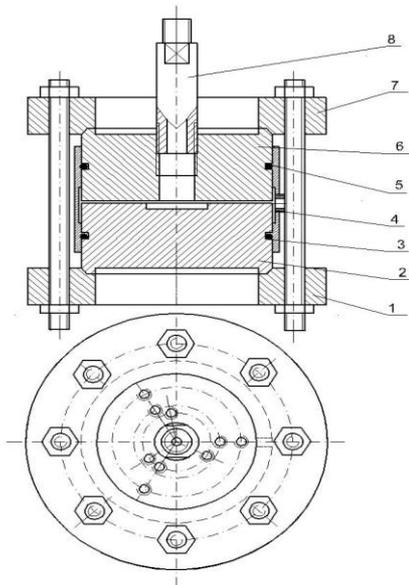


Рис.1. Модель плоскорадиальной трещины

Для контроля деформации трещины использовался индикатор часового типа, установленный на верхней плите модели. С целью контроля распределения давления по длине, т. е. по радиусу верхней плиты, кроме отверстий в центре и в контуре, были просверлены еще два отверстия. Отметим, что длина трещины  $L$  равна 84 мм. Радиусы окружностей, на которых под углом  $120^\circ$  относительно друг друга расположены отверстия, равняются 34 и 57 мм. Кроме того, вблизи этих отверстий на расстояниях 43 мм от центра трещины было расположено еще по одному отверстию.

Установка была проверена на герметичность при давлении 50 МПа для всех размеров трещины и проверены сохранность трещины во всех точках верхней плиты, где установлены индикаторы часового типа. В экспериментальных исследованиях максимальное давление было меньше 2 МПа.

Экспериментальные исследования в плоскорадиальных щелях проводились в двух сериях: моделировалось движение жидкости – первая серия от центра плоскорадиальной щели её контуру, а вторая серия от контура щели к центру. В обеих сериях эксперименты проводились на установившемся режиме движения жидкости.

Опыты проводились при изотермических условиях. Все пути движения исследуемой жидкости

в модели находилась в термованне. Постоянство температуры поддерживалось ультратермостатом, снабженным контактным термометром, установленным непосредственно в термованне.

В процессе опытов изменение толщины щели не наблюдалось, т.е. было устранено мнение об образовании жидкостных слоев на стенках канала.

Для исключения различных эффектов насыщение щели производилось исследуемой жидкостью под небольшим давлением и одновременно вакуумированием.

В процессе опытов создавались различные перепады давления на трещинной модели, после достижения установившегося режима фильтрации, замерялись соответствующие объемные расходы воды  $Q$ . По полученным данным исследовались гидродинамические особенности различных жидкостей. В экспериментальных исследованиях для создания различных перепадов давления использовались образцовые манометры, с погрешностью  $\delta = (0,2 \div 0,35) \%$ . Массовый расход жидкости при различных перепадах давления взвешен на электронных весах с точностью 0,001 мг. При определении полной абсолютной погрешности для градиента скорости и предельного напряжения сдвига с толщиной трещины  $10 \div 240$  мкм составляют соответственно  $(2 \div 3) \%$  и  $(0,2 \div 1,2) \%$ .

### 3. Результаты экспериментальных исследований, их обработка и обобщение.

Результаты опытов обрабатывались в координатах  $\gamma - \tau$ , где  $\gamma = \frac{Q}{4\pi r h^2}$  – средний градиент скорости и  $\tau = \frac{\Delta P h}{L}$  – касательное напряжение сдвига.

При экспериментальных исследованиях воды, вязкой и неньютоновской нефти в микротрещинах выявлен новый определяющий параметр – впервые выявленный эффект, — «микротрещина – жидкость», без учета которого невозможно осуществление различных технологических процессов нефтяной промышленности, машиностроения, приборостроения, медицины и т. д..

При движении вязкой–однопараметрической жидкости в каналах с раскрытостью меньше критической  $h < h_{кр}$ , вязкая жидкость становится аномальной, т.е. двухпараметрической, а при движении в каналах  $h > h_{кр}$ , то однопараметрическая жидкость остается однопараметрической. Для

аномальных жидкостей в каналах  $h < h_{кр}$ , реологические свойства жидкости усиливается, а в каналах  $h > h_{кр}$  остаются без изменения.

В результате экспериментального исследования движения жидкости в микротрещине установлено что, при величинах раскрытости трещины ниже 30 и 35 мкм соответственно при температурах 293 и 303 К, вода ведет себя как неньютоновская жидкость. Такие свойства установлены для воды и ньютоновских жидкостей. Такая раскрытость названа критической раскрытостью. Для различных жидкостей установлены критические размеры трещины.

В случае движения неньютоновской нефти в плоских и плоскорадиальных трещинах с увеличением раскрытости предельное напряжение сдвига и структурная вязкость нефти уменьшаются до определенного значения раскрытости трещины. При значениях раскрытости 180 мкм при температуре 303 К предельное напряжение сдвига и структурная вязкость не зависят от  $h$  и остаются постоянными.

На рис.2 и 3 представлены зависимости среднего градиента скорости  $\dot{\gamma}$  от касательного напряжения  $\tau$  в различных значениях величины раскрытости трещины при движении воды и аномальной нефти в плоскорадиальных микротрещинах при температуре 303 К.

Как видно из рис.2 и рис. 3 при  $h \geq h_{кр}$  для различных величин раскрытости трещины все точки зависимостей  $\dot{\gamma} = \dot{\gamma}(\tau)$  соответственно для воды (прямые 4 и 5) и аномальной нефти (прямые 4-6) укладываются на одной прямой как для вязкой, так и аномальной жидкости.  $\dot{\gamma} = \dot{\gamma}(\tau)$ . Это доказывает достоверность установленных критических значений раскрытости трещины.

Таким образом, впервые, на основе экспериментальных исследований, нами была установлена критическая величина раскрытости  $h_{кр}$ , т.е., найдено, что при  $h \geq h_{кр}$  изменения в реологических свойствах жидкости практически отсутствуют. При движении вязких жидкостей в трещине при  $h < h_{кр}$  проявляются аномальные свойства, а при движении аномальных жидкостей усиливаются реологические параметры, а при  $h > h_{кр}$  указанные эффекты исчезают.

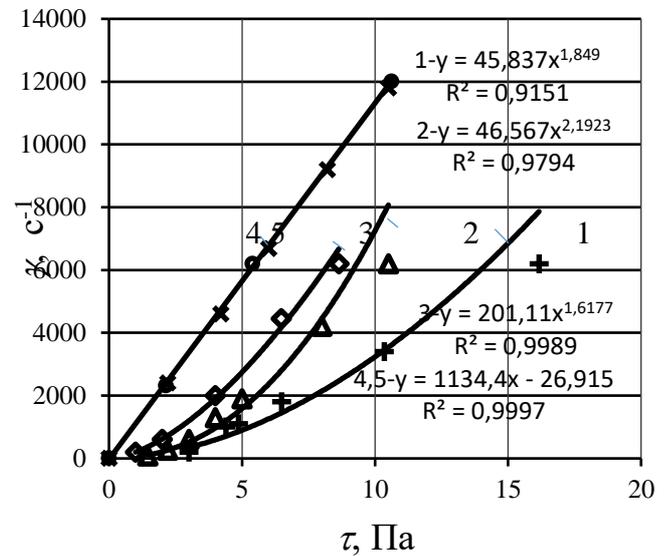


Рис. 2. Зависимость  $\dot{\gamma}$  от  $\tau$  при движении воды в плоскорадиальных микротрещинах, при значениях раскрытости, мкм: 10 (кривая 1), 15 (кривая 2), 20 (кривая 3), 30 (прямая 4) и 35 (прямая 5),  $T=303$  К

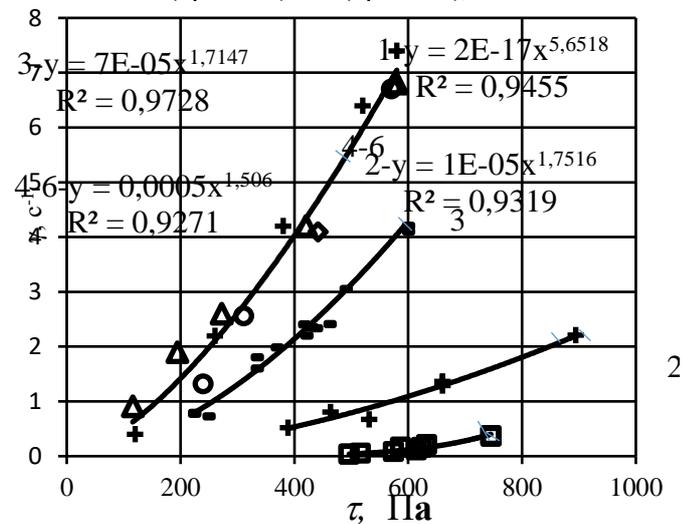


Рис. 3. Зависимость  $\dot{\gamma}$  от  $\tau$  при движении неньютоновской нефти в плоскорадиальных трещинах при значениях раскрытости, мкм: 90 (кривая 1), 120 (кривая 2), 160 (кривая 3), 180 (кривая 4), 220 (кривая 5) и 240 (кривая 6),  $T=303$  К

Разработанный нами подход позволяет вести гидродинамические инженерные расчеты по движению жидкости в трещинно-пористой среде, по смазке в системах машиностроения, приборостроения, а также для решения проблем



герметизации в различных отраслях промышленности и медицины.

#### 4. Выводы

На основе экспериментальных исследований и теоретических обобщений результатов о движении различных жидкостей в трещинных каналах «разработаны основы механики жидкостей в сверхмало проницаемых средах и микротрещинных каналах»:

1. При движении жидкости в щели с раскрытостью  $h \leq h_{кр}$  в системе «трещина-жидкость» проявляются неньютоновские свойства, для вязкой жидкости, и для аномальной жидкости усиливаются реологические свойства, а при  $h > h_{кр}$  указанные микротрещинные эффекты отсутствуют.

2. Полученный микротрещинный эффект для однородной жидкости, очищенной от воздуха или газа, является как дополнительное сопротивление подобно эффекту Жамена и может при течения двух и трехфазных жидкостей в системах микротрещин более усилить влияния Жамена.

3. Установленные критические значения раскрытости трещины составляют для воды 35 и 30 мкм при температурах 293 и 303 K и вязкой и аномальной нефти при температуре 303 K соответственно 130 и 180 мкм.

В гидродинамике жидкостей для устранения влияния степени раскрытости трещин, т.е. эффекта «трещина – жидкость» целесообразно оказывать

воздействие на систему «микротрещина – жидкость» мощными ультразвуковыми, гидродинамическими, акустическими и другими волнами, что требует изготовить специальные установки.

#### Литература

- [1]. Мархасин И.Л. Физико-химическая механика нефтяного пласта. Москва: Недра, 1977.
- [2]. Ромм Е.С. Фильтрационные свойства трещиноватых горных пород. Москва: Недра, 1966.
- [3]. Куштанова Г.Г. Нестационарная фильтрация жидкости в трещиновато-пористом пласте по неравновесному закону фильтрации // Изв. ВУЗов Нефть и газ.-2008.- № 5.-С.25-30.
- [4]. Свалов А.М. Капиллярные эффекты в трещиноватых породах // Нефтяное хозяйство. - 2011. -N 1. - С. 59-63.
- [5]. Мамедова М.А., Гурбанов Р.С. Исследование реологии жидкостей в трещинных и поровых каналах и определение их раскрытости // Инженерно-физический журнал, 2015, том 88, № 4, с. 790-799. Mamedova M.A., Gurbanov R.S. Investigation of the Rheology of Fluids in Fracture and Pore Channels and Determination of Their Opening. Journal of Engineering Physics and Thermophysics: Volume 88, Issue 4 (2015), Page 815-824.
- [6]. Gurbanov R.S., Mammadova M.A. Rheological peculiarities of fluids flow in microcracked channels // Mechanika 2015, Vol 21, No 1, pp.34-39.

## Modernization actuator zephyr finisher machine

Azizaga AZIZOV

Azerbaijan Technical University,  
Baku - 1074, ave. Javid 25, Azerbaijan  
E- mail: azizagaazizov@rambler.ru

#### Abstract

Forming casting marshmallow (marshmallow) in contemporary machines of the brand K-33 is carried out by the actuators comprising a cam-lever mechanism. The paper attempts to modernize these mechanisms, ie replacing them (the plunger mechanism and spool) on purely linkages, which improves machine performance.

**Keywords: Executive mechanisms, zephyr, purely linkages.**

#### 1. Introduction

Zephyr is a type of casting pastes and different shape and lush texture. The technological process of

preparation of marshmallow includes the use of apple puree with a solids content of about 15% with the addition of up to 8% apple-sugar mixture. Due to the large number of protein and prolonged knocking (22 ÷ 25 min), the mixture is a more lush. The adhesive syrup for zephyr mass is boiled to a large density than Pastila weight - up to a solids content of 84 ÷ 85%. Ready-agar syrup with a temperature of 90 ÷ 95 OC introduced into hit by an apple-sugar mixture in the ratio 1: 1 after which are added flavoring and aromatic substances.

Ready marshmallow mass has a density of 400 kg / m<sup>3</sup>, 28 ÷ 30% moisture., It has a high viscosity, these