

страта и необходимой производительности установки. Целью работы является повышение КПД установки путем уменьшения затрат энергии на осуществление гомогенизации. Основной идеей является проработка комбинаций механических, гидравлических и пневматических перемешивающих систем, включая те, которые еще не применяются на практике. Для моделирования реактора и различных механизмов воздействия на субстрат предлагается использовать стандартный пакет программ моделирования движения жидкости и газа FlowVision.

### Литература

1. Федоренко В.Ф., Буклагин Д.С., Мишуков Н.П., Тихонравов В.С. Развитие биоэнергетики, экологическая и продовольственная безопасность. — М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2009. — 144 с.
2. Biogas from Waste and Renewable Resources / ed. by D. Deublein, A. Steinhauser — Weinheim: Wiley-VCH, 2008. — 443 p.
3. Орсиж Л.С. [и др.]. Биоэнергетика: мировой опыт и прогнозы развития. — М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. — 404 с.

УДК 532.546, 622.276

С.П. Родионов<sup>1,2</sup>, П.Н. Соляной<sup>2</sup>, В.П. Косяков<sup>3</sup>

rodionovsp@bk.ru, sol\_p@mail.ru, hammer-rav@mail.ru

<sup>1</sup> Тюменский филиал Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН

<sup>2</sup> ЗАО «Конкорд»

<sup>3</sup> Тюменский государственный университет

### Исследование эффективности различных схем расстановки скважин в зонально-неоднородном нефтяном пласте

Нефтяной пласт является весьма неоднородным объектом. Структура неоднородностей нефтяного пласта обусловлена условиями осадконакопления и последующими постседиментационными процессами формирования пород, такими как консолидация частиц скелета, деформация пласта под воздействием тектонических сил, метаморфические превращения. В результате всех этих процессов формируют-

ся неоднородности пласта по проницаемости, фазовой проницаемости и другим физико-химическим свойствам, имеющие широкий спектр масштабов и форм. В частности, баровые тела и русловые отложения, как правило, имеют высокую проницаемость по сравнению с пойменными и дельтовыми отложениями. Существующие исследования показывают, что наиболее типичными формами неоднородностей являются маловытянутые компактные образования, тела, сильно вытянутые в одном из направлений и вмещающие тела.

При численном исследовании влияния неоднородностей нефтяного пласта на процесс вытеснения нефти водой большое разнообразие форм неоднородностей необходимо свести к нескольким типам. Такая формализация позволяет использовать результаты численного исследования при анализе процессов вытеснения в условиях неоднородного природного пласта.

В настоящей работе в рамках теории двухфазной фильтрации [1] в одно- и двумерных постановках выполнено численное исследование эффективности различных схем расстановки скважин относительно зональных неоднородностей пласта по значению коэффициента извлечения нефти (КИН) при различных параметрах задачи: размеров неоднородностей, их формы и проницаемости, а также вязкостей нефти и воды. Получены аналитические решения одномерной задачи вытеснения нефти водой из зонально-неоднородного пласта по схемам Баклея–Левретта и Лейбензона–Маскета в области  $(0 \leq x \leq L)$ , состоящей из двух прилегающих друг к другу зон: 1  $(0 \leq x \leq L_1)$  и 2  $(L_1 \leq x \leq L)$ . При этом нагнетательный или добывающий ряды скважин могут иметь координаты  $x = 0$  и  $x = L$ .

На основе полученных точных решений одномерной задачи о вытеснении нефти водой из зонально-неоднородного пласта по схеме Лейбензона–Маскета, эксплуатируемого галереей скважин, показано, что критерий выбора варианта размещения нагнетательного и добывающего рядов, при котором достигается наибольший КИН, формулируется следующим образом. Для размещения нагнетательного ряда скважин в зоне 1 ( $x = 0$ ), а добывающего — в зоне 2 ( $x = L$ ) должны выполняться следующие условия для параметров задачи:

$$\mu_o > \mu_w \quad \text{и} \quad k_1 \varphi_1 \omega_1^2 < k_2 \varphi_2 \omega_2^2$$

или

$$\mu_o < \mu_w \quad \text{и} \quad k_1 \varphi_1 \omega_1^2 > k_2 \varphi_2 \omega_2^2,$$

где  $k_i$ ,  $\varphi_i$  и  $\omega_i$  — соответственно проницаемость, пористость и площадь поперечного сечения для  $i$ -й зоны ( $i = 1; 2$ );  $\mu_o$  и  $\mu_w$  — дина-

мические вязкости нефти и воды. В остальных случаях нагнетание воды необходимо производить в зону 2 ( $x = L$ ), а добычу нефти — из зоны 1 ( $x = 0$ ).

Сформулированный выше аналитический критерий подтверждают исследования других авторов, выполненные на электроинтеграторе [2] и на гидродинамическом симуляторе [3].

### Литература

1. *Басниев К.С., Кочина И.Н., Максимов В.М.* Подземная гидро-механика. — М.: Недра, 1993.
2. *Пономарев А.Г.* Исследование эффективности систем разработки при заводнении зонально-неоднородных пластов: дисс. ... канд. техн. наук. — М., 1978. — 162 с.
3. *Никифоров С.В.* Оптимизация систем разработки нефтяных месторождений на поздней стадии эксплуатации: дисс. ... канд. техн. наук. — Тюмень, 2006. — 158 с.

УДК 531.781

*В.В. Сошенко, И.А. Ходаковский*

soshenko.v@gmail.com, mipt05@mail.ru

Московский физико-технический институт  
(государственный университет)

### Разработка средства измерения тяги реактивного микродвигателя на основе исследования акустической волны

Использование сверхмалых космических аппаратов ( $1..10\text{kg}$ ) на орбите требует более точных методов позиционирования, включая двигатели, способные давать импульсную тягу  $10^{-3}N$ . Для исследования характеристик данных двигателей необходимы соответствующие измерители.

Целью этой работы являлась разработка устройства, способного измерить силу  $10^{-3}N$  при импульсном воздействии с частотой следования импульсов до  $500\text{Hz}$ .

Данную точность измерения силы могут дать точные электронные весы. Из-за большого времени отклика ( $\sim 1\text{s}$ ) они не подходят

для этой задачи. Рассматривались варианты использования тензосенсоров, где чувствительным элементом является резистор, меняющий свое сопротивление при нагрузке. Но данная схема не обеспечивает достаточной точности.

В качестве чувствительного элемента было решено использовать электретный микрофон. Его чувствительность позволяет измерять импульсное усилие  $10^{-2}N$  с точностью до 10% при разрешающей способности аналого-цифрового преобразователя в 0,1 мВ. Полоса пропускания микрофона ( $30..10^4\text{Hz}$ ) позволяет регистрировать импульсы, следующие с требуемой частотой.

Для измерения направления вектора усилия используется поле из микрофонов, закрепленное на дне ванночки с силиконовой жидкостью. В этой же ванночке плавает платформа, на которой установлен исследуемый микродвигатель.

При генерации двигателем импульса тяги величиной  $F$  платформа передает энергию в жидкость в виде акустической волны. Амплитуда давления в волне будет равна  $\Delta P = \frac{F}{S}$ . Данную величину регистрируют микрофоны.

Таким образом, цель работы достигнута — разработан макет векторного измерителя сверхмалой тяги с чувствительностью и полосой пропускания  $10\text{kHz}$ .

Следующим этапом исследования будет создание средств математической обработки сигналов с целью компенсации переотражений в ванночке и получения искомого вектора направления и последующая калибровка устройства.