

УДК 622.245.422

## ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО И МАГНИТНОГО ПОЛЕЙ НА СКОРОСТЬ ОСАЖДЕНИЯ ЧАСТИЦ ТВЁРДОГО ТЕЛА В ЖИДКОСТИ

А.Н. ЗЕЙНАЛОВ\*

В статье рассматривается влияние электрического и магнитного полей на скорость осаждения частиц в твёрдых телах в проводящей жидкости. Составлена гидродинамическая модель осаждения частиц твёрдых тел в нефти, с учётом наличия электрического и магнитного полей. Выведена формула, позволяющая оценить влияние напряжений электрического и магнитного полей на скорость осаждения частиц в нефти. Установлено, что зависимость скорости осаждения частиц в нефти линейно зависит как от напряжённости электрического поля, так и индукции магнитного поля.

**Ключевые слова:** электрическое поле, магнитное поле, частицы твёрдого тела, нефть, скважина, осаждения частиц.

**Введение.** При движении проводящей неоднородной жидкости в трубе от трения электризуются частицы твёрдых тел, взвешенных в жидкости. Под действием определенных сил некоторая часть этих частиц осаждается. Скорость осаждения частиц зависит от многих факторов.

**Цель статьи.** В работе рассматривается влияние электрического и магнитного полей на скорость осаждения частиц твёрдых тел в проводящей жидкости.

**Решение задачи.** Силы, действующие на частицы, следующие:

- 1) сила тяжести;
- 2) сила сопротивления жидкости, которая пропорциональна первой степени скорости, т. е.  $-kV$ , где  $k$  – коэффициент пропорциональности;
- 3) сила, действующая на наэлектризованную частицу со стороны электрического и магнитного полей, которая определяется по формуле  $q(E+VB)$ , где  $q$  – заряд частицы,  $E$  – напряжённость электрического поля,  $B$  – индукция магнитного поля,  $V$  – скорость осаждения частиц в жидкости.

Применяя второй закон Ньютона, составим уравнение движения частицы:

$$m \frac{dV}{dt} = \sum_{i=1}^3 f_i = mg - kV + q(E + VB) \quad (1)$$

Это уравнение может быть записано в виде:

\* НИИ "Геотехнологические проблемы нефти, газа и химии"  
E-mail: anar.zeynalov13@hotmail.com

$$m \frac{dV}{dt} = mg + qE - V(k - qB) \quad (2)$$

Интегрируя уравнение (2) при условии  $V = 0$  при  $t = 0$ , имеем:

$$V(t) = \frac{(mg+qE)}{(k-qB)} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{k-qB}{m}t\right) \right] \quad (3)$$

Формулы (3) перепишем в следующей форме:

$$V(t) = \frac{mg(1+\frac{qE}{mg})}{k(1-\frac{qB}{k})} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{k}{m}\left(1 - \frac{qB}{m}\right)t\right) \right] \quad (4)$$

По физическому смыслу  $\frac{qE}{mg} > 0$ ,  $V > 0$ , поэтому из (4) следует, что  $\frac{qB}{k} < 1$ .

При отсутствии электрического и магнитного полей, т. е. когда  $E = 0$ ,  $B = 0$ , формула (4) имеет вид:

$$V_0(t) = \frac{mg}{k} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{k}{m}t\right) \right] \quad (5)$$

Из сравнения формул (4) и (5) имеем:

$$\frac{V(t)}{V_0(t)} = \frac{\left(1 + \frac{qE}{mg}\right)}{\left(1 - \frac{qB}{k}\right)} \cdot \frac{\left[1 - \exp\left(-\frac{k}{m}\left(1 - \frac{qB}{m}\right)t\right)\right]}{\left[1 - \exp\left(-\frac{k}{m}t\right)\right]} \quad (6)$$

Формула (6) позволяет оценить влияние напряжённостей электрического и магнитного полей на скорость осаждения частиц твёрдого тела в неоднородной жидкости.

Интегрируя уравнение (3), определяем путь, пройденный частицей в жидкости:

$$h(t) = \frac{(mg+qE)}{(k-qB)} \left[ t - \frac{m}{(k-qB)} \cdot \left( 1 - \exp\left(-\frac{k-qB}{m}t\right) \right) \right] \quad (7)$$

Время осаждения определяется из условия  $h(t) = h_o$  при  $t = t_o$ . При этом условии из (7) имеем следующее уравнение для определения времени осаждения:

$$t_o - \frac{m}{(k-qB)} \cdot \left[ 1 - \exp\left(-\frac{k-qB}{m}t\right) \right] = \frac{h_o(k-qB)}{(mg+qB)} \quad (8)$$

Видно, что уравнение трансцендентное, поэтому для его решения применяем метод последовательного приближения. В первом приближении принимаем, что

$\exp\left[-\frac{(k-qB)t_o}{m}\right] = 0$ , и для значения времени осаждения в первом приближении из (8) имеем:

$$t_1 = \frac{m}{(k-qB)} + \frac{h_o(k-qB)}{(mg+qB)} \quad (9)$$

Подставляя значение  $t_1$  из (9) в правой части формулы (8), находим значение времени осаждения частиц в жидкости во втором приближении. Имеем:

$$t_2 = \frac{m}{(k-qB)} \cdot \left[ 1 - \exp\left(-\frac{(k-qB)t_1}{m}\right) \right] + \frac{h_o(k-qB)}{(mg+qB)} \quad (10)$$

Этот процесс продолжается до тех пор, пока значения  $t$  в двух последующих значениях приблизительно не станут равны.

Рассмотрим некоторые частные случаи формулы (6). Из формулы (6) следует, что при отсутствии электрического и магнитного полей, т. е. когда  $E = 0$ ,  $B = 0$ ,  $\frac{V(t)}{V_0} = 1$ , что и следовало ожидать.

При достаточно больших значениях времени, что соответствует стационарному осаждению частиц в жидкости, из формулы (6) получим:

$$\frac{V(\infty)}{V_0} = \frac{\left(1 + \frac{qE}{mg}\right)}{\left(1 - \frac{qB}{k}\right)} \quad (11)$$

Эта формула может быть преобразована к виду

$$\frac{V(\infty)}{V_o} = 1 + q \left( \frac{E}{mg} + \frac{B}{k} \right) \quad (12)$$

При этом учтено, что  $\frac{qB}{k} < 1$ ,  $\frac{q^2EB}{kmg} \ll 1$

Из формулы (12) следует, что при стационарном осаждении частиц в жидкости скорость осаждения линейно зависит как от напряжённости электрического поля, так и индукции магнитного поля.

При наличии только электрического поля, т. е. когда магнитное поле отсутствует  $B = 0$ , формула для определения скорости осаждения имеет вид:

$$\frac{V(t)}{V_o(t)} = \left( 1 + \frac{qE}{mg} \right) \quad (13)$$

А в случае, когда электрическое поле отсутствует, т. е.  $E = 0$ , имеем следующую формулу:

$$\frac{V(t)}{V_o(t)} = \left( 1 - \frac{qB}{k} \right)^{-1} \cdot \frac{\left[ 1 - \exp\left(-\frac{k}{m}\left(1 - \frac{qB}{k}\right)t\right) \right]}{\left[ 1 - \exp\left(-\frac{k}{m}t\right) \right]} \quad (14)$$

Для проведения вычисления по формуле (6) и устанавливая влияние  $E$  и  $B$  на скорость осаждения частиц, формулу (6) приведём к виду:

$$\frac{V(t)}{V_o(t)} = a \cdot \frac{1 - \exp(-b)}{1 - \exp(-c)} \quad (15)$$

где введены следующие обозначения:

$$a = \frac{\left( 1 + \frac{qE}{mg} \right)}{\left( 1 - \frac{qB}{k} \right)}; \quad b = \frac{k}{m} \left( 1 - \frac{qB}{k} \right) t, \quad c = \frac{k}{m} t$$

Вычисления проведены для следующих значений:  $a = 1,2; 1,5; 1,8$ ;  $b = 0,8; 0,5; 0,2$ ;  $c = 0,2; 0,6; 0,8$ .

Результаты вычислений представлены на рисунке.

Из этого рисунка следует, что с увеличением напряжений электрического и магнитного полей скорость осаждения частиц увеличивается.

**Заключение.** Составлена гидродинамическая модель осаждения частиц твёрдых тел в нефти с учётом наличия электрического и магнитного полей.

На основании выведенных формул оценено влияние напряжений электрического и магнитного полей на скорость осаждения частиц в нефти.

Установлено, что зависимость скорости осаждения частиц в нефти линейно зависит как от напряжённости электрического поля, так и индукции магнитного поля.

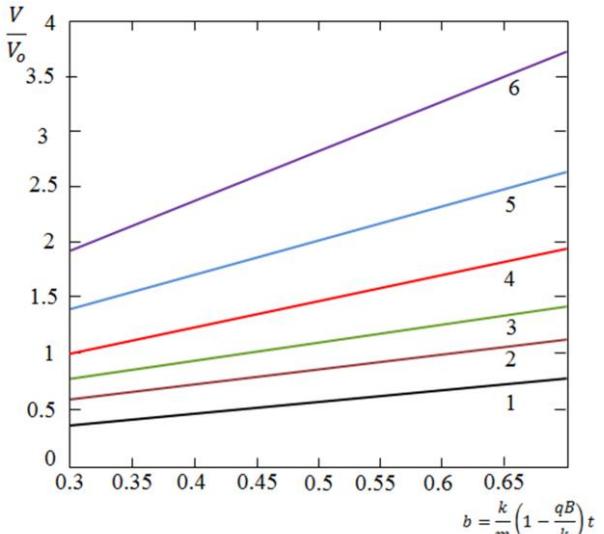


Рис. Зависимость относительной скорости осаждения частиц от напряжённостей магнитного и электрического полей  
(1.  $a = 1,2$ ; 2)  $a = 1,3$ ; 3)  $a = 1,4$ ; 4)  $a = 1,5$ ;  
5)  $a = 1,6$ ; 6)  $a = 1,8$ )

## REFERENCES

1. **Mogutov N.A.** Solution of the problems of sand removal from productive layers of near-fault field // Drilling and oil, 2013, № 4, p. 23-25.  
**Могутов Н.А.** Решение проблем выноса песка из продуктивных слоёв Приразломного месторождения // Бурение и нефть, 2013, № 4, с. 23-25.
  2. **Monro D.** Sand removal control in high discharge gas wells with a big diameter // Oil-gas technologies, №7, 2009, p.13-17.  
**Монро Д.** Борьба с выносом песка в высокодебитных газовых скважинах большого диаметра // Нефтегазовые технологии. № 7, 2009, с. 13 - 17.
  3. **Ramazanova E.E., Zeynalov A.N., Melikov G.Kh.** Development and implementation of innovation technology into the practice of water-sand formation elimination in oil producing wells // International scientific-technological conference devoted to the academician A.Kh. Mirzadjanzade. Collection of theses 16 - 18 November, 2016, Ufa-2016.  
**Рамазанова Э.Э., Зейналов А.Н., Меликов Г.Х.** Разработка и внедрение инновационной технологии в практику ликвидации водо-пескопроявлений в добывающих скважинах // Международная научно-технологическая конференция, посвящённая памяти академика А.Х. Мирзаджанзаде. Сборник тезисов 16 - 8 ноября 2016 г. Уфа - 2016.
  4. **Chero U., Shotvan M. and others.** Preventing of oil entering from the reservoir into the well // Oil-gas technologies, № 12, 2009, p. 5 - 9.  
**Черъо У., Шотван М. и др.** Предотвращение поступления песка из пласта в скважину // Нефтегазовые технологии. № 12, 2009, с. 5 - 9.
  5. **Akhmedov S.F., Kazimov Sh.P., Efendihev I.Y.** Problems of sand formation in oil production and the ways of their solution // Azerb. Oil Industry, 2009, № 8, p. 54 - 59.  
**Ахмедов С.Ф., Кязымов Ш.П., Эфендиев И.Ю.** Проблемы пескопроявления в нефтедобыче и пути их решения // Азербайджанское нефтяное хозяйство. 2009. № 8 - 9, с. 54 - 59.
- 

## MAYEDƏ BƏRK CİSMİN HİSSƏCİKLƏRİNİN ÇÖKDÜRMƏ SÜRƏTİNƏ ELEKTRİK VƏ MAQNİT SAHƏSİNİN TƏSİRİ

A.N. ZEYNALOV

Məqalədə elektrik və maqnit sahələrinin təsirə məruz qalan maye içərisində partiküllərin tərkibinə təsiri nisbəti müzakirə edilir. Elektrik və maqnit sahələrinin mövcudluğunu nəzərə alaraq, neftdə qatı maddələrin parçalanmasının hidrodinamik modeli. Elektrikli və maqnit sahələrinin stresslərini yağdakı parçacıqların sedimentasiya dərəcəsinə təsirini qiymətləndirməyə imkan verən bir formul çıxarıılır. Neftdə partiküllərin sedimentasiya dərəcəsinin linear şəkildə asılılığının həm elektrik sahəsinin gücünə, həm də maqnit sahəsinin induksiyasına asılı olduğu müəyyən edilmişdir.

*Açar sözlər:* elektrik sahəsi, maqnit sahəsi, bərk cismin hissəcikləri, neft, quyu, parçacıqların çökəməsi.

## INFLUENCE OF ELECTRICAL AND MAGNETIC FIELDS ON THE RATE OF PRECIPITATION OF SOLID BODY PARTICLES IN THE LIQUID

A.N. ZEYNALOV

The article examines the influence of electrical and magnetic fields on the rate of precipitation of solid body particles in the liquid. Hydrodynamic model of precipitation of solid body particles in the oil is created with respect to availability of electrical and magnetic fields.

Formula allowing to evaluate the influence of the stress of electrical and magnetic fields on the rate of precipitation of particles in oil is derived. It is determined that dependence of the rate of particles precipitation in the oil dependence linearly depends both on intensity of electric field and induction of magnetic field.

*Keywords:* electrical field, magnetic field, particles of solid body, oil well, precipitation of particles.

---

Redaksiyaya daxil olub: 28.01.2019

Tamamlama işlərindən sonra: 14.10.2019

Nəşrə qəbul edilib: 11.10.2019