ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОЙ МОДЕЛИ ВОДОНЕФТЯНЫХ СЛОИСТЫХ СТРУКТУР

А.М. Блохин, Р.Е. Семенко

Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН, Новосибирск

Новосибирский государственный университет, Новосибирск

THEORETICAL AND NUMERICAL INVESTIGATION OF ONE MODEL OF THE WATER-OIL LAYERED STRUCTURES

A.M. Blokhin, R.E. Semenko

Sobolev Institute of Mathematics, Novosibirsk

Novosibirsk state university, Novosibirsk

*We are concerned with a hydrodynamical model of layered structures at the presence of the electric current. We formulate a linearized stability problem for shock waves and prove its ill-posedness that means instability of shock waves for the given model of layered structures.Then we formulate a linearized stability problem for layered structures and prove that solutions of this problem infinitely grows that means destruction of layered structures at the presence of the small-amplitude alternating electric current. Also we study a parametrical resonance in layered structures.*

**Введение**

Известно, что проблема повышения отдачи нефтяных пластов имеет важное значение для современной энергетики. Трудность решения этой проблемы заключается в том, что в процессе эксплуатации в трещиноватых зонах коллекторов формируются водонефтяные слоистые системы, которые, блокируя транспортную структуру коллекторов, выводят значительные нефтеносные области из режимов водного вытеснения. Восстановление проницаемости коллектора возможно лишь в условиях разрушения слоистых водонефтяных структур. В качестве одного из возможных механизмов разрушения таких образований можно рассмотреть параметрический резонанс, возникающий при гармоническом длительном возмущении внешней границы слоистой системы.

В работе [1] была предложена система гидродинамических уравнений (в обратимом и необратимом приближениях) для газосодержащих водонефтяных слоистых систем. Некоторые численные результаты исследований явлений параметрической неустойчивости в рамках модели из [1] приведены в работе [2].

Однако уже первые исследования возможности организации параметрического резонанса с помощью акустического воздействия указывают на проблему переноса силового воздействия в толщи нефтеносных коллекторов. В этой связи следует отметить, что силовое воздействие, по-видимому, проще обеспечить методами электроразведки. Дело в том, что водонефтяные слоистые системы являются анизотропными диэлектриками, слабо проводящими электрический ток. Следовательно, можно поставить вопрос о развитии параметрической неустойчивости в слоистой системе при протекании переменного электрического тока достаточно малой амплитуды.

Целью настоящей работы является вывод системы гидродинамических уравнений для газосодержащих водонефтяных слоистых систем с электрическими токами в присутствии сторонних (объемных) зарядов. Кроме того, в работе будет обсуждаться вывод более простой математической модели слоистых структур в электрогидродинамическом приближении (более подробно об этом приближении см. [3]). Далее будут рассмотрены возможные способы разрушения слоистых структур: с помощью ударных волн, электрогидродинамической неустойчивости при протекании переменного электрического тока и параметрической неустойчивости при возмущении внешней границы.

**Математическая модель**

Прежде всего, в работе строится математическая модель, описывающая электрогидродинамику слоистых структур. В основу способа получения гидродинамических уравнений, описывающих движение смеси воды, нефти и газа положен континуальный подход (континуальное приближение). Подробно этот подход описан в монографии [4]. Один из фундаментальных фактов, лежащих в основе континуального подхода, заключается в том, что в континуальном приближении констатируется справедливость законов сохранения массы, импульса, энергии, энтропии. Смесь воды, нефти и газа рассматривается как односкоростной слоистый континуум. Для описания электродинамики слоистых структур используются уравнения Максвелла. В итоге, в работе строится следующая система уравнений:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |

Здесь **x**=(*x*1, *x*2, *x*3)=(*x,y,z*) – радиус-вектор, *ρ* – плотность, **v=**(*v*1*, v*2*, v*3) – вектор скорости, *p* – давление, **E=**(*E*1, *E*2, *E*3) – напряженность электрического поля, Σ*ik* – тензор напряжений, *U* – массовая внутренняя энергия, **Q** – вектор потока энергии, **j** – плотность тока, *s* – энтропия, *R* – диссипативная функция, *T* – температура, **D** – электрическая индукция, *ρe* – плотность объемных зарядов, Ω - тензор проводимости. Наконец, *w*=*w*(*t,x*1, *x*2, *x*3) – функция, описывающая слои. А именно, Здесь *u=u*(*t,x*1, *x*2, *x*3) – отклонение слоев от равновесного состояния, *q* – плотность слоев.

**Неустойчивость ударных волн**

При помощи системы (1) в работе исследуется вопрос об устойчивости ударных волн в слоистых структурах. Выводятся соотношения Рэнкина-Гюгонио на сильном разрыве:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2) |

Здесь

[j]=j-j∞ - скачок величины j на разрыве,



*N* – некоторая постоянная,





Для уравнений (1),(2) рассматривается следующее кусочно-постоянное (основное) решение:





Доказывается, что задача (1),(2), линеаризованная на этом решении, имеет нетривиальные бесконечно растущие решения что означает неустойчивость ударных волн в данной модели слоистых структур.

**Электродинамическая неустойчивость**

Далее в работе изучается вопрос о возможности организации электродинамической неустойчивости при протекании переменного электрического тока достаточно малой амплитуды. Рассматривается следующее основное решение:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3) |

Формулируется задача Коши для подсистемы (1), линеаризованной на решении (3):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4) |

Доказывается, что при определенных условиях на параметры задачи, решения бесконечно возрастают по времени, что означает электродинамическую неустойчивость слоистых структур.

**Параметрическая неустойчивость**

Наконец, в работе изучается явление параметрического резонанса в слоистых структурах при возмущении внешней границы области.

Предполагается, что электрическое поле в системе отсутствует, но присутствуют начальные градиенты газовой фазы *C*:



Следуя работе [5], выводится задача Коши для квазилинейного уравнения для отклонения слоев *u*:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (5) |

При помощи численного метода, разработанного в лаборатории вычислительных проблем задач математической физики Института математики СО РАН, доказывается, что при определенных значениях внутренних и внешних параметров, наблюдается параметрический резонанс слоистых структур (см. рис. 1,2).

|  |
| --- |
| 43шагов.bmp |
| Рис. 1. График функции *u*, 43 шага по времени |

|  |
| --- |
| 1005шагов.bmp |
| Рис. 2. График функции *u*, 1000 шагов по времени |

Настоящая работа выполнена при поддержке РФФИ (код проекта 10-01-00320-а), СО РАН (междисциплинарный проект № 91, 2009-2010 г.г.).

**Список литературы**

1. Dorovsky V.N., Dorovsky S.V. A hydrodynamic model of water-oil layered systems containing gas. Math. Comput. Mod., v.35, pp.751-757.
2. Dorovsky V.N., Belonosov V.S., Belonosov A.S. Numerical investigation of parametric resonance in water-oil structures containing gas. Math. Comput. Mod., 2002, v.36, pp.203-209.
3. Гогосов В.В., Полянский В.А. Электрогидродинамика: задача и приложения, основные уравнения, разрывные решения. Механика жидкости и газа (Итоги науки и техники), 1976, 10, стр.5-85.
4. Блохин А.М., Доровский В.Н. Проблемы математического моделирования в теории многоскоростного континуума. РАН, Сиб. отд-ние, Объед. ин-т геологии, геофизики и минералогии, Ин-т математики, Новосибирск, 1994.
5. Белоносов В. С., Доровский В. Н., Белоносов А. С., Доровский С. В. Гидродинамика газосодержащих слоистых систем. Успехи механики. 2005. Т. 3, N0 2. с. 37-70.