

ISSN 1991-346X

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА
СЕРИЯСЫ**



СЕРИЯ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ



**PHYSICO-MATHEMATICAL
SERIES**

2 (306)

НАУРЫЗ – СӘУІР 2016 ж.

МАРТ – АПРЕЛЬ 2016 г.

MARCH – APRIL 2016

1963 ЖЫЛДЫҢ ҚАҢТАР АЙЫНАН ШЫҒА БАСТАҒАН
ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 1963 ГОДА
PUBLISHED SINCE JANUARY 1963

ЖЫЛЫНА 6 РЕТ ШЫҒАДЫ
ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД
PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

АЛМАТЫ, ҚР ҰҒА
АЛМАТЫ, НАН РК
ALMATY, NAS RK

Б а с р е д а к т о р

ҚР ҰҒА академигі,

Мұтанов Г. М.

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Әшімов А.А.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Байғұнчечков Ж.Ж.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Жұмаділдаев А.С.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Қалменов Т.Ш.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Мұқашев Б.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Өтелбаев М.О.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Тәкібаев Н.Ж.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Харин С.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Әбішев М.Е.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Жантаев Ж.Ш.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Қалимолдаев М.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Косов В.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Мұсабаев Т.А.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Ойнаров Р.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Рамазанов Т.С.** (бас редактордың орынбасары); физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Темірбеков Н.М.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Өмірбаев У.У.**

Р е д а к ц и я к ең е с і:

Украинаның ҰҒА академигі **И.Н. Вишневский** (Украина); Украинаның ҰҒА академигі **А.М. Ковалев** (Украина); Беларусь Республикасының ҰҒА академигі **А.А. Михалевич** (Беларусь); Әзірбайжан ҰҒА академигі **А. Пашаев** (Әзірбайжан); Молдова Республикасының ҰҒА академигі **И. Тигиняну** (Молдова); мед. ғ. докторы, проф. **Иозеф Банас** (Польша)

Главный редактор

академик НАН РК

Г. М. Мутанов

Редакционная коллегия:

доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **А.А. Ашимов**; доктор техн. наук, проф., академик НАН РК **Ж.Ж. Байгунчеков**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **А.С. Джумадильдаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Т.Ш. Кальменов**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Б.Н. Мукашев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **М.О. Отелбаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Н.Ж. Такибаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **С.Н. Харин**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Е. Абишев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Ж.Ш. Жантаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Н. Калимолдаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **В.Н. Косов**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Т.А. Мусабаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Р. Ойнаров**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Т.С. Рамазанов** (заместитель главного редактора); доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Н.М. Темирбеков**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **У.У. Умирбаев**

Редакционный совет:

академик НАН Украины **И.Н. Вишневский** (Украина); академик НАН Украины **А.М. Ковалев** (Украина); академик НАН Республики Беларусь **А.А. Михалевич** (Беларусь); академик НАН Азербайджанской Республики **А. Пашаев** (Азербайджан); академик НАН Республики Молдова **И. Тигиняну** (Молдова); д. мед. н., проф. **Иозеф Банас** (Польша)

«Известия НАН РК. Серия физико-математическая». ISSN 1991-346X

Собственник: РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы)

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов Министерства культуры и информации Республики Казахстан №5543-Ж, выданное 01.06.2006 г.

Периодичность: 6 раз в год.

Тираж: 300 экземпляров.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 219, 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,

www.nauka-nanrk.kz/physics-mathematics.kz

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2016

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75.

Editor in chief

G. M. Mutanov,
academician of NAS RK

Editorial board:

A.A. Ashimov, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **Zh.Zh. Baigunchekov**, dr. eng. sc., prof., academician of NAS RK; **A.S. Dzhumadildayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **T.S. Kalmenov**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **B.N. Mukhashev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **M.O. Otelbayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **N.Zh. Takibayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **S.N. Kharin**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **M.Ye. Abishev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **Zh.Sh. Zhantayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **M.N. Kalimoldayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **V.N. Kosov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **T.A. Mussabayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **R. Oinarov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **T.S. Ramazanov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK (deputy editor); **N.M. Temirbekov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **U.U. Umirbayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK

Editorial staff:

I.N. Vishnievski, NAS Ukraine academician (Ukraine); **A.M. Kovalev**, NAS Ukraine academician (Ukraine); **A.A. Mikhalevich**, NAS Belarus academician (Belarus); **A. Pashayev**, NAS Azerbaijan academician (Azerbaijan); **I. Tighineanu**, NAS Moldova academician (Moldova); **Joseph Banas**, prof. (Poland).

News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Physical-mathematical series.
ISSN 1991-346X

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty)

The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of information and archives of the Ministry of culture and information of the Republic of Kazakhstan N 5543-Ж, issued 01.06.2006

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 300 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,
www.nauka-nanrk.kz / physics-mathematics.kz

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2016

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 2, Number 306 (2016), 159–168

UDC 622.276

**NUMERICAL SOLUTION OF THE ONE DIMENSIONAL MODEL
OF GAS-LIFT PROCESS****N. M. Temirbekov¹, A. K. Turarov¹**¹ D. Serikbayev East Kazakhstan State Technical University
Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan
temirbekov@rambler.ru, t010183@gmail.com**Key words:** interfacial contact discontinuity, gas-liquid mixture, gas lift.

Abstract. We consider and conduct a numerical simulation of a one-dimensional model of gas-lift process, where the movement in gas-lift well is described by partial differential equations of hyperbolic type. Difference schemes for the gas-lift model of the process on a non-uniform grid condensing near the boundaries of subdomains with gas, liquid and a gas-liquid mixture are developed.

In this paper, the mathematical model of gas lift wells is developed. A one-dimensional model of gas-lift wells is examined in which it is assumed that the flow is two-phase and isothermic in the annular portion and in the well. The system, which describes the process under study, consists of the equations of motion and continuity equations of thermodynamic state, concentration, and hydraulic resistance. At the interface, matching conditions for pressure, velocity and concentration are set that allows to obtain a formula for determining the density of the liquid phase in an explicit form. Finite-difference scheme on adaptive non-uniform grid condensing on the boundaries of the gas, liquid and liquid-gas phase, is developed. When building a grid, cubic spline function is used. The results of the proposed algorithm is illustrated by the example of a real well.

УДК 622.276

**ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ОДНОМЕРНОЙ МОДЕЛИ
ГАЗЛИФТНОГО ПРОЦЕССА****Н. М. Темирбеков¹, А. К. Тураров¹**¹ Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,
Усть-Каменогорск, Казахстан**Ключевые слова:** контактный разрыв, границы разделов фаз, газожидкостная смесь, газлифт.

Аннотация. Рассматривается и проводится численное моделирование одномерной модели газлифтного процесса, где движение в газлифтной скважине описывается уравнениями в частных производных гиперболического типа. Разработаны разностные схемы для модели газлифтного процесса на неравномерной сетке сгущающихся вблизи границ подобластей занятых газом, жидкостью и газожидкостной смесью.

В данной работе разработана математическая модель газлифтной скважины. Рассмотрена одномерная модель газлифтной скважины, в которой предполагается, что поток в кольцевой части и скважине двухфазный и изотермический. Система, описывающая изучаемый процесс, состоит из уравнений движения, неразрывности и уравнений термодинамического состояния, концентраций, гидравлического сопротивления. На границах разделов фаз ставятся условия согласования для давления, скорости и концентрации, которые позволяют получить формулу для определения плотности жидкой фазы в явном виде. Разработана конечно-разностная схема на адаптивной неравномерной сетке, сгущающаяся на границах газовой, жидкостной и газожидкостной фаз. При построении сетки используется кубическая сплайн-функция. Результаты предложенного алгоритма иллюстрируются на примере отдельно взятой нефтяной скважины.

Введение

Применение динамических моделей газожидкостных потоков для описания добычи и транспортировки нефти началось сравнительно недавно. В них используются нестационарные уравнения баланса массы, импульса и энергии для жидкой и газообразной фаз. Основной сложностью является наличие разрывов в распределении плотности в скважине. Для этого на основании экспериментальных данных были подобраны непрерывные функции от газосодержания для скорости всплытия газа и параметра профиля потока.

Первые динамические модели газожидкостных потоков пришли в нефтегазовую отрасль именно из области тепловой и атомной энергетики. Имеется работы крупных ученых Нигматулина Р.И. [1], Кутатладзе С.С. [2], Накорякова В.Е. [5, 6] связанные с движением газожидкостных смесей в трубах и более детальные и разносторонние исследования в теоретическом плане.

В 1980-1990-ых годах появился ряд моделей и программных пакетов для моделирования нестационарных потоков углеводородов: OLGA [7], TASCITE [8], TUFFP [9, 10].

В основе модели OLGA [7] применяются отдельные уравнения баланса массы для жидкой и газовой фазы. Сохранение импульса системы также описываются отдельными уравнениями для газа и жидкости. Модель OLGA предназначена для расчета нестационарных газожидкостных потоков в системах сбора углеводородной продукции и в нефтепроводах.

Модель TASCITE также предназначен для расчета неустановившихся и стационарных потоков в системах транспортировки нефти и газа.

В общем виде уравнения массы аналогичны уравнениям модели OLGA. Вместо двух уравнений импульса для фаз в модели TASCITE используется одно уравнение для газожидкостной смеси. Поскольку в модели число неизвестных больше числа уравнений используются эмпирические соотношения между скоростью газа и скоростью смеси. В модели TASCITE для численной реализации используется явная схема второго порядка точности. Разностная схема обладает хорошими консервативными свойствами и имеет второй порядок точности, однако как и большинство схем второго порядка характеризуется рассеивающими качеством. Это особенно проявляется при резких разрывах и фронтах, когда при резких разрывах и фронтах в результате расчетов возникает рябь в соседних с фронтом ячейках.

Во избежание данного явления была предложена гибридная схема, сочетающая схему второго порядка и схему первого порядка. Для сильных разрывов потоковый член имеет аппроксимацию первого порядка, за пределом фронта аппроксимацию второго порядка точности.

В модели TUFFP газожидкостной поток описывается двухфазной моделью с упрощающими предположениями. Уравнение баланса массы для жидкой фазы аналогично как в модели OLGA, а для газа используется упрощенное квазистационарное уравнение. Уравнения баланса импульса так же записывается в квазистационарном виде.

Система дифференциальных уравнений решается полуявным конечно-разностным методом, для расчета применяется равномерная сетка. Общими недостатками имеющихся динамических моделей является большое количество и качество входных данных, численная неустойчивость. Несмотря на это динамические модели применяются для моделирования транспортировки газожидкостных смесей.

В последние годы стали появляться работы, в которых динамические модели применяются для изучения нестационарных процессов в скважинах.

В работах Tang, Schmidt, Blais [10], Avest and Oudeman [11], Asheim [12] изучается запуск газлифтной скважины и нестабильные режимы работы газлифтного подъемника. В данных моделях газлифта рассматривается совместная гидрогазодинамика нефтяного пласта, скважины и закачиваемого газа.

Изучение процессов разработки месторождений имеет важное практическое значение в нефтегазовой отрасли в связи с необходимостью совершенствования методов увеличения добычи. Математическому моделированию этих процессов посвящено очень большое количество работ [12-18]. Одним из наиболее эффективных и экономичных методов нефтедобычи является метод газлифта, который играет важную роль после фонтанного процесса. Основной характеристикой газлифтных скважин является зависимость дебита скважины от объемного расхода закачиваемого газа. Все исследования посвящены нахождению оптимального режима работы газлифтных

скважин, т.е. определению минимального значения удельного расхода газа и анализу этих характеристик. Работы Алиева Ф.А. и его учеников [12-14], а также работы [15,16] посвящены моделированию работы газлифтной скважины. В их работах приводится большой обзор научных работ, посвященных известным методам исследования и оптимизации работы газлифтных скважин. В работе [14] решена комплексная задача оптимизации работы газлифтных скважин. Предложенный подход дает возможность создать принципиально новую автоматизированную систему, которая позволит прогнозировать показатели газлифтной скважины. В статье [15] предложена дискретная минимаксная задача, и с помощью уравнения Эйлера-Лагранжа находится оптимальный режим газлифта.

В работе Барашкина Р.Л. [17] разработана динамическая математическая модель газлифтной скважины с учетом передвижения границ фаз, их образования, смены периода работы скважины и относительной скорости газа.

Во всех вышеперечисленных работах при численном решении используется равномерная сетка по пространственным переменным и в каждой подобласти задача решается отдельно, тогда как на границе раздела фаз имеются большие градиенты скорости, плотности и давления. Поэтому в данной работе разработаны разностные схемы для модели газлифта во всех подобластях и на неравномерной сетке, которая сгущается в подобластях с большими градиентами, т.е. на границах раздела фаз. Для сгущения сетки используется кубическая функция, т.к. процесс интерполирования кубическими сплайн-функциями является сходящимся. Разработанной разностной схемой и алгоритмом ее реализации проведены многочисленные расчеты газлифтной скважины. Результаты численных расчетов приведены в виде графиков.

Система дифференциальных уравнений в частных производных для математического моделирования газлифтной скважины

В работе [17] разработана структура газлифтной скважины, приведены допущения математической модели. В скважине выделены объемы для моделирования дифференциальными уравнениями в частных производных. Потoki в выделенных объемах могут быть однофазными или двухфазными. Однофазные потоки состоят из газа или жидкости, а двухфазный поток образует газожидкостную смесь (ГЖС).

При разработке математической модели сделаны следующие допущения (рис.1):

- поток в скважине двухфазный;
- процесс движения изотермический;
- подача рабочего агента осуществляется через кольцо;
- добыча нефти осуществляется через насосно-компрессорную трубу (НКТ);
- силы сопротивления пористой среды и вязкости описываются в виде суммарного гидравлического сопротивления.

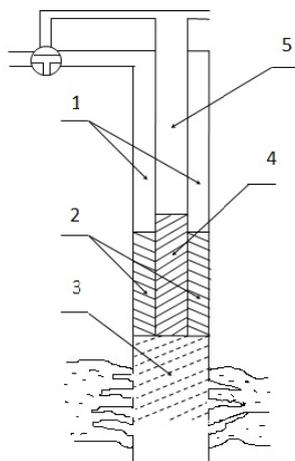


Рисунок 1 – Газлифтная скважина: 1 – газ в кольце ; 2 – жидкость в кольце ;
3 – газожидкостная смесь в эксплуатационной колонне; 4 – жидкость в НКТ; 5 – газ в НКТ

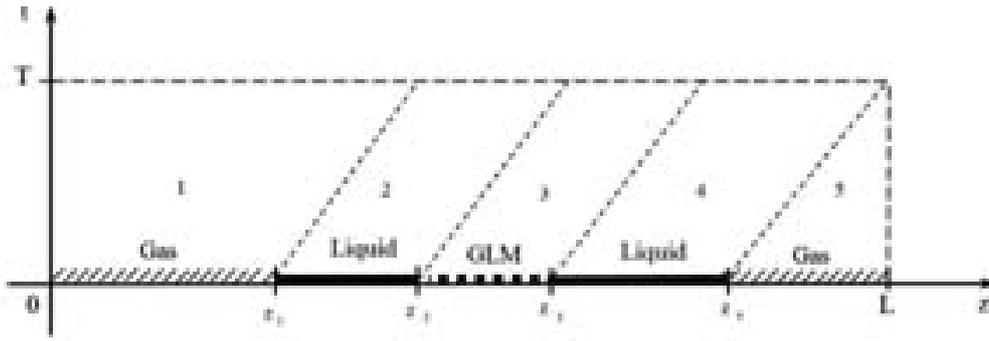


Рисунок 2 – Расчетная область газлифтной скважины

Рассмотрим системы уравнений, описывающих движение в газлифтных скважинах [17] (рис. 2).

Уравнение движения

$$\varphi \rho^g \frac{dv^g}{dt} + (1 - \varphi) \rho^l \frac{dv^l}{dt} = - \frac{\partial p}{\partial z} - \frac{\lambda_c}{2 \cdot d_r} (\varphi \rho^g v^g |v^g| + (1 - \varphi) \rho^l v^l |v^l|) + (\varphi \rho^g + (1 - \varphi) \rho^l) g \sin \theta. \quad (1)$$

Уравнения неразрывности

$$\frac{\partial \varphi \rho^g}{\partial t} + \frac{\partial \varphi \rho^g v^g}{\partial z} = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial (1 - \varphi) \rho^l}{\partial t} + \frac{\partial (1 - \varphi) \rho^l v^l}{\partial z} = 0. \quad (3)$$

Термодинамические уравнения состояния

$$\begin{cases} \text{для газа:} & p = \rho^g RT / M, \\ \text{для жидкости:} & p = p_0 + \frac{1}{\beta} \left(\frac{\rho^l}{\rho_0^l} - 1 \right). \end{cases} \quad (4)$$

Уравнение концентраций

$$\varphi(z, t) = \begin{cases} b, & 0 \leq z \leq z_1 - \varepsilon, \\ \frac{b+a}{2} - \frac{b-a}{2} th R_\varphi(z - z_1), & z_1 - \varepsilon \leq z \leq z_1 + \varepsilon, \\ a, & z_1 + \varepsilon \leq z \leq z_2 - \varepsilon, \\ \frac{b_1+a}{2} + \frac{b_1-a}{2} th R_\varphi(z - z_2), & z_2 - \varepsilon \leq z \leq z_2 + \varepsilon, \\ b_1, & z_2 + \varepsilon \leq z \leq z_3 - \varepsilon, \\ \frac{b_1+a}{2} - \frac{b_1-a}{2} th R_\varphi(z - z_3), & |z - z_3| \leq \varepsilon, \\ a, & z_3 + \varepsilon \leq z \leq z_4 - \varepsilon, \\ \frac{b+a}{2} + \frac{b-a}{2} th R_\varphi(z - z_4), & |z - z_4| \leq \varepsilon, \\ b, & z_4 + \varepsilon \leq z \leq L, \end{cases} \quad (5)$$

где $b = 1$, $a = 0$, $b_1 = \frac{0.83v^g - v^l}{v^g - v^l}$, $th z$ - гиперболический тангенс; ε -малый параметр, $z_k = z_k(t)$ - функции времени, границы разделов фаз.

Уравнение для коэффициента гидравлических сопротивлений

$$\lambda_c = \lambda_c(p, \rho^\Gamma, \rho^{\text{ж}}, v^\Gamma, v^{\text{ж}}, \varphi, \mu), \quad (5)$$

Здесь, t - время, z - координата по глубине скважины, φ - истинное объемное содержание фазы, ρ^Γ - плотность газа, $\rho^{\text{ж}}$ - плотность жидкости, p - давление, v_Γ - средняя скорость газовой фазы, $v^{\text{ж}}$ - средняя скорость жидкой фазы, λ_c - коэффициент гидравлического сопротивления, d_Γ - гидравлический диаметр канала, g - ускорение свободного падения, θ - угол наклона скважины, R - универсальная газовая постоянная, T - абсолютная температура, M - молярная масса, p_0 - начальное давление жидкости, $\rho_0^{\text{ж}}$ - соответствующая начальному давлению плотность, β - коэффициент сжимаемости жидкости, μ - коэффициент динамической вязкости.

Уравнение (1) с учетом (2), (3) можно записать и в дивергентном виде

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} (\varphi \rho^\Gamma v^\Gamma + (1 - \varphi) \rho^{\text{ж}} v^{\text{ж}}) + \frac{\partial}{\partial z} (\varphi \rho^\Gamma (v^\Gamma)^2 + (1 - \varphi) \rho^{\text{ж}} (v^{\text{ж}})^2) = \\ & = - \frac{\partial p}{\partial z} - \frac{\lambda_c}{2 \cdot d_\Gamma} (\varphi \rho^\Gamma v^\Gamma |v^\Gamma| + (1 - \varphi) \rho^{\text{ж}} v^{\text{ж}} |v^{\text{ж}}|) + (\varphi \rho^\Gamma + (1 - \varphi) \rho^{\text{ж}}) g \sin \theta. \end{aligned} \quad (6)$$

Коэффициент динамической вязкости для ГЖС определяется следующим образом

$$\mu = \varphi \mu^\Gamma + (1 - \varphi) \mu^{\text{ж}}. \quad (7)$$

Расходное газосодержание α определяется так

$$\alpha = \frac{Q^\Gamma}{Q^\Gamma + Q^{\text{ж}}}, \quad (8)$$

где Q^Γ , $Q^{\text{ж}}$ - расходы газа и жидкости.

Обозначим через F^Γ , $F^{\text{ж}}$ - площади в сечении трубы занятые газом и жидкостью. Расходы газа и жидкости через скорости выражаются формулой

$$Q^\Gamma = v^\Gamma F^\Gamma, \quad Q^{\text{ж}} = v^{\text{ж}} F^{\text{ж}} \quad (9)$$

Подставляя (9) в (8) и разделив числитель и знаменатель на F , и учитывая что $\varphi = \frac{F^\Gamma}{F}$, $1 - \varphi = \frac{F^{\text{ж}}}{F}$ получим

$$\alpha = \frac{\varphi v^\Gamma}{\varphi v^\Gamma + (1 - \varphi) v^{\text{ж}}}. \quad (10)$$

Уравнения (1)-(5) решаются в подобластях 1-5 (рис. 2) со следующими начальными и граничными условиями:

$$\rho_\Gamma(z, 0) = \psi_\rho(z), \quad p(z, 0) = \psi_p(z), \quad v_\Gamma(z, 0) = \psi_v(z), \quad \text{при } 0 \leq z \leq L, \quad (11)$$

$$\rho_\Gamma(0, t) = \rho(0, 0), \quad v_\Gamma(0, t) = v(0, 0), \quad p(0, t) = p(0, 0), \quad \text{при } z = 0, \quad 1 \leq t \leq T, \quad (12)$$

$$\rho_\Gamma(L, t) = \rho(L, 0), \quad v_\Gamma(L, t) = v(L, 0), \quad p(L, t) = p(L, 0), \quad \text{при } z = L, \quad 1 \leq t \leq T, \quad (13)$$

где функции $\psi_\rho(z)$, $\psi_p(z)$, $\psi_v(z)$ задаются в подобластях в зависимости от фазы среды.

Уравнения (1) - (4) представляют собой общую форму соотношений, связывающих параметры по обе стороны раздела фаз (гидродинамические разрывы) и скорость ее распространения. Поэтому на границах разделов фаз выполняются следующие соотношения Гюгонио, которые выражают законы сохранения потоков массы, импульса и энергии через поверхность разрыва.

$$m = \rho^\Gamma (v^\Gamma - D) = \rho^{\text{ж}} (v^{\text{ж}} - D), \quad (14)$$

$$\rho^\Gamma (v^\Gamma)^2 + p^\Gamma = \rho^{\text{ж}} (v^{\text{ж}})^2 + p^{\text{ж}}, \quad (15)$$

где $D(t)$ - скорость перемещения границ фаз.

Так как на границах разделов фаз контактный разрыв имеем, что $\bar{m} = 0$. По физическому смыслу ρ^Γ и $\rho^{\text{ж}}$ не равны нулю, равно $m = 0$ может быть выполнено лишь при $\rho^\Gamma = \rho^{\text{ж}} = D(t)$.

Итак, на поверхности контактных разрывов должны быть непрерывны нормальная составляющая скорости газа или жидкости давление [3]

$$[\varphi]_{z=z_k} = 0, \quad [p]_{z=z_k} = 0, \quad [v]_{z=z_k} = 0, \quad k = 1, 2, 3, 4. \quad (16)$$

На границах разделов фаз для определения плотности используем условия $[p]_{z=z_k} = p(z_k - 0, t) - p(z_k + 0, t) = 0$. Например на границе $z = z_1$ газа и жидкости имеем две формулы для давления

$$p(z_k - 0, t) = \rho_r(z_k - 0, t)RT/M, \quad p(z_k + 0, t) = p_0 + \frac{1}{\beta} \left(\frac{\rho^*(z_k+0, t)}{\rho_0^*} - 1 \right).$$

Приравнивая эти уравнения для плотности жидкости имеем формулу

$$\rho^*(z_k + 0, t) = \rho_0^* + \rho_0^* \beta \left(\frac{\rho^r(z_k-0, t)RT}{M} - p_0 \right). \quad (17)$$

Построение разностной схемы

Для численного решения начально-граничной задачи определим неравномерную по z и равномерную по t разностную сетку в следующем виде:

$W_h = \{z_j = jh_j, j = 0, 1, \dots, N_1, h_j N_1 = L\}$, $W_\tau = \{t_i = i\tau, i = 0, 1, \dots, N_2, \tau N_2 = T\}$, где τ и h - шаги расчетной сетки по t и z , соответственно.

Интегро-интерполяционным методом построена разностная схема, аппроксимирующая дифференциальные уравнения (1)-(5). Нелинейные слагаемые аппроксимированы с помощью схемы против потока.

Разностный аналог уравнения движения

$$\begin{aligned} & \frac{\varphi_{j,i+1} \rho_{j,i+1}^r v_{j,i+1}^r + (1 - \varphi_{j,i+1}) \rho_{j,i+1}^* v_{j,i+1}^*}{\tau} - \frac{\varphi_{j,i} \rho_{j,i}^r v_{j,i}^r + (1 - \varphi_{j,i}) \rho_{j,i}^* v_{j,i}^*}{\tau} + \frac{p_{j+1,i} - p_{j,i}}{h_j} = \\ & = -\varphi_{j,i} \rho_{j,i}^r \left[\frac{1}{2h_j} (v_{j,i}^r + |v_{j,i}^r|)(v_{j,i}^r - v_{j-1,i}^r) + \frac{1}{2h_j} (v_{j,i}^r - |v_{j,i}^r|)(v_{j+1,i}^r - v_{j,i}^r) \right] - \\ & - (1 - \varphi_{j,i}) \rho_{j,i}^* \left[\frac{1}{2h_j} (v_{j,i}^* + |v_{j,i}^*|)(v_{j,i}^* - v_{j-1,i}^*) + \frac{1}{2h_j} (v_{j,i}^* - |v_{j,i}^*|)(v_{j+1,i}^* - v_{j,i}^*) \right] - \\ & - \frac{\lambda_{j,i}}{2 \cdot d_\tau} (\varphi_{j,i} \rho_{j,i}^r |v_{j,i}^r| + (1 - \varphi_{j,i}) \rho_{j,i}^* |v_{j,i}^*|) + (\varphi_{j,i} \rho_{j,i}^r + (1 - \varphi_{j,i}) \rho_{j,i}^*) g \sin \alpha, \quad (18) \\ & j = 1, 2, \dots, N_1 - 1; i = 1, 2, \dots, N_2. \end{aligned}$$

Для уравнение неразрывности газа и жидкости применено схема TVD (Total Variation Diminition) на примере схемы Лакса-Вендроффа.

Уравнение неразрывности газа

$$\begin{aligned} & \frac{\varphi_{j,i+1} \rho_{j,i+1}^r - \varphi_{j,i} \rho_{j,i}^r}{\tau} + \frac{1}{2h_j} [(v_{j,i}^r + |v_{j,i}^r|)(\varphi_{j,i} \rho_{j,i}^r - \varphi_{j-1,i} \rho_{j-1,i}^r) + \\ & + (v_{j,i}^r - |v_{j,i}^r|)(\varphi_{j+1,i} \rho_{j+1,i}^r - \varphi_{j,i} \rho_{j,i}^r)] + \frac{v_{j,i}^r}{h_j} (f_{i+\frac{1}{2},i} - f_{i-\frac{1}{2},i}) = 0, \quad (19) \end{aligned}$$

где $f_{i+\frac{1}{2},i} = \psi(r_j) \left(1 - \frac{\tau |v_{j,i}^r|}{h_j} \right) (\varphi_{j+1,i} \rho_{j+1,i}^r - \varphi_{j,i} \rho_{j,i}^r)$, $j = 1, 2, \dots, N_1 - 1; i = 1, 2, \dots, N_2$.

Уравнение неразрывности жидкости

$$\begin{aligned} & \frac{(1 - \varphi_{j,i+1}) \rho_{j,i+1}^* - (1 - \varphi_{j,i}) \rho_{j,i}^*}{\tau} + \frac{1}{2h_j} [(v_{j,i}^* + |v_{j,i}^*|) ((1 - \varphi_{j,i}) \rho_{j,i}^* - (1 - \varphi_{j-1,i}) \rho_{j-1,i}^*) + \\ & + (v_{j,i}^* - |v_{j,i}^*|) ((1 - \varphi_{j+1,i}) \rho_{j+1,i}^* - (1 - \varphi_{j,i}) \rho_{j,i}^*)] + \frac{v_{j,i}^*}{h_j} (f_{i+\frac{1}{2},i} - f_{i-\frac{1}{2},i}) = 0, \quad (20) \end{aligned}$$

где $f_{i+\frac{1}{2},i} = \psi(r_j) \left(1 - \frac{\tau |v_{j,i}^*|}{h_j} \right) ((1 - \varphi_{j+1,i}) \rho_{j+1,i}^* - (1 - \varphi_{j,i}) \rho_{j,i}^*)$,

$j = 1, 2, \dots, N_1 - 1; i = 1, 2, \dots, N_2$.

Ограничитель (лимитер) схемы TVD (Total Variation Diminition), т.е. схемы с уменьшением полной вариации выбирается следующим образом

$$0 < \psi(r_j) \leq \min(2r_j, 2), r_j > 0, \quad \psi(r_j) = 0, r_j \leq 0,$$

где $r_j = \frac{\rho_{j,i}^\gamma - \rho_{j-1,i}^\gamma}{\rho_{j+1,i}^\gamma - \rho_{j,i}^\gamma}$, $j = 1, 2, \dots, N_1 - 1$; $i = 1, 2, \dots, N_2$ $\gamma = \text{г, ж}$.

Давление газа определим с помощью формулы

$$p_{j,i+1} = \rho_{j+1,i}^\gamma RT/M, \quad (21)$$

давление жидкости

$$p_{j,i+1} = p_0 + \frac{1}{\beta} \left(\frac{\rho_{j,i+1}^{\text{ж}}}{\rho_0^{\text{ж}}} - 1 \right). \quad (22)$$

Поскольку в модели (18) число неизвестных $v_{j,i+1}^\gamma$, $v_{j,i+1}^{\text{ж}}$ больше числа уравнений, поэтому необходимы замыкающие соотношения. Для распределенного потока используется следующая взаимосвязь скоростей газа и жидкости [16].

$$v_{j,i+1}^\gamma (0,83 - \varphi_{j,i+1}) = (1 - \varphi_{j,i+1}) v_{j,i+1}^{\text{ж}}, \quad (23)$$

коэффициент гидравлического сопротивления определяется в зависимости от числа Рейнольдса

$$\lambda_{j,i} = \frac{64}{Re_{j,i}}, \quad (24)$$

где число Рейнольдса определяется с помощью формулы

$$Re_{j,i} = \frac{LV}{\mu_{j,i}}. \quad (25)$$

В разностной задаче (18)-(24) используется неравномерная сетка [19, 20] с шагами h_j , $j = 0, 1, \dots, N_1$. Неравномерная сетка сгущается на границе подобластей. Сгущение сетки осуществляется с помощью зависимости $z_k = z_k(q, t)$ формулами

$$z_k(q, t) = a_k(q - q_{n_k})^3 + b_k(q - q_{n_k})^2 + c_k(q - q_{n_k}) + d_k, \quad k = 1, 2, 3, 4, \quad (26)$$

где q - координатная ось на трезок $[0; 1]$ которого отображается отрезок $[0; 2]$ координатной оси z ; причем по оси q строится равномерная сетка соответствующая неравномерной сетке по оси z ; n_k - граница разделов фаз; a_k, b_k, c_k, d_k - коэффициенты кубической параболы.

Шаг неравномерной сетки определяется так $h_j = z_k(q_j, t) - z_k(q_{j-1}, t)$, где $j = n_k - n_\varepsilon, n_k - n_\varepsilon + 1, \dots, n_k + n_\varepsilon$, $n_\varepsilon = \left[\frac{\varepsilon}{h_q} \right]$, $h_q = \frac{1}{N_1}$ - шаг равномерной сетки по q .

Скорость ГЖС вычисляется по формуле

$$v_{j,i+1}^{\text{ГЖС}} = \varphi_{j,i} v_{j,i+1}^\gamma + (1 - \varphi_{j,i}) v_{j,i+1}^{\text{ж}}, \quad (27)$$

$$j = n_2 + 1, n_2 + 2, \dots, n_3 - 1, \quad i = 0, 1, \dots, N_2.$$

Границы разделов фаз z_k за один шаг по времени передвигаются на величину

$$\Delta l_k = v_{n_k,i} \cdot \tau, \quad (28)$$

где $k = 1, 2, 3, 4$. Номера узлов сетки соответствующие границам разделов фаз определяются так

$$n_k = n_k + [\Delta l_k / h_j]. \quad (29)$$

Результаты численного моделирования

Используя вышеприведенный алгоритм, была составлена программа для вычисления основных технологических характеристик газлифтной скважины. Были заданы следующие исходные данные: $t = 3600$ с, $L = 3496$ м, $\rho^\gamma = 0,75$ м/кг³, $\rho^{\text{ж}} = 950$ м/кг³, $d_1 = 0,0889$ м, $d_2 = 0,0759$ м, $D = 0,168$ м, $p_n = 9$ МПа, $p_{nl} = 19$ МПа, $p_y = 1,5$ МПа, $T = 333$ К, $g = 9,80665$ м/с².

На рисунках 3, 4, 5, 6 приведены истинное содержание газа, плотность, давление и скорости. На рисунке 3 приведен график изменения истинного содержания газа вдоль скважины. На рисунке 4 приведен график изменения плотности газа, жидкости, ГЖС вдоль скважины. На рисунке 5 построен график функции давления. Из данного графика видно, что давление среды в пласте увеличивается вдоль течения до момента образования газожидкостной смеси, а затем

уменьшается. Из графика скорости (рисунок 6) наблюдается монотонное уменьшение скорости среды до образования ГЖС, за смесью скорость жидкости и газа в НКТ увеличивается.

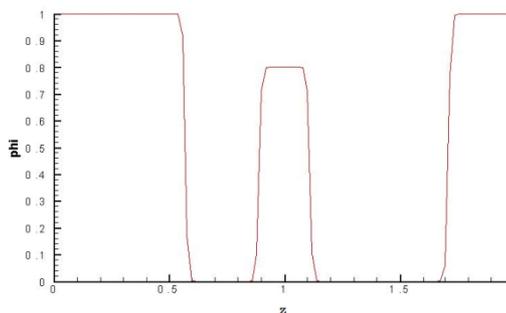


Рисунок 3 – Истинное содержание газа

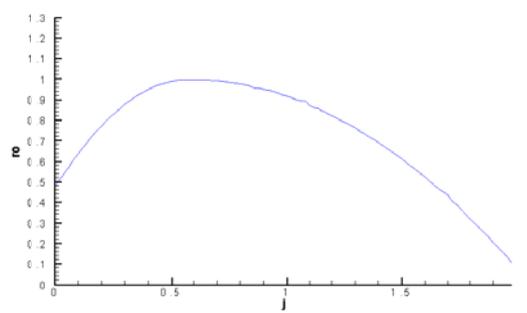


Рисунок 4 – Плотность

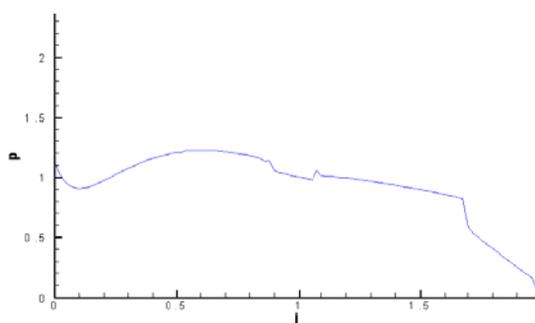


Рисунок 5 – Давление

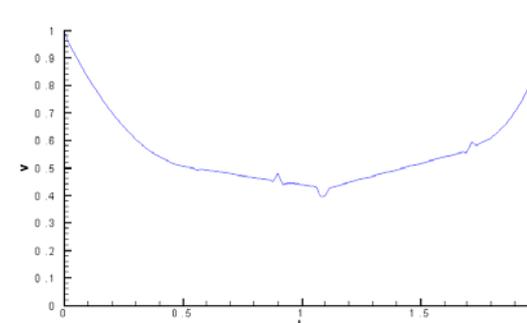


Рисунок 6 – Скорость

Заключение.

В данной работе разработана математическая модель газлифтной скважины и рассмотрена одномерная модель газлифтной скважины, в которой предполагается, что поток в кольцевой части и скважине двухфазный и изотермический. Описывающий изучаемый процесс состоит из уравнений движения, неразрывности и уравнений термодинамического состояния, концентраций, гидравлического сопротивления. На границах разделов фаз ставятся условия согласования для давления, скорости и концентрации, которые позволяют получить формулу для определения плотности жидкой фазы в явном виде. Разработана конечно-разностная схема на адаптивной неравномерной сетке, сгущающаяся на границах газовой, жидкостной и газожидкостной фаз. При построении сетки используется кубическая сплайн-функция. Используя предложенный алгоритм численного решения одномерной задачи для газлифтной скважины, составлена программа для расчета на компьютере. Предложенными численными алгоритмами решения задачи определения плотности, давления, скорости для газлифтной скважины проведены многочисленные методические расчеты. Из результатов расчетов можно сделать вывод, что разработанная математическая модель, разностная схема и компьютерная программа позволяют изучать физический процесс в газлифтной скважине и решать вопросы оптимального эксплуатации нефтяных месторождений.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред, Т.1,2, М., Наука, 1987 (in Russ.)
- [2] Кутателадзе С.С. Стырикович М.А. Гидродинамика газожидкостных систем. М.: Энергия, 1976. (in Russ.)
- [3] Самарский А.А., Попов Ю.П. Разностные методы решения задач газовой динамики. М.: Наука, 1992. – 424 с. (in Russ.)
- [4] Шокин Ю.И. Первое дифференциальное приближение. - Новосибирск: Наука, 1979 (in Russ.)

- [5] Накоряков В.Е., Соболев В.В., Шрейбер И.Р. Длинноволновые возмущения в газожидкостной смеси *Известия АН СССР. МЖТ*, **1972**, № 5. (in Russ.)
- [6] Накоряков В.Е., Покусаев Б.Г., Шрейбер И.Р. Распространение волн в газожидкостных и парожидкостных средах Новосибирск.ИТФ, 1983, 238 с. (in Russ.)
- [7] Bendiksen K., Malnes D., Moe R., Nuland S. The dynamic two-fluid model OLGA: theory and application *SPE Production Engineering. May*, **1991**. P. 171. (in Eng.)
- [8] Minami K., Shoham O. Transient two-phase flow behavior in pipelines-experiment and modeling *Int. J. of Multiphase Flows*. **1994**. V. 20. № 4. P. 739. (in Eng.)
- [9] Pauchon C., Dhulesia H., Binh-Cirlot G., Fabre J. TACITE: A transient tool for multiphase pipeline and well simulation *paper SPE 28545*. **1994**. (in Eng.)
- [10] Tang Y., Shmidt Z., Blais R. Transient dynamic characteristics of the gaslift unloading process *paper SPE 38814*. **1997**. (in Eng.)
- [11] D. ter Avest, Oudeman P. A dynamic simulator to analyse and remedy gas-lift problems *paper SPE 30639*. **1995**. (in Eng.)
- [12] Asheim H. Verification of transient multi-phase flow simulator for gas lift applications *paper SPE 56659*. **1999**. (in Eng.)
- [13] Алиев Ф.А., Ильясов М.Х., Джамалбеков М.А. Моделирование работы газлифтной скважины. *Доклад НАН Азерб.*, №4, **2008**, с. 107-116. (in Russ.)
- [14] Алиев Ф.А., Исмаилов Н.А., Задачи управления газлифтным процессом при минимальных потерях дебита в подъемнике Институт Прикладной Математики **2013**, с.111-119. (in Russ.)
- [15] Алиев Ф.А., Есадуллаев Р., Исмаилов Н.А., Алгоритм решения цифровой минимаксной задачи определения оптимального режима газлифта *труды института прикладной математики* Т.1 №1 **2012** – С. 4-14. (in Russ.)
- [16] Шуруп В.И. Технология и техника добычи нефти *М., «Недра»*, **1983**, 510с. (in Russ.)
- [17] Барашкин Р.Л., Разработка модели и алгоритмов функционирования газлифтной скважины как объекта системы оперативного управления Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина - Москва: **2011.**, 152 с. (in Russ.)
- [18] Данаев Н.Т., Корсакова Н.К., Пеньковский В.И. "Многофазная фильтрация и электромагнитное зондирование скважин", *Издательство "Эверо"*, **2014** г., 280 с. (in Russ.)
- [19] Жумагулов Б.Т., Темирбеков Н.М., Ермагамбетов Т.К. Численная реализация разностной схемы для модели неравновесной фильтрации двухфазной несжимаемой жидкости. *Вестник НИИ ПК*, №1 (35) **2010**. - С.20-27. (in Russ.)
- [20] Андерсон Д., Таннехилл Дж., Плетчер Р. "Вычислительная гидромеханика и теплообмен" Т2, *Издательство "Мир"*, **1990** г., 336 с. (in Russ.)

REFERENCES

- [1] Nigmatulin R.I. The dynamics of multiphase media. V.1,2. М.: Nauka, **1987** (in Russ.)
- [2] Kutateladze S.S., Styrikovich M.A. The hydrodynamics of gas-liquid systems. М.: Energy, **1976** (in Russ.)
- [3] Samarsky A.A., Popov Y.M. Difference methods for solving problems of gas dynamics. М.: Nauka, **1992** - 424 p. (in Russ.)
- [4] Shokin Y.I. The first differential approximation. - Novosibirsk: Nauka, **1979** (in Russ.)
- [5] Nakoryakov V.E., Sokolov V.V., Schreiber I.R. Long-wave perturbations in the gas-liquid mixture *Proceedings of the Academy of Sciences of the USSR. Fluid Dynamics*, **1972**, number 5. (in Russ.)
- [6] Nakoryakov V.E. Pokusaev B.G., Schreiber I.R. Wave propagation in gas-liquid and vapor-liquid media *Novosibirsk.ITF*, **1983**, 238 p. (in Russ.)
- [7] Bendiksen K., Malnes D., Moe R., Nuland S. The dynamic two-fluid model OLGA: theory and application *SPE Production Engineering. May*, **1991**. P. 171. (in Eng.)
- [8] Minami K., Shoham O. Transient two-phase flow behavior in pipelines-experiment and modeling *Int. J. of Multiphase Flows*. **1994**. V. 20. № 4. P. 739. (in Eng.)
- [9] Pauchon C., Dhulesia H., Binh-Cirlot G., Fabre J. TACITE: A transient tool for multiphase pipeline and well simulation, *paper SPE 28545*, **1994**. (in Eng.)
- [10] Tang Y., Shmidt Z., Blais R. Transient dynamic characteristics of the gaslift unloading process, *paper SPE 38814*, **1997**. (in Eng.)
- [11] D. ter Avest, Oudeman P. A dynamic simulator to analyse and remedy gas-lift problems, *paper SPE 30639*, **1995**. (in Eng.)
- [12] Asheim H. Verification of transient multi-phase flow simulator for gas lift applications, *paper SPE 56659*, **1999**. (in Eng.)

[13] Aliev F.A., Ilyasov M.H., Dzhambalbekov M.A. Simulation of gas lift wells. *The report of the Azerbaijan National Academy of Sciences*, №4, **2008**, p. 107-116. (in Russ.)

[14] Aliev F.A., Ismailov N., gas-lift process management tasks with minimal loss of flow rate in a lift, *Institute of Applied Mathematics* **2013** p.111-119. (in Russ.)

[15] Aliev F.A. Sadullaev R., N. Ismailov, An algorithm for solving digital minimax problem of determining the optimal mode gas-lift, *Proceedings of the Institute of Applied Mathematics Vol.1 №1*, **2012**, pp 4-14. (in Russ.)

[16] Shurov V.I. Technology and engineering of oil Moscow, Nedra, **1983**, 510 p. (in Russ.)

[17] Barashkin R.L., The development of models and algorithms for operation of gas-lift well as the object of an operational management system, *Russian State University of Oil and Gas named after IM Gubkin, Moscow*, **2011**, 152 pp. (in Russ.)

[18] Danaev N.T., Korsakova N.K., Penkovsky V.I. Multiphase flow and electromagnetic sounding wells, *Publisher, Avery*, **2014**. 280 p. (in Russ.)

[19] Zhumagulov B.T., Temirbekov N.M., Ermagambetov T.K. Numerical realization of a difference scheme for model of nonequilibrium filtration of two-phase incompressible fluid, *Herald NIA RK*, №1 (35), **2010** - P.20-27. (in Russ.)

[20] Anderson D., Tanehill J., Pletcher P. Computational hydrodynamics and heat exchange. Vol. 1, *Mir*, **1990**, 385 p. (in Russ.)

ГАЗЛИФТ ҮРДСІНІҢ БІР ӨЛШЕМДІ МОДЕЛІНІҢ САНДЫҚ ШЕШІМІ

Н.М. Темирбеков¹, А.К. Тураров¹

¹ Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан мемлекеттік техникалық университеті Өскемен, Қазақстан

Түйін сөздер: байланысты ажырау, фазалардың бөліну шекарасы, газ-сұйық қоспасы, газлифт.

Аннотация. Қозғалысы газлифт ұңғымасында гипреболалық типтегі дербес туындылы дифференциалдық теңдеулермен сипатталатын газлифт үрдісінің бір өлшемді моделіне сандық үлгілеу жүргізіледі және қарастырылады. Ішкі облыстары газ, сұйық және газ-сұйық қоспа шекараларының маңында қоюланатын біркелкі емес торда газлифт үрдісінің моделіне айырымдық сұлбалар құрастырылды.

Бұл мақалада, газлифт ұңғымасының математикалық моделі құрастырылды. Ұңғыма мен оның сақиналы бөлігінде ағыс екі фазалы және изотермиялық деп жорамалданатын газлифт ұңғымасының бір өлшемді моделі қарастырылады. Зерттелінді үрдісті сипаттайтын жүйе қоғалыс теңдеуі, үзіліссіздік теңдеуі мен термодинамикалық күй теңдеуі, концентрация және гидравликалық кедергілерден тұрады. Сұйық фазасының тығыздығын айқын түрде анықтайтын формуласын алуға мүмкіндік беретін фазалардың бөліну шекараларына газ, сұйық және газ-сұйық қоспаларына сәйкестік шарты қойылады. Газ, сұйық және газ-сұйық қоспа шекараларының маңында қоюланатын біркелкі емес адаптивті торда ақырлы-айырымдық сұлбасы құрастырылды. Ұсынылған алгоритмнің нәтижесі жеке алынған мұнай ұңғымасының мысалында көркемделген.

Поступила 13.03.2016 г.

МАЗМҰНЫ

Теориялық және тәжірибелік зерттеулер

<i>Буртебаев Н., Дүйсебаев А., Керимкулов Ж.К., Алимов Д.К., Юшков А.В., Жолдыбаев Т.К., Садықов Б., Мухамеджанов Е.С., Джансейтов Д.М., Сакута С.Б.</i> 50 және 60 МэВ энергиялы ^3He иондарының ^{14}N ядроларынан серпімді шашырауын зерттеу.....	5
<i>Алтынбеков Ш.</i> Өртекті топырақ консолидациясының бірөлшемді квазисызықты есебін напордың бастапқы градиенті әсерінде шешу әдісі туралы және оның шөгуді анықтау.....	10
<i>Асқарова А.С., Болегенова С.А., Болегенова С.А., Максимов В.Ю., Ергалиева А.Б., Габитова З.Х., Боранбаева А.Е.</i> 3-D Модельдеу әдістерімен жану процесіне көмірдің ылғалдылығының зиянын зерттеу.....	21
<i>Асқарова Ә.С., Болегенова С.Ә., Болегенова С.Ә., Максимов В.Ю., Бекетаева М.Т.</i> ЖЭС жану камерасында көмірдің жануы кезінде NO_x түзілуі мен жойылуын екі кинетикалық механизм бойынша сандық моделдеу.....	29
<i>Асқарова Ә.С., Болегенова С.Ә., Болегенова С.Ә., Максимов В.Ю., Бекетаева М.Т.</i> Жану камерасының қабырға температурасы үшін берілген шекаралық шартының жану процесінің температуралық сипаттамаларына әсерін зерттеу.....	35
<i>Асқарова Ә., Болегенова С., Гороховский М., Оспанова Ш., Нұғыманова А., Утелов С.</i> Өр түрлі сұйық отындардың бүрку, тұтану және жану процестерін зерттеу	40
<i>Сапрыгина М.Б., Байсейтова У.С., Шалданбаев А.Ш., Оразов И.О.</i> Толқын теңдеуінің шартарапты есебінің тұрлауы шешілуі туралы.....	48
<i>Буртебаев Н., Керимкулов Ж.К., Демьянова А.С., Данилов А.Н., Джансейтов Д.М., Жолдыбаев Т.К., Алимов Д.К.</i> Оптикалық және фолдинг модельдер АЯСЫНДА 50 және 60 МЭВ энергияларда ^3He иондарының ^{13}C ядроларында серпімді шашырау процесстерін зерттеу.....	55
<i>Жұмбаев Д.С., Бакирова Э.А.</i> Импульс әсері бар фредгольм интегралдық- дифференциалдық теңдеулер үшін сызықты шеттік есептің бірімәнді шешілімділігінің коэффициенттік белгілері	61
<i>Өтебаев Ұ.Б., Есентаев Қ.Ө., Дархан Н.Д.</i> WEB -формалар құрудың технологиялары.....	72
<i>Жунусова Л.Х., Жунусов К.Х.</i> Тор теңдеулерінің итерациялық әдіспен шығару.....	79
<i>Қабылбеков К.А., Саидахметов П.А., Омаишова Г.Ш., Серикбаева Г.С., Сүйерқұлова Ж.Н.</i> Еркін механикалық тербелістерді зерттеуге арналған компьютерлік зертханалық жұмысты ұйымдастырудың бланкі үлгісі.....	84
<i>Қабылбеков К.А., Саидахметов П.А., Омаишова Г.Ш., Сүттібаева Д.И., Қозыбақова Г.Н.</i> Изобаралық процесті зерттеуге арналған компьютерлік зертханалық жұмысты ұйымдастырудың бланкі үлгісі.....	92
<i>Қабылбеков К.А., Омаишова Г.Ш., Саидахметов П.А., Нұрұллаев М.А., Артыгалин Н.А.</i> Карно циклімен жұмыс атқаратын қозғалтқышты зерттеуге арналған компьютерлік зертханалық жұмысты ұйымдастырудың бланкі үлгісі.....	98
<i>Түгелбаева Г.Т., Канибекова А. Е.</i> Білім негіздерін физика сабақтарына енгізу әдісін жүйелік талдау.....	104
<i>Қойишева Т.К., Қожамқұлова Ж.Ж., Базарбаева А.И., Бегимбетова Х.А.</i> Объектіге-бағытталған жүйе болашақ маманның ақпараттық-логикалық құзыреттілігін қалыптастыру факторы ретінде.....	108
<i>Қойишева Т.К., Байтерекова А.И., Салғараева М.И.</i> Болашақ мұғалімдерді кәсіби дайындауда қолданылатын объектілі-бағдарлы жобалаудың теориялық негіздері.....	116
<i>Литвиненко Н.</i> Бағдарламалық R ортаның C# ортасына біріктірілуі.....	123
<i>Мақышов С.</i> Тұрақты м-туындаған сандар.....	128
<i>Минглибаев М.Ж., Прокопья А.Н., Бекетауов Б.А.</i> Массалары айнымалы шектелген үш дене мәселесінің эволюциялық теңдеуінің нақты шешімдері.....	133
<i>Орынбаев С.А., Молдахметов С.С., Байбутанов Б.К., Ешметов М.Б., Ауесжанов Д.С.</i> Жазықтық-импульстік модуляция негізінде көпдеңгейлі инвертор сатыларының қосылу әдістемелерін зерттеу	139
<i>Сапрыгина М.Б., Шалданбаев А.Ш., Оразов И.О., Байсейтова У.С.</i> Толқын теңдеуінің шартарапты есебінің вөлтерлі болуының үзілді – кесілді шарты.....	147
<i>Сураган Д.</i> Шаттен р-нормасы үшін бір теңсіздік туралы	153
<i>Темирбеков Н.М., Тураров А.К.</i> Газлифт үрдісінің бір өлшемді моделінің сандық шешімі	159
<i>Ахметова С.Т., Шалданбаев А.Ш., Шомабаева М.Т.</i> Аргументі ауытқыған жылу теңдеуінің шекаралық коши-нейман есебіне сәйкес оператордың спектрінің құрамы туралы.....	169
<i>Шомабаева М.Т., Шалданбаев А.Ш., Ахметова С.Т.</i> Аргументі ауытқыған жылу теңдеуінің жарտалай бекітілген шекаралық есебіне сәйкес оператордың үзіксіз спектрі туралы	180
<i>Ұлағатты ұстаз туралы. Шерәлі Біләл.</i>	191

СОДЕРЖАНИЕ

Теоретические и экспериментальные исследования

<i>Буртебаев Н., Дуйсебаев А., Керимкулов Ж.К., Алимов Д.К., Юшков А.В., Жолдыбаев Т.К., Садыков Б., Мухамеджанов Е.С., Джансейтов Д.М., Сакута С.Б.</i> Исследование упругого рассеяния ионов ^3He на ядрах ^{14}N при энергиях 50 и 60 МэВ.....	5
<i>Алтынбеков Ш.</i> О методике решения одномерной квазилинейной задачи консолидации неоднородного грунта с учетом начального градиента напора и определение его осадка.....	10
<i>Аскарова А.С., Болегенова С.А., Болегенова С.А., Максимов В.Ю., Ергалиева А.Б., Габитова З.Х., Боранбаева А.Е.</i> Исследование влияния влажности угля на процесс горения методами 3-d моделирования.....	21
<i>Аскарова А.С., Болегенова С.А., Болегенова С.А., Максимов В.Ю., Бекетаева М.Т.</i> Численное моделирование образования и разложения NO_x по двум кинетическим механизмам при горении угольного топлива в топочной камере ТЭЦ.....	29
<i>Аскарова А.С., Болегенова С.А., Болегенова С.А., Максимов В.Ю., Бекетаева М.Т.</i> Исследование влияния граничного условия для температуры на стенках топочной камеры на температурные характеристики процесса горения.....	35
<i>Аскарова А., Болегенова С., Гороховский М., Оспанова Ш., Нугьманова А., Утелов С.</i> Исследование процессов распыла, воспламенения и горения различного вида жидкого топлива.....	40
<i>Сапрыгина М.Б., Байсейтова У.С., Шалданбаев А.Ш., Оразов И.О.</i> Толкын тендеуінің шартарапты есебінің тұрлаулы шешілуі туралы.....	48
<i>Буртебаев Н., Керимкулов Ж.К., Демьянова А.С., Данилов А.Н., Джансейтов Д.М., Жолдыбаев Т.К., Алимов Д.К.</i> Исследование процессов упругого рассеяния ионов ^3He на ядрах ^{13}C при энергиях 50 и 60 МэВ в рамках оптического и фолдинг моделей.....	55
<i>Джумабаев Д.С., Бакирова Э.А.</i> Коэффициентные признаки однозначной разрешимости линейной краевой задачи для интегро-дифференциальных уравнений фредгольма с импульсными воздействиями.....	61
<i>Утебаев У.Б., Есентаев К.У., Дархан Н.Д.</i> Технология создания web-форм.....	72
<i>Жунусова Л.Х., Жунусов К.Х.</i> Итерационные методы решения сеточных уравнений.....	79
<i>Кабылбеков К.А., Саидахметов П.А., Омашова Г.Ш., Серикбаева Г.С., Суйеркулова Ж.Н.</i> Модель бланка организации компьютерной лабораторной работы по исследованию свободных механических колебаний.....	84
<i>Кабылбеков К.А., Саидахметов П.А., Омашова Г.Ш., Суттибаева Д.И., Козыбакова Г.Н.</i> Модель бланка организации компьютерной лабораторной работы по исследованию изобарического процесса.....	92
<i>Кабылбеков К.А., Омашова Г.Ш., Саидахметов П.А., Нураллаев М.А., Артыгалин Н.А.</i> Модель бланка организации компьютерной лабораторной работы по исследованию двигателя, совершающего цикл Карно.....	98
<i>Түгелбаева Г.Т., Канибекова А. Е.</i> Системное обсуждение способов внедрения в уроки по физике основ знаний по экологии.....	104
<i>Койшиева Т.К., Кожамкулова Ж.Ж., Базарбаева А.И., Бегимбетова Х.А.</i> Объектно-ориентированные системы как фактор формирования информационно-логической компетентности будущих специалистов.....	108
<i>Койшиева Т.К., Байтерекова А.И., Салгараева М.И.</i> Теоретические основы объектно-ориентированного проектирования, применимые для профессиональной подготовки будущих учителей.....	116
<i>Литвиненко Н.</i> Интеграция программной среды R в среду C#.....	123
<i>Макышов С.</i> Неподвижные m-порожденные числа.....	128
<i>Минглибаев М.Ж., Прокопья А.Н., Бекетауов Б.А.</i> Точные решения эволюционных уравнений в ограниченной задаче трех тел с переменными массами.....	133
<i>Орынбаев С.А., Молдахметов С.С., Байбутанов Б.К., Ешметов М.Б., Ауесжанов Д.С.</i> Исследование методик коммутации ступеней многоуровневого инвертора на основе широтно-импульсной модуляции.....	139
<i>Сапрыгина М.Б., Шалданбаев А.Ш., Оразов И.О., Байсейтова У.С.</i> Критерии вольтерровости нелокальной краевой задачи волнового уравнения.....	147
<i>Сураган Д.</i> Об одном неравенстве p-нормы в классе Шаттена.....	153
<i>Темірбеков Н. М., Тураров А. К.</i> Численное решение одномерной модели газлифтного процесса.....	159
<i>Ахметова С.Т., Шалданбаев А.Ш., Шомабаева М.Т.</i> О структуре спектра краевой задачи Коши-неймана для уравнения теплопроводности с отклоняющимся аргументом.....	169
<i>Шомабаева М.Т., Шалданбаев А.Ш., Ахметова С.Т.</i> О непрерывном спектре оператора полужакопленной краевой задачи для уравнения теплопроводности с отклоняющимся аргументом.....	180
<i>Юбилей Ашуралиев Аллаберен</i>	191

CONTENTS

Theoretical and experimental researches

<i>Burtebayev N., Duisebayev A., Kerimkulov Zh.K., Alimov D.K., Yushkov A.V., Zholdybayev T.K., Sadikov B., Mukhamejanov Y.S., Janseitov D.M., Sakuta S.B.</i> Investigation of the elastic scattering of ^3He ions on ^{14}N at energies 50 and 60 MeV.....	5
<i>Altynbekov Sh.</i> On the method of solving one-dimensional quasilinear problem of consolidation of non homogeneous soil with the initial gradient of pressure and determination of its sediment.....	10
<i>Askarova A., Bolegenova S., Bolegenova S., Maximov V., Yergaliyeva A., Gabitova Z., Boranbaeva A.</i> Study of coal moisture on the combustion process by 3d modeling.....	21
<i>Askarova A.S., Bolegenova S.A., Bolegenova S.A., Maximov V.Yu., Beketayeva M.T.</i> Numerical modeling of formation and destruction of NO_x by TWO kinetic mechanisms during combustion of fossil fuel in the furnace of CHP.....	29
<i>Askarova A.S., Bolegenova S.A., Bolegenova S.A., Maximov V.Yu., Beketayeva M.T.</i> Study of the boundary conditions influence for the temperature on the walls of the combustion chamber in the temperature characteristics of the burning process.....	35
<i>Askarova A., Bolegenova S., Gorokhovski M., Ospanova Sh., Nugymanova A., Utelov S.</i> Investigation of atomization, ignition and combustion processes of different types of liquid fuel.....	40
<i>Saprygina M.B., Bayseytova U.S., Shaldanbayev A.Sh., Orazov I.O.</i> About regular resolvability of nonlocal boundary value problem of the wave equation.....	48
<i>Burtebayev N., Kerimkulov Zh.K., Demyanova A.S., Danilov A.N., Janseitov D.M., Zholdybayev T.K., Alimov D.K.</i> Investigation of elastic scattering of ^3He ions from ^{13}C nuclei at 50 and 60 MeV in optical and folding model.....	55
<i>Dzhumabaev D.S., Bakirova E.A.</i> Coefficient conditions for the unique solvability of linear boundary value problem for fredholm integro-differential equation with impulse effects.....	61
<i>Utebaev U.B., Yessentayev K.U., Darkhan N.D.</i> Technology of creation of web-form.....	72
<i>Zhunussova L., Zhunussov K.</i> Iterative methods for solving difference equations.....	79
<i>Kabyrbekov K.A., Saidakhmetov P.A., Omashova G.SH., Serikbaeva G.S., Suyerkulova ZH.N.</i> Model of the form of the organisation of computer laboratory operation of the free mechanical oscillations.....	84
<i>Kabyrbekov K.A., Saidakhmetov P.A., Omashova G.SH., Suttibaeva D.I., Kozybakova G.N.</i> Model of the form of the organisation of computer laboratory operation of isobaric process.....	92
<i>Kabyrbekov K.A., Omashova G.SH., Saidakhmetov P.A., Nurullaev M.A., Artygalin N.A.</i> Model of the form of the organization of computer laboratory operation on examination of the drive making the carnot cycle.....	98
<i>Tygelbaeva G.T., Kanibekova A. E.</i> System discussion of methods of introduction in lessons on physics bases of knowledge on ecology.....	104
<i>Koishieva T.K., Kozhamkulova Zh.Zh., Bazarbaeva A.I., Begimbetova A.</i> Object-oriented system as the factor of formation of information-logical competence of future professionals.....	108
<i>Koishieva T.K., Baiterekova A.I., Salgaraeva M.I.</i> Theoretical bases of object-oriented design, applicable for vocational training of future teachers.....	116
<i>Litvinenko N.</i> Integration of R software environment in C# software environment.....	123
<i>Makyshov S.</i> Stationary m-digitaddition numbers.....	128
<i>Minglibayev M.Dzh., Prokopenya A.N., Beketauov B.A.</i> Exact solutions of evolution equations in restricted three-body problem with variable mass.....	133
<i>Orynbayev S.A., Moldakhmetov S.S., Baibutanov B.K., Jeshmetov M.B., Aueszhanov D.S.</i> Methods of switching angles based on pulse width modulation for multilevel inverter.....	139
<i>Saprygina M.B., Shaldanbayev A.Sh., Orazov I.O., Bayseytova U.S.</i> Criteria Volterra of nonlocal boundary value problem of the wave equation.....	147
<i>Suragan D.</i> On an inequality for schatten P -norms.....	153
<i>Temirbekov N. M., Turarov A. K.</i> Numerical solution of the one dimensional model of gas-lift process.....	159
<i>Achmetova S.T., Shaldanbayev A.Sh., Shomabayeva M. T.</i> About structure of the range of the regional task of cauchy - neumann for the heat conductivity equation with the deviating argument.....	169
<i>Shomanbayeva M. T., Shaldanbayev A.Sh., Achmetova S.T.</i> About the continuous range of the operator of the semi-fixed regional task for the heat conductivity equation with the deviating argument.....	180
Anniversary of Ashuraliev Allaberen.....	191

**Publication Ethics and Publication Malpractice
in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

www.nauka-nanrk.kz

<http://www.physics-mathematics.kz>

Редактор *М. С. Ахметова*

Верстка на компьютере *А.М. Кульгинбаевой*

Подписано в печать 24.03.2016.

Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.

11,3 п.л. Тираж 300. Заказ 2.