



УДК 622.276.654

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ И СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЗАКАЧИВАЕМОЙ В ПРОДУКТИВНЫЙ ГОРИЗОНТ ЖИДКОСТИ ПУТЕМ РАСЧЕТА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЛАСТОВОГО ПОТОКА

### DETERMINATION OF THE INJECTION FLUID'S DIRECTION AND SPEED IN THE PRODUCTIVE HORIZON BY CALCULATING THE HYDRODYNAMIC PARAMETERS OF THE FORMATION FLOW

**Гусейнова Наида Исмет**

кандидат технических наук, доцент,  
ведущий научный сотрудник отдела  
проектирования воздействия на пласт и ПЗС,  
Государственная нефтяная компания  
Азербайджанской Республики (SOCAR),  
НИПИ «Нефтегаз»  
nahide.huseynova@socar.az

**Huseynova Nahide Ismet**

Candidate of Technical Sciences,  
Associate professor,  
Design of impacts on the reservoir  
and wellbottom zone Department  
Leading Researcher, SOCAR,  
Oil Gas Scientific Research Project Institute  
nahide.huseynova@socar.az

**Аннотация.** В работе предложен метод определения направления и скорости движения закачиваемой в продуктивный горизонт жидкости путем расчета гидродинамических показателей пластового потока.

Метод включает процедуру автоматизации расчета и визуализации основных характеристик распределения фильтрационного поля.

Представленная методика была неоднократно успешно апробирована при зональном воздействии на продуктивные пласты с целью повышения нефтеотдачи.

**Ключевые слова:** методы повышения нефтеотдачи, методы воздействия на пласт, анализ гидродинамического состояния пласта, интерференция скважин, функции тока и потенциалов.

**Annotation.** The article puts for the determination method of the injection fluid's direction and speed in the productive horizon by calculating the hydrodynamic parameters of the formation flow. Method includes a procedure for automated computation and visualization of the main features of distribution of the filter field.

The presented method has been successfully tested on several occasions at zonal impact on productive reservoirs of Azerbaijan oil fields for increasing oil recovery.

**Keywords:** enhanced oil recovery methods, methods of impact on a reservoir, analysis of the hydrodynamic state of a reservoir, well interference, flow and potential functions.

Сложность современных технологических процессов требует решения задач, обеспечивающих высокое качество процесса добычи нефти. Эффективное проектирование нефтегазовых месторождений возможно на основе комплексного подхода к процедуре принятия решений с использованием современных методов исследования сложных неопределенных систем. Одним из таких методов является построение и исследование гидродинамических моделей, описывающих поток жидкости в пластовой системе.

Гидродинамическая модель пласта представляет собой математическую модель, которая описывает движение потока пластовой жидкости, проходящей через пористую среду продуктивного пласта слоя во время разработки. С помощью этой модели можно оценить направление и скорость движения жидкости. Эта информация играет важную роль в выборе стратегии развития месторождения, определении режима работы скважин, выборе метода и параметров воздействия на пласт и мониторинге результатов, а также при решении многих других важных вопросов.

Построение гидродинамической модели может быть выполнено различными методами. Аппарат математической физики, теории вероятностей и статистики и другие методы широко используются в решении гидродинамических задач, возникающих при разработке нефтяного месторождения.

При использовании аппарата математической физики гидродинамическое моделирование основывается на фундаментальных законах фильтрационной теории и имеет важное практическое применение при оценке и выборе требуемых технологических параметров. Однако в условиях неопределенности и недостаточности информации об изменяющихся во времени свойствах пласта, возможность получения численных решений с помощью таких моделей связана с многочисленными трудностями.

При использовании вероятностно-статистических методов результаты прогноза скорости и направления закачиваемой в пласт жидкости не могут быть использованы для долговременного прогноза если обстановка в пласте меняется в связи с воздействием на пласт. Полученные результаты не могут быть обобщены для разных продуктивных пластов в рамках одного месторождения, не говоря уже о других месторождениях.



Для упрощения проведения расчетов, разработанные алгоритмы построения гидродинамических моделей для нефтяных месторождений реализуются в специализированных компьютерных программах.

В данной работе для прогноза скорости и направления закачиваемой в пласт жидкости предлагается использовать метод источников и стоков, разработанный в теории функций комплексных переменных [1]. Используя этот метод, можно решить поставленные задачи проще и полнее, чем другими методами. Предлагаемый путь основан на учете интерференции скважин, работающих на выделенном участке месторождения с одного горизонта. Для расчета и визуализации распределения по рассматриваемому участку пласта таких гидродинамических характеристик потока, как функции тока  $F_1$ , и потенциалов  $F_2$  и их градиентов используются регулярно измеряемые данные о продуктивности скважин – дебиты скважин по нефти и воде, объем закачиваемой в нагнетательные скважины жидкости, условные координаты расположения скважин, мощность фильтра скважин. Также для проведения расчета необходимы текущие значения плотности добываемой нефти, воды и закачиваемой в пласт жидкости. Данные о дебитах скважин и объеме закачки должны соответствовать друг другу по дате замера. Мониторинг временных рядов, построенных на основе этих данных, позволяет своевременно прогнозировать текущее направление и скорость движения жидкости в пластовой среде.

Выражение для комплексного потенциала имеет вид:

$$F = F_1 + i \cdot F_2$$

где  $F_1, F_2$  – соответственно потенциал скорости фильтрации и расход, жидкости, проходящей через единицу сечения пласта (т.е. на 1 м фильтра);

В соответствии с принципом суперпозиции к одновременно работающим в пласте добывающим и нагнетательным скважинам выражения для  $F_1$  и  $F_2$  имеют вид:

$$F_1 = \sum_i^n \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \frac{q_i}{2 \cdot \pi} \cdot \ln(r_i(k, j));$$

$$F_2 = \sum_i^n \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \frac{q_i}{2 \cdot \pi} \cdot \varphi_{i,j}.$$

На основе этих данных рассчитывается модуль скорости, с которой закачиваемая в пласт вода в расчетный период продвигается по пласту. Модуль скорости фильтрации определяется следующим образом:

$$W = \left| \frac{dF}{dz} \right| = \sum_i^n \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \frac{q_i}{\pi r_i(k, j)}.$$

Для расчета градиента функции  $F(x, y)$ , позволяющего определить направление движения жидкости в пласте используется следующее выражение:

$$\text{grad}(F) = (\partial F(x, y) / \partial x) \cdot i_v + (\partial F(x, y) / \partial y) \cdot j_v,$$

где  $\varphi_{i,j} = \arctg\left(\frac{y_i - y_{kj}}{x_i - x_{kj}}\right)$ ,  $i_v, j_v$  – единичные базисные вектора;  $z_i, x_i, y_i$  – соответственно комплексная и

действительные координаты  $i$ -той скважины;  $r_i, \varphi_i$  – соответственно расстояние от скважины до начала координат и полярный угол;  $i = 1, \dots, n$  (количество скважин на рассматриваемом участке);  $i$  – мнимая единица,  $(i_* = \sqrt{-1})$ .

Предлагаемый алгоритм позволяет решить задачу в плоскостной постановке. Для решения пространственной задачи используются результаты геофизических исследований, позволяющих определить распределение закачиваемой и добываемой жидкости вдоль фильтра каждой скважины на месторождении.

Расчеты и визуализация полученных результатов проводятся с помощью специально разработанной программы в системе инженерных и научных расчетов «MATLAB» [2]. Разработана методика интерпретации полученных результатов [3]. По полученным данным строится семейство линий тока, эквипотенциалей, их градиентных векторов и скорости фильтрации, характеризующих текущее фильтрационное поле продуктивного пласта на участке внедрения.

Предложенная методика имеет широкое практическое применение при диагностике состояния разработки при нефтедобыче. Сравнивая взаиморасположение линий, характеризующих гидродинамические показатели пластового потока на исследуемом участке пласта, оценивается объем, на-



правление и скорость фильтрационного потока фронт водонефтяного контакта. Метод может быть использован при анализе движения жидкости как в целом по продуктивному горизонту, так и при зональных исследованиях. Фрактальный анализ визуализированных линий тока, эквипотенциалей, фронта водонефтяного потока позволяет своевременно выбрать время проведения воздействия на пласт с целью повышения нефтеотдачи [4, 5]. В настоящее время нами ведутся исследования, связанные с разработкой методики использования данного метода как теоретического аналога трассерных исследований зональных участков пласта.

Представленный способ анализа гидродинамических показателей потока была многократно испытан при воздействии на продуктивные пласты месторождений Азербайджана и Казахстана, находящихся на зрелой и поздней стадии разработки с целью повышения нефтеотдачи [6, 7].

### Литература:

1. Басниев К.С., Власов А.М., Кочина И.Н. и др. Подземная гидравлика. – М. : Недра, 1986. – 303 с.
2. Хант Б.Р. Липсман Р.Л., Розенберг Д.М. MATLAB Официальный учебный курс Кембриджского университета. – М. : Триумф, 2008. – 330 с.
3. Гусейнова Н.И. Гидродинамический экспресс-мониторинг зонального воздействия на продуктивные пласты нефтяных месторождений с учетом интерференции скважин // Нефтегазовое дело. – 2017. – Т. 15. – № 3. – С. 41–43.
4. Сулейманов Б.А., Дышин О.А. Гусейнова Н.И. Определение фрактальной размерности фронта вытеснения нефти водой на основе данных нормальной эксплуатации скважин // Нефтяное хозяйство. – 2011. – № 12. – С. 111–115.
5. Фрактальный анализ фронта вытеснения нефти водой / Б.А. Сулейманов, Ф.С. Исмаилов, О.А. Дышин, Н.И. Гусейнова // Proceedings 2011. – № 4. – С. 36–43.
6. Ибрагимов Х.М., Гусейнова Н.И., Абдуллаева Ф.Я. Опыт микробиологического воздействия на пласты на месторождениях Азербайджана // Petroleum Science and Technology. – 2017. – Vol 0. – № 0. – С. 1–9.
7. Сулейманов Б.А., Гусейнова Н.И., Рзаева С. Д., Тулешева Г.Д. Анализ эффективности применения кислотной обработки на месторождении Жетыбай // Petroleum Science and Technology. – 2018. – Vol 36. – № 3. – С. 193–199.

### References:

1. Basniyev K.S., Vlasov A.M., Kochina I.N., etc. Underground hydraulics. – M. : Nedra, 1986. – 303 p.
2. Khanty B.R. Lipsman R.L., Rosenberg D.M. MATLAB Official training course of the Cambridge university. – M. : Triumf, 2008. – 330 p.
3. Guseynova N.I. Hydrodynamic express monitoring of zone impact on productive layers of oil fields taking into account an interference of wells // Oil and gas business. – 2017. – Т. 15. – No. 3. – P. 41–43.
4. Suleymanov B.A., Dyshin O.A. Guseynova N.I. Determination of fractal dimension of the front of replacement of oil by water on the basis of the wells given to normal operation // Oil economy. – 2011. – No. 12. – P. 111–115.
5. Fractal analysis of the front of replacement of oil by water / B.A. Suleymanov, F.S. Ismaylov, O.A. Dyshin, N.I. Guseynova // Proceedings 2011. – No. 4. – P. 36–43.
6. Ibragimov H.M., Guseynova N.I., Abdullaeva F.Ya. Experience of microbiological impact on layers on fields of Azerbaijan // Petroleum Science and Technology. – 2017. – Vol 0. – No. 0. – P. 1–9.
7. Suleymanov B.A., Guseynova N.I., Rzaeva S.D., Tulesheva G.D. The analysis of efficiency of application of acid processing on the field Zhetybay // Petroleum Science and Technology. – 2018. – Vol 36. – No. 3. – P. 193–199.