



УДК 622.276

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИМЕРНОГО ЗАВОДНЕНИЯ В ОДНОМ ИЗ ПЛАСТОВ, СОДЕРЖАЩИХ ТЯЖЕЛУЮ НЕФТЬ



### EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF POLYMER FLOODING IN ONE OF HEAVY OIL RESERVOIR

**Мостаджеран Масуд**

аспирант-исследователь,  
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина  
Mostajeran.m@mail.ru

**Телков Виктор Павлович**

кандидат технических наук, доцент,  
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина  
telkov\_viktor@mail.ru

**Аннотация.** В последние годы разработка ресурсов тяжелой нефти приобретает все большее значение для промышленности. Наиболее эффективными методами увеличения нефтеотдачи (МУН) для пластов с тяжелой нефтью являются тепловые методы, особенно нагнетание пара, занимающие лидирующие позиции при промысловой реализации МУН. Однако применение этих методов может быть нерентабельно в определенных пластовых условиях, например при глубоком залегании коллектора или при воздействии на пласты с небольшой эффективной толщиной.

Важной является оценка с помощью исследований всех технических и экономических аспектов процесса полимерного заводнения. Оценка эффективности использования этого химического метода для увеличения нефтеотдачи пластов с тяжелой нефтью является основной целью данной работы. Был проведен ряд экспериментальных исследований, для нахождения лучшего полимерного состава для оптимизации соотношения подвижностей вытесняющего флюида и нефти. Минерализация, температура и скорость сдвига – это основные критические параметры, влияние которых на стабильность полимерного раствора полимера было изучено.

Используя наиболее подходящие условия для реализации полимерного заводнения, была проведена серия экспериментов по заводнению пласта, которая показала эффективность применения метода для конкретных промысловых условий.

**Ключевые слова:** полимерные растворы, полимерное заводнение, повышение нефтеотдачи, тяжелые нефти.

**Mostajeran Masood**

postgraduate researcher,  
Gubkin Russian State University  
of Oil and Gas (NIU)  
Mostajeran.m@mail.ru

**Telkov Victor Pavlovich**

Candidate of Technical Sciences, Associate  
Professor,  
Gubkin Russian State University of Oil and  
Gas (NIU)  
telkov\_viktor@mail.ru

**Annotation.** Heavy oil reservoirs are becoming more important in recent years. Thermal oil recovery, especially steam flooding is considered as the most efficient EOR techniques for heavy oil reservoirs that stays on the top of the recent EOR field experience. However, this method is not applicable in some reservoir conditions like deep reservoirs or reservoirs with thin pay zones.

Important is the assessment through research of all the technical and economic aspects of the polymer flooding process. Assessing the effectiveness of using this chemical method to increase oil recovery of heavy oil formations is the main goal of this work. A series of experimental studies was conducted to find the best polymer composition to optimize the ratio of the mobilities of the displacing fluid and oil. Mineralization, temperature, and shear rate are the main critical parameters whose influence on the stability of the polymer solution has been studied.

Using the most suitable conditions for the implementation of polymer flooding, a series of experiments on water flooding was carried out, which showed the effectiveness of the method for specific field conditions.

**Keywords:** Polymer solution, Polymer flooding, EOR, Heavy Oil.

Все представленные исследования в рассмотренных источниках литературы [1–9] подтверждают возможность эффективной реализации полимерного заводнения на объектах, содержащих тяжелые, высоковязкие нефти. Оценка рациональных условий реализации метода, позволяющих добиться наилучших результатов, является очень важной задачей для исследователей. Эта работа направлена на изучение эффективности полимерного заводнения при извлечении тяжелой нефти из одного из иранских пластов. Проведенное исследование позволило оценить влияние типа полимерного раствора и его концентрации в растворе на добычу нефти, в работе рассмотрены реологическое поведение полимера и влияние минерализации на эффективность процесса.

Экспериментальные исследования полимерного заводнения проводились на специальной фильтрационной установке, с использованием кернодержателя с размерами 12×4 см для исследования влияния вязкости полимерного раствора и неоднородности пористой среды на прирост добычи нефти после заводнения.

В рамках представленного исследования было изучено влияние типа полимера и его концентрации в растворе на извлечение из пласта тяжелой нефти.

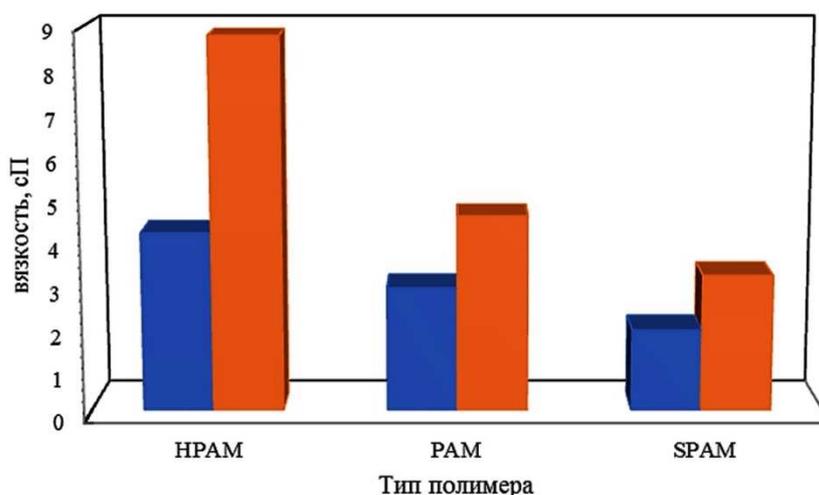


**Таблица 1** – Свойства объекта исследования

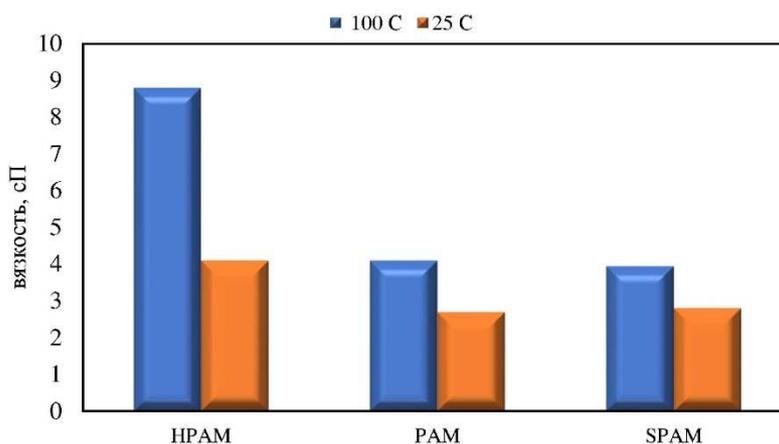
Параметр	Значение	Размерность
Пластовая температура	100	°С
Плотность нефти	995	кг/м <sup>3</sup>
Вязкость пластовой нефти	100	сП
Проницаемость пласта	0,01	мкм <sup>2</sup>
Пористость пласта	18	%
Тип коллектора	песчаник	–

Первоначально задачей исследования являлся выбор наиболее эффективного типа полимера, затем для лучшего полимера были исследованы влияние его концентрации в растворе на эффективность извлечения тяжелой нефти.

Первая часть исследований направлена на оценку влияния типа полимера на вязкость полимерного раствора. Растворы полимеров различного типа готовились на основе морской воды. Эксперименты проводились при комнатной температуре.



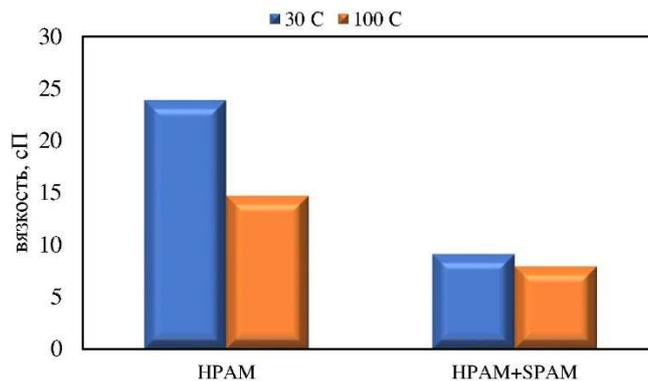
**Рисунок 1** – Влияние типа полимера на вязкость полимерного раствора при различной концентрации полимера в растворе: синий и оранжевый цвет – 3 и 5 кг/м<sup>3</sup>



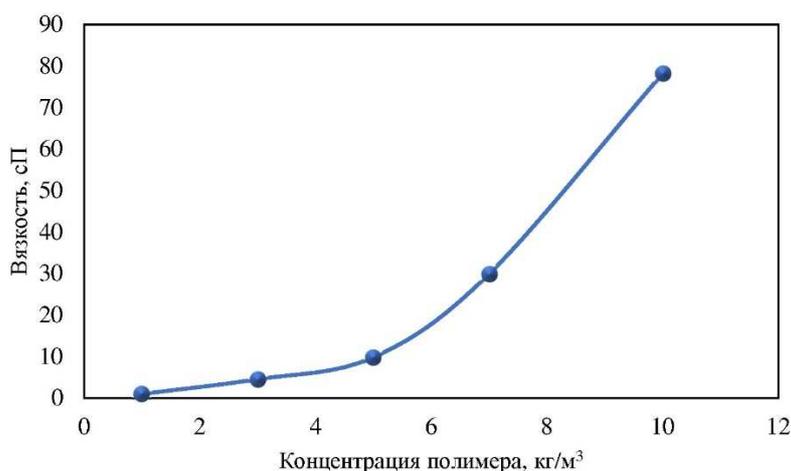
**Рисунок 2** – Влияние температуры на вязкость полимерного раствора с концентрацией 5 кг/м<sup>3</sup> (в растворе морской воды)

На рисунке 2 показано влияние температуры на вязкость полимерного раствора для различных типов полимеров. Отмечается, что более высокие значения вязкости характерны для раствора полимера НРАМ, при этом с ростом температуры эта разница нивелируется. Более высокая вязкость раствора полимера НРАМ при различных условиях обуславливает его выбор в качестве активного компонента при проведении дальнейших экспериментов по моделированию полимерного заводнения.

Далее рассмотрим влияние концентрации на вязкость раствора.



**Рисунок 3** – Влияние температуры на вязкость полимерного раствора с концентрацией 5 кг/м<sup>3</sup> (в 3 %-м растворе NaCl)

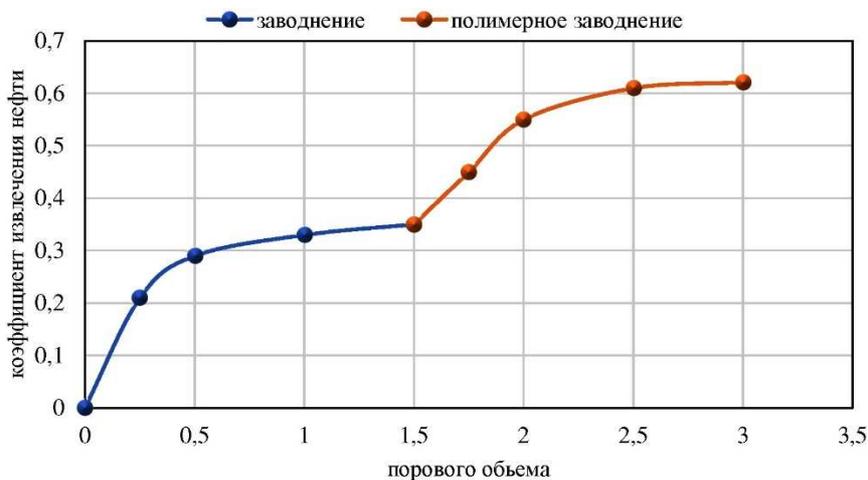


**Рисунок 4** – Влияние концентрация полимера на вязкость полимерного раствора

Как показано на рисунке, с увеличением концентрации вязкость раствора увеличивается. Из графика можно видеть влияние концентрации полимера. Этот момент надо учитывать в процессе полимерного заводнения на месторождениях с тяжелой нефтью.

В данном эксперименте меняется только концентрация полимера. Надо отметить, что в работе использован полимерный раствор на основе дистиллированной воды. Все тесты сделаны при температуре 100 °С.

В результате проведения экспериментов по вытеснению нефти полимерным раствором после традиционного заводнения были построены графики зависимости коэффициента вытеснения для различных концентраций полимерного раствора. Ниже на графиках представлены значения изменения коэффициента вытеснения при разных концентрациях.



**Рисунок 5** – Полимерное заводнение после заводнения с концентрацией полимера 2 кг/м<sup>3</sup>

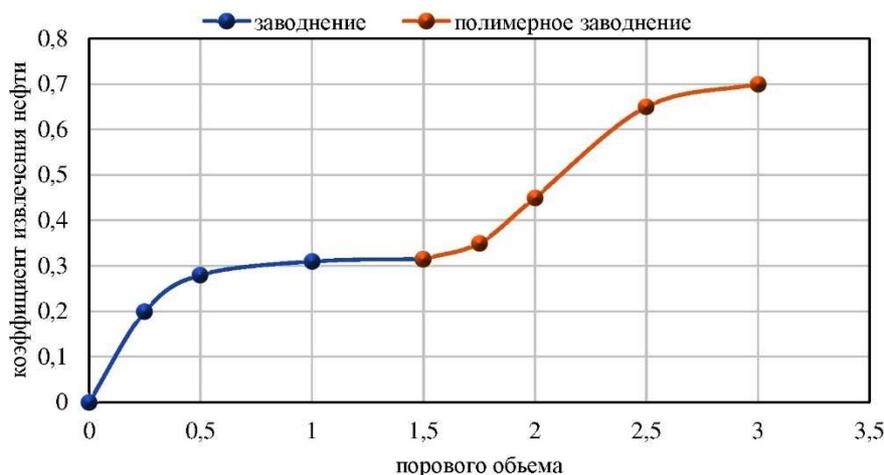


Рисунок 6 – Полимерное заводнение после заводнения с концентрацией полимера 3 кг/м³

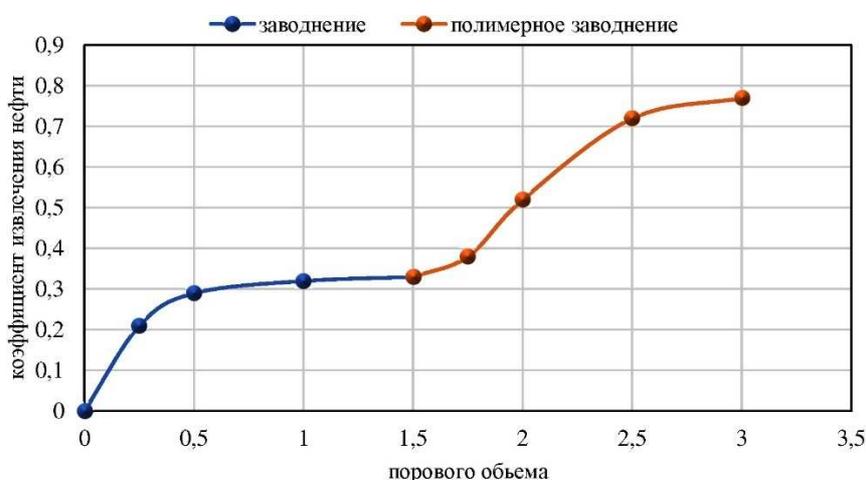


Рисунок 7 – Полимерное заводнение после заводнения с концентрацией полимера 5 кг/м³

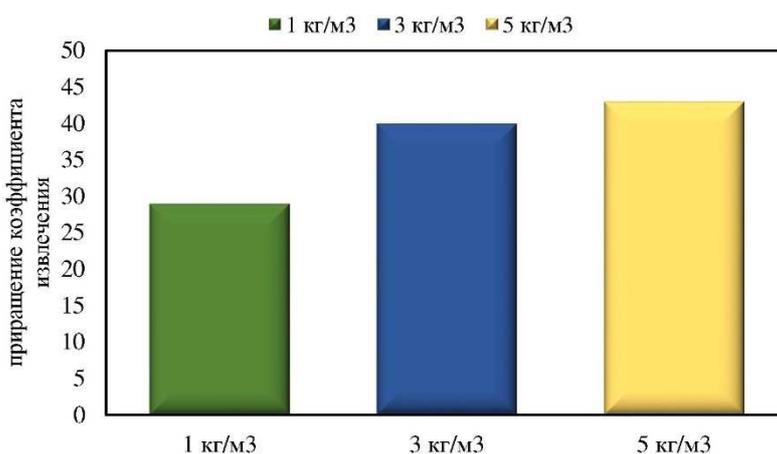


Рисунок 8 – Результаты полимерного заводнения при различных концентрациях

По результатам проведенной работы можно сделать следующие выводы:

1. Полимерное заводнение позволяет увеличить нефтеотдачу в исследуемых условиях, при вытеснении тяжелой нефти с вязкостью 100 мПа·с.

2. Для эффективного полимерного заводнения пласта с тяжелой нефтью концентрация раствора полимера должна быть не ниже порогового значения рациональной концентрации. Для условий экспериментов, представленных в этой работе, пороговая концентрация составляет около 5 кг/м³.

Результаты показывают, что полимерное заводнение может быть эффективным для выработки месторождений тяжелой нефти.



## Литература

1. Gao C.H. Scientific research and field applications of polymer flooding in heavy oil recovery // *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*. – 2011. – Vol. 1. – № 2. – P. 65–70.
2. Jung J., C. Zhang K., Chon B.H., Choi H.I. Rheology and polymer flooding characteristics of partially hydrolyzed polyacrylamide for enhanced heavy oil recovery // *Journal of Applied Polymer Science*. – 2013. – V. 127. – P. 4833–4839.
3. Wassmuth F.R., Green K., Arnold W., Cameron N. Polymer Flood Application to Improve Heavy Oil Recovery at East Bodo, 2009.
4. Selby R., Alikhan A.A., Farouq Ali S.M. Potential of Non-Thermal Methods for Heavy Oil Recovery. // *JCPT*. – 1989. – Vol. 28. – № 4. – P. 45–59.
5. Wang D., Cheng J., Wu J., Wang Y. Producing by polymer flooding more than 300 million barrels of oil what experiences have been learnt // *SPE 77872 presented at Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition, Melbourne Australia, 8–10 October 2002*.
6. Телков В.П., Ким С.В., Мостаджеран М. Повышение эффективности вытеснения высоковязких нефтей полимерными растворами // *Труды XXI Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 130-летию со дня рождения профессора М.И. Кучина «Проблемы геологии и освоения недр»*. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2017. – Т. 2. – С. 148–150.
7. Wassmuth F., Arnold W., Green K., Cameron N. Polymer flood application to improve heavy oil recovery at east Bodo // *Paper 2007–184 presented at Canadian International Petroleum Conference, Calgary Canada, June 12–14 (2007)*.
8. Wang J., Dong M. A laboratory study of polymer flooding for improving heavy oil recovery // *Paper 2007–178 presented at the Canadian International Petroleum Conference, Calgary Canada, June 12–14 (2007)*.
9. Asghari K., Nakutnyy P. Experimental results of polymer flooding of heavy oil reservoirs // *Paper 2008–189 presented at the Canadian International Petroleum Conference, Calgary Canada, June 17–19 (2008)*.
10. Повышение нефтеизвлечения на месторождениях высоковязкой и тяжелой нефти с помощью полимерного заводнения / В.П. Телков [и др.]. – *Нефтяное хозяйство*. – 2018. – № 5. – С. 60–63.
11. Телков В.П., Мостаджеран М.Г. Оценка критериев применения полимерного заводнения для вытеснения тяжелых, высоковязких нефтей Ирана // *Экспозиция Нефть Газ*. – 2018. – № 4 (64). – С. 52–55.

## References

1. Gao C.H. Scientific research and field applications of polymer flooding in heavy oil recovery // *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*. – 2011. – Vol. 1. – № 2. – P. 65–70.
2. Jung J., C. Zhang K., Chon B.H., Choi H.I. Rheology and polymer flooding characteristics of partially hydrolyzed polyacrylamide for enhanced heavy oil recovery // *Journal of Applied Polymer Science*. – 2013. – Vol. 127. – P. 4833–4839.
3. Wassmuth F.R., Green K., Arnold W., Cameron N. Polymer Flood Application to Improve Heavy Oil Recovery at East Bodo, 2009.
4. Selby R., Alikhan A.A., Farouq Ali S.M. Potential of Non-Thermal Methods for Heavy Oil Recovery. // *JCPT*. – 1989. – Vol. 28. – № 4. – P. 45–59.
5. Wang D., Cheng J., Wu J., Wang Y. Producing by polymer flooding more than 300 million barrels of oil what experiences have been learnt // *SPE 77872 presented at Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition, Melbourne Australia, 8–10 October 2002*.
6. Telkov V.P., Kim S.V., Mostajeran M. Increase of efficiency of displacement of the high-viscosity oils by polymer solutions // *Proceedings of the XXI International M.A. Usov Symposium for students and young scientists devoted to the 130th anniversary of Professor M.I. Kuchin «Problems of geology and mineral resources development»*. – Tomsk : Publishing house of Tomsk Polytechnic University, 2017. – Vol. 2. – P. 148–150.
7. Wassmuth F., Arnold W., Green K., Cameron N. Polymer flood application to improve heavy oil recovery at east Bodo // *Paper 2007–184 presented at Canadian International Petroleum Conference, Calgary Canada, June 12–14 (2007)*.
8. Wang J., Dong M. A laboratory study of polymer flooding for improving heavy oil recovery // *Paper 2007–178 presented at the Canadian International Petroleum Conference, Calgary Canada, June 12–14 (2007)*.
9. Asghari K., Nakutnyy P. Experimental results of polymer flooding of heavy oil reservoirs // *Paper 2008–189 presented at the Canadian International Petroleum Conference, Calgary Canada, June 17–19 (2008)*.
10. Increase of oil recovery at the high-viscosity and heavy oil fields by means of the polymer flooding / V.P. Telkov [et al.]. – *Oil economy*. – 2018. – № 5. – P. 60–63.
11. Telkov V.P., Mostajeran M.G. Estimation of the polymer flooding application criteria for the heavy, high-viscosity oil displacing // *Exposition Neftny Gaz*. – 2018. – № 4 (64). – P. 52–55.