



УДК 622.24

МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ ГАЗЛИФТНЫХ СКВАЖИН

MODELING AND CONTROL OF OPERATIONAL MODES OF GAS LIFT WELLS

Зейналов Фарид Сардар

доктор философских наук,
Азербайджанский государственный университет
нефти и промышленности
faridzeynalov.zeyn@gmail.com

Zeynalov Farid Sardar

Doctor of Philosophy,
Azerbaijan State Oil
and Industry University (ASOIU)
faridzeynalov.zeyn@gmail.com

Аннотация. Моделирование и управление режимами работы газлифтных скважин - важная задача для повышения эффективности добычи нефти с использованием технологии газлифта. Этот процесс включает в себя расчёт и оптимизацию параметров, таких как расход газа и жидкости, с учётом различных геологических и технико-экономических факторов. Использование математических моделей позволяет точнее предсказать поведение системы и выбрать оптимальные режимы работы. Важной частью является разработка системы управления, которая интегрирует данные с реального времени и позволяет оперативно регулировать параметры работы скважины. Эффективное управление газлифтными скважинами требует учёта множества факторов, включая изменения в геологических характеристиках пласта и параметры работы оборудования. Это исследование рассматривает различные подходы к моделированию и управлению газлифтными процессами, включая использование SCADA систем, методов математического моделирования и принятия решений в условиях неопределённости. Современные методы управления газлифтными скважинами позволяют снизить затраты на добычу и повысить её эффективность. В результате применяются более точные методы прогнозирования и управления, что способствует улучшению экономических показателей на месторождениях. Ключевыми аспектами являются оптимизация расхода газа и повышение стабильности работы скважин.

Ключевые слова: газлифт, моделирование, управление, оптимизация, эффективность, управление, технология, добыча нефти.

Annotation. Modeling and control of gas-lift well operation modes is an important task for enhancing oil production efficiency using gas-lift technology. This process involves calculating and optimizing parameters such as gas and liquid flow rates, taking into account various geological and techno-economic factors. The use of mathematical models allows for more accurate predictions of system behavior and the selection of optimal operation modes. An important aspect is the development of a control system that integrates real-time data and enables operational regulation of well parameters. Effective management of gas-lift wells requires consideration of many factors, including changes in geological reservoir characteristics and equipment performance. This research examines various approaches to modeling and controlling gas-lift processes, including the use of SCADA systems, mathematical modeling methods, and decision-making under uncertainty. Modern methods of gas-lift well management help reduce production costs and improve efficiency. As a result, more accurate forecasting and control methods are applied, which contribute to the improvement of economic indicators in fields. Key aspects include optimizing gas consumption and improving well stability.

Keywords: gas-lift, modeling, control, optimization, efficiency, control, technology, oil extraction.

Моделирование и управление процессами работы газожидкостных подъёмников на нефтяных месторождениях представляет собой сложную и важную задачу в нефтяной промышленности, особенно в условиях текущих вызовов, когда многие месторождения сталкиваются с необходимостью повышения эффективности их работы. Одним из способов механизированной эксплуатации нефтяных скважин является газлифт. Для того чтобы эффективно использовать газлифтную технологию, важно решать задачи, связанные с расчётом режимных параметров газлифтных скважин. Современные методики расчёта этих параметров основываются на анализе и обобщении данных лабораторных и промысловых исследований. Однако применение этих методик в условиях изменяющихся геолого-технических характеристик и свойств жидкостей может приводить к значительным погрешностям, которые сводят на нет преимущества газлифтного метода. К тому же динамические характеристики существующих математических моделей этих процессов не позволяют использовать их в системах оперативного управления газлифтными скважинами. В связи с этим целесообразно разработать методику расчёта, основанную на математическом моделировании процессов, происходящих в скважине при газлифте, а также создать программный модуль, который будет интегрирован в единую систему управления скважинами, обеспечивая эффективное управление добычей нефти при газлифтной эксплуатации [5].

Газлифт является одним из самых широко используемых методов эксплуатации нефтяных скважин благодаря своей экономической эффективности. Этот способ основан на подъёме жидкости



с помощью энергии сжатого газа, который подаётся с поверхности. Основным принцип газлифта заключается в том, что при подаче газа в скважину снижается плотность газожидкостной смеси (ГЖС) в подъемных трубах, а также давление на забое, что создаёт необходимую депрессию и способствует притоку жидкости из пласта. Однако, помимо этого, важным фактором является увеличение объема ГЖС, происходящее в результате растворения газа в жидкости [1].

В процессе эксплуатации газлифтных скважин основное внимание уделяется эксплуатационным характеристикам, таким как кривые зависимости дебита скважины от объемного расхода закачиваемого газа (кривая $Q(V)$) и удельного расхода газа от этого же объема (кривая $R(V)$). Для оптимизации работы газлифтных скважин важным является определение оптимального режима, который характеризуется минимальным удельным расходом газа. Этот режим соответствует точке А, где касательная, проходящая через начало координатной системы, касается кривой $Q = f(V)$. В большинстве методов исследования и оптимизации работы газлифтных скважин используется анализ этих кривых. Однако, такой подход требует исследования скважины при разных режимах работы, что часто приводит к ненужным затратам времени, потере нефти и излишнему расходу газа.

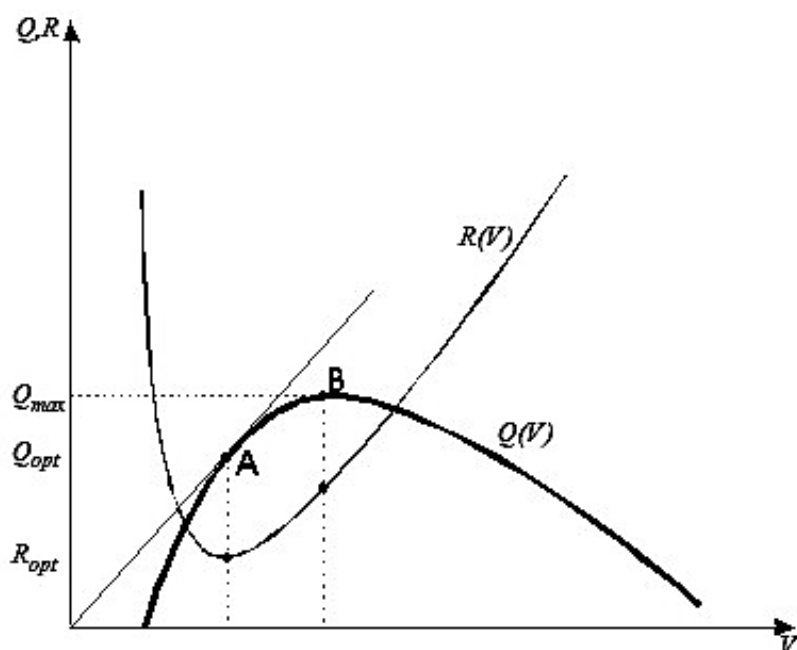


Рисунок 1 – Зависимость удельного расхода газа R от общего расхода газа V для данной кривой $Q(V)$

Для эффективного решения задач оптимизации работы газлифтной скважины, газогидродинамическую систему следует рассматривать как совокупность трёх взаимосвязанных задач: движение газожидкостной смеси (ГЖС) в подъемной трубе, расчет параметров подкачиваемого газа через кольцевое пространство подъемника и совместное решение уравнения движения газированной нефти в пласте и в подъемной системе. В данной работе рассматривается моделирование процесса работы газлифтной скважины с учётом этих трёх аспектов. При этом учитываются реальные характеристики нефти при её фильтрации в пласте и растворённого в ней газа, а также деформационные изменения породы пласта, влияющие на проницаемость и пористость в зависимости от давления. Кроме того, учитываются особенности процессов, происходящих в насосно-компрессорных трубах при движении газожидкостной смеси [1].

При контроле процессов газлифтной добычи нефти основным управляющим параметром является расход рабочего агента. В связи с этим возникает задача его рационального распределения. Обычно объем сжатого газа ограничен, поэтому необходимо распределить его между группой скважин таким образом, чтобы обеспечить минимальное общее потребление. В практике используются различные методы назначения рабочих режимов для групп газлифтных скважин [2].

Один из методов управления группой газлифтных скважин основан на увеличении расхода рабочего агента в скважинах с наибольшим приростом дебита при ограниченных ресурсах рабочего агента. Для начала в каждую скважину закачивается одинаковое количество газа, затем измеряется дебит каждой скважины, и устанавливается одинаковое увеличение расхода газа. После этого измеряется дебит снова, и скважины ранжируются по убыванию прироста дебита. Далее ресурсы распределяются таким образом, что сначала в скважине с максимальным приростом дебита устанавливает-



ся увеличение расхода газа до тех пор, пока оно не станет равным увеличению, измеренному в следующей скважине. Этот процесс повторяется для всех скважин до полного расходования газовых ресурсов. Для повышения точности расчетов после исчерпания газовых ресурсов для каждой скважины ее дебит уменьшается на одинаковую величину, затем измеряется дебит нефти, и расход газа увеличивается в скважинах с максимальным уменьшением дебита. В исследуются методы назначения рабочих режимов для групп газлифтных скважин, добывающих неэластичные нефти. Работа предлагает методику выбора некоего «компромиссного» решения для группы газлифтных скважин. Режим называется «компромиссным», потому что он не является наилучшим для всех скважин, однако его распространение на группу позволяет добиться общего увеличения объема добываемой жидкости при снижении расхода закачиваемого агента. Выбор режима осуществлялся с использованием теории нечетких множеств [4].

Этот подход позволяет моделировать дефицит информации о процессах с помощью «нечеткой» (расплывчатой) формулировки целей и ограничений, накладываемых на функционирование рассматриваемой группы скважин. Кроме того, выбор режима осуществлялся на основе использования обобщенной функции предпочтений. Однако описанные методы не всегда позволяют получить удовлетворительные результаты, поскольку сложность и непредсказуемость поведения резервуара и системы подачи требуют подходов, учитывающих неопределенность условий. Теория принятия решений как одна из фундаментальных частей теории операций направлена на решение таких проблем. Суть задачи принятия решения заключается в определении наилучшего или приемлемого варианта действий для достижения одной или нескольких целей. Очевидно, что применение научного подхода к задаче принятия решения будет способствовать оптимизации всех функций управления и, таким образом, повысит их эффективность. Любой процесс принятия решения включает в себя следующие элементы:

- Цель – Необходимость принятия решения определяется целью или несколькими целями, которые должны быть достигнуты;
- Альтернативы решений – различные варианты достижения целей;
- Внешняя среда – совокупность всех внешних факторов, влияющих на результат принятия решения;
- Результаты решения;
- Правила выбора решения (правила принятия решения).

Эти правила позволяют определить наиболее предпочтительное решение в соответствии с выбранным критерием. В рассматриваемой задаче регулирования процессов газлифтной добычи нефти целью принятия решения является минимизация расхода сжатого газа, альтернативой является выбор стратегии инъекции, а критерий принятия решения зависит от выбора стратегии. Внешней средой являются различные факторы, влияющие на состояние системы скважина-резервуар. Результатом является реальная экономия закачиваемого рабочего агента. Теория принятия решений использует различные процедуры для формализации предпочтений, то есть их выражения в единой количественной мере. Основой этих процедур является теория полезности. В зависимости от условий среды и степени осведомленности выделяют следующие классификации задач принятия решений: детерминированные задачи или задачи в условиях определенности, вероятностные задачи или задачи в условиях риска, задачи в условиях неопределенности. Принятие решений в условиях определенности характеризуется однозначной или детерминированной зависимостью между принятием решения и его результатом. В этом направлении теория принятия решений рассматривается с позиции математического программирования: линейного, нелинейного, динамического.

К таким задачам относятся задачи распределения ресурсов, управления запасами и транспортировки. Применение методов математического программирования требует наличия полной и надежной информации в виде детерминированной математической модели и необходимых исходных данных. В этих условиях ситуация задачи полностью определена, и нет необходимости в дальнейшей постановке гипотетической ситуации. Это означает, что все априорные вероятности ситуаций равны нулю, за исключением одной, которая равна единице. Равенство единице вероятности определенной ситуации означает, что эта ситуация является единственно достоверной. Цели в условиях определенности формально определены и выражены как целевая функция и ограничения. Предпочтения выражаются явными функциями предпочтений. Критерий выбора также известен в явной формальной форме. Наличие вышеуказанной информации позволяет построить полностью формализованную модель задачи принятия решения и найти оптимальное решение [3].

Основной проблемой в повышении эффективности добычи нефти является рациональное регулирование режимов работы скважин. При этом отличительной особенностью газлифтного метода эксплуатации является максимальная экономия энергии, которая достигается, прежде всего, за счет снижения удельного расхода сжатого рабочего агента.

Многочисленные исследования были посвящены разработке мер по снижению энергоемкости процессов. Большинство из них основывается на построении характерных кривых для каждой сква-



жины индивидуально. Однако режимы работы газлифтных скважин зависят от гидродинамического состояния пласта, взаимного влияния скважин в пределах месторождения и внешних коммуникационных линий, состояния зоны забоя и трубопроводов и других факторов.

Указанные факторы приводят к тому, что назначенные режимы работы по характеристике оказываются нестабильными и могут быть актуальны лишь на короткий промежуток времени, что делает такой подход к назначению режимов нецелесообразным [6].

Управление газлифтными скважинами является более сложной задачей по сравнению с другими методами работы, такими как потоки и искусственное поднятие. Далее приведен обзор подходов, используемых различными компаниями для повышения эффективности управления газлифтными скважинами. Основным методом эксплуатации является газлифт. Для повышения эффективности производства оператор разработал интегрированную модель производства с использованием Интегрированных Активных Моделей, а также инструменты для онлайн-управления, которые обеспечивают обновление модели в реальном времени. Таким образом, автоматизация производственных процессов и обновление интегрированной модели в реальном времени с использованием нейронных сетей позволило оператору улучшить добычу нефти и эффективно планировать геологические и технологические операции в реальном времени [1].

С целью повышения эффективности газлифтных операций предлагается использование системы SCADA, которая обеспечивает мониторинг производственной системы в реальном времени и оптимизацию добычи с газлифтных скважин. Эта система позволяет инженерам приоритизировать свои работы в проблемных зонах. Эффективность этой системы была проверена как с помощью полевых испытаний, так и с использованием моделирования газлифтных процессов OLGA и MATLAB.

Моделирование и управление режимами работы газлифтных скважин являются ключевыми элементами для повышения эффективности добычи нефти. Современные методы, такие как использование математических моделей и систем автоматического контроля, позволяют более точно прогнозировать поведение скважин и оптимизировать расход газа. Это ведет к снижению затрат и улучшению экономических показателей на месторождениях. Внедрение таких технологий способствует более стабильной и эффективной эксплуатации газлифтных скважин в различных геологических условиях.

Заключение

Моделирование и управление процессами газлифтных скважин играют ключевую роль в оптимизации добычи нефти, особенно в условиях современных вызовов нефтяной промышленности. Газлифт является одним из наиболее эффективных методов эксплуатации нефтяных скважин, обеспечивая экономию энергии и оптимизацию процессов подъема нефти. Однако эффективное применение газлифтной технологии требует точного расчета режимных параметров, которые могут изменяться в зависимости от геолого-технических условий, свойств добываемых жидкостей и других факторов, таких как состояние оборудования и внешних коммуникаций. Эти факторы создают значительные трудности для стабильного функционирования газлифтных скважин и требуют постоянной адаптации к изменениям в системе.

Использование современных технологий, таких как системы SCADA для реального времени мониторинга и оптимизации работы газлифтных скважин, позволяет значительно улучшить процессы управления. Такие системы дают возможность оперативно адаптировать параметры в ответ на изменения условий в реальном времени, что способствует улучшению показателей добычи и снижению затрат. Также стоит отметить важность применения нейронных сетей и автоматизированных систем управления, которые позволяют динамически обновлять модели, поддерживая оптимальные режимы работы скважин. Для оптимизации распределения рабочего газа между группой скважин применяются различные методы, такие как анализ прироста дебита и повышение расхода газа в скважинах с наибольшей отдачей. Этот процесс позволяет эффективно распределять ограниченные ресурсы, минимизируя общее потребление газа, что является важным шагом в достижении энергоэффективности.

Кроме того, применение теории принятия решений в условиях неопределенности и риска может сыграть важную роль в улучшении процесса оптимизации, обеспечив выбор наилучшей стратегии инъекции газа. Это позволит не только уменьшить расход рабочего агента, но и повысить общую эффективность добычи на месторождениях. Таким образом, разработка новых методов расчета и оптимизации режимов работы газлифтных скважин, а также внедрение передовых технологий мониторинга и управления, позволит значительно повысить эффективность добычи нефти, сократить затраты и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду. Важно, что подобные подходы не только способствуют экономии ресурсов, но и обеспечивают гибкость в управлении, что критически важно в условиях постоянно изменяющихся эксплуатационных условий.

Список литературы:

1. Алиев Ф.А. Моделирование работы газлифтной скважины / Ф.А. Алиев, М.Х. Ильясов, М.А. Джамалбеков // Доклады НАНА. – 2008. – № 4. – С. 107–116.



2. Аббасова С.В. Анализ и обработка начальных информационных данных о расходах жидкости газлифтных скважин. Control and Optimization with Industrial Applications. 8-я международная конференция. – Азербайджан, Баку : COIA, 2022. – С. 24–26.
3. Аббасова С. Выбор режима работы группы газлифтных скважин на основе теории принятия решений в условиях риска / С. Аббасова, Г. Маммадова // RT&A. Специальный выпуск. – 2024. – № 6 (81). – Ч. 1. – Т. 19. – С. 374–380.
4. Создание нечетких моделей для расчета запасов нефти и газа / И.Ю. Баярамов [и др.] // 15-я Международная конференция по применению нечетких систем, мягких вычислений и инструментов искусственного интеллекта. ICAFS. – Черногория, Будва, 2022. – С. 493–501. – URL : https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-25252-5_65
5. Вадимович С.И. Моделирование и управление режимами работы газлифтных скважин : дис. ... канд. техн. наук. – М., 2010. – 155 с.
6. Маммадов Р.М. О контроле работы газлифтных скважин – анализ и обработка начальных информационных данных / Р.М. Маммадов, А.В. Маммадов, А.В. Султанова // Доклад, представленный на конференции и выставке SPE Caspian Technical Conference and Exhibition. – Азербайджан, Баку, 2023.
7. Моделирование работы газлифтной скважины с автоматизированной системой контроля подачи газа. SPE Российская конференция по нефтяным технологиям / Е.В. Юдин [и др.]. – 2019. – С. 1–33.

List of references:

1. Aliyev F.A. Modeling of Gas-Lift Well Operation / F.A. Aliyev, M.Kh. Ilyasov, M.A. Djamalbekov Reports of the NASA. – 2008. – № 4. – P. 107–116.
2. Abbasova S.V. Analysis and processing of initial information data on fluid flow rates of gas lift wells. Control and Optimization with Industrial Applications. 8th International Conference. – Azerbaijan, Baku : COIA, 2022. – P. 24–26.
3. Abbasova S. Selection of the operation mode of a gaslift wells group based on the theory of decision-making under risk conditions / S. Abbasova, G. Mammadova // RT&A. Special Issue. – 2024. – № 6 (81). – Part 1. – Vol. 19. – P. 374–380.
4. Creation of fuzzy models for the calculation of oil and gas reserves / I.Y. Bayramov [et al.] // 15th International Conference on Applications of Fuzzy Systems, Soft Computing and Artificial Intelligence Tools ICAFS. Springer. Montenegro, Budva, 2022. – P. 493–501. – URL : https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-25252-5_65
5. Vadimovich S.I. Modeling and Control of Gas-Lift Well Operation Modes, Candidate of Technical Sciences Dissertation. – M., 2010. – 155 p.
6. Mammadov R.M. About Control of Gas-Lift Well Operations – Analysis and Processing of Initial Information Data Set / R.M. Mammadov, A.V. Mammadov, A.V. Sultanova // Paper presented at the SPE Caspian Technical Conference and Exhibition. – Azerbaijan, Baku, 2023.
7. Modeling of gas lift well operation with automated gas supply control system. SPE Russian conference on petroleum technologies / E.V. Yudin [et al.]. – 2019. – P. 1–33.