

УДК 622.279.5+51-7

## **НЕЛИНЕЙНОЕ ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ЦИКЛИЧЕСКОГО ГАЗЛИФТА НА РЕЖИМАХ С ВЫНУЖДЕННЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ**

**Ю.Г. Бураков, Филиал ООО "ВНИИГАЗ" – "Севернипигаз",  
В.А. Соколов, Ухтинский государственный технический университет**

Для подъёма газожидкостной смеси из глубоких обводнённых скважин нефтегазоконденсатных (газовых) месторождений в условиях высокого содержания в продукции жидкой фазы, дефицита энергии пласта и рабочего агента (газа) была разработана и запатентована "Установка газлифтная циклической эксплуатации скважин газожидкостным эжектором". Она прошла ведомственные приёмочные испытания на Вуктыльском месторождении и рекомендована для использования на газодобывающих предприятиях и в дочерних обществах ОАО "Газпром".

В сложных условиях эксплуатации, когда энергии и расхода пластового и рабочего газов недостаточно для обеспечения постоянного выноса жидкости из скважины она работает в режиме вынужденных колебаний с фиксированными временами её накопления на забое и вытеснения на поверхность в каждом цикле. Это является причиной работы системы циклического газлифта на режимах с вынужденными колебаниями. Вопросам моделирования таких колебаний и посвящена данная работа.

Представленные в работе теоретические исследования и расчёты по оценке возможности математического описания динамики основных параметров установки циклического газлифта на режимах с вынужденными колебаниями позволяют отметить следующее.

Сначала для этой цели исследовалась возможность применения идентификационных подходов. Было показано, что даже достаточно простое идентификационное уравнение с коэффициентом  $a$  (коэффициент, обратный коэффициенту продуктивности системы), характерным временем переходного процесса  $\tau$  для переменных  $\Delta p^2$  (разность квадратов затрубного и буферного давлений) и  $Q_{гс}^2$  (последний параметр - расход газа сепарации в квадрате - считался входной переменной) позволяет достаточно точно описывать изучаемую динамику параметров процесса (заметим, что полученное идентификационное уравнение линейно относительно указанных переменных  $\Delta p^2$  и  $Q_{гс}^2$ ). Это означает, что после определения параметров идентификационного уравнения  $a$  и  $\tau$  задание динамики входной переменной  $Q_{гс}^2$  по синусоиде позволяет получить решение для описания колебательного изменения другой переменной  $\Delta p^2$ . Это обстоятельство позволяет применить уравнения такого типа не только для анализа, но и для экстраполяции характера работы изучаемой геолого-технической системы.

Далее была сделана попытка применения существенно нелинейной системы Лотки-Вольтерра (ЛВ), состоящей из двух нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ), для описания взаимосвязи двух переменных  $Q_{гс}$  и  $Q_{ж}$  (дебит жидкости). Основание для проверки эффективности такого подхода связано с тем, что весь процесс добычи жидкости с применением установки циклического газлифта достаточно сложен, трудно формализуем в

рамках теории нестационарного движения газожидкостных систем в вертикальных подъёмниках и горизонтальных шлейфах скважин, а также явно и существенно нелинеен как по причине периодичности подачи на скважину рабочего агента, так и по причине наличия инерционных свойств у пластовой и технической (например, газлифтных клапанов) систем, проявляющихся при их реагировании на возмущения. В результате проведенных расчётов и анализа установлено, что математический аппарат автоколебательной системы ЛВ применим для описания работы установки циклического газлифта только после существенного его модифицирования, а также при условии сдвига решения по одной из переменных во времени на постоянную величину.

Наконец, была сделана попытка описания работы системы в режиме вынужденных колебаний (по причине периодической принудительной подачи рабочего агента) по трём переменным  $Q_{гвд}$  (расход газа высокого давления),  $Q_{гс}$  и  $Q_{ж}$  с помощью системы из трёх ОДУ. Пока такой подход - это просто совместная запись полученной ранее модифицированной системы ЛВ и уравнения, правая часть которого записана с использованием синусоидальной функции и зависит только от времени (для описания импульсов рабочего агента). В итоге получен пока только более компактный способ описания работы установки с помощью системы с трёхмерным фазовым портретом. Попытки ввести импульсно изменяющуюся переменную  $Q_{гвд}$  в два остальных уравнения и при этом получить приемлемое описание их фактических динамик во времени пока успехом не увенчались. Однако при выводе установки на режим устойчивых автоколебаний (когда расход рабочего газа будет "определяться" самой установкой) такой подход может оказаться перспективным решением проблемы мониторинга и прогнозирования параметров режима работы скважин, оснащённых установкой циклического газлифта.

В итоге можно сделать следующие выводы:

- при необходимости моделирования параметров  $\Delta p^2$  и  $Q_{гс}^2$  можно применять идентификационное уравнение с синусоидальным заданием динамики  $Q_{гс}^2$  (описание одним линейным ОДУ);
- расходы газа сепарации и жидкости можно моделировать на основе моделей типа автоколебательной модели Лотки-Вольтерра с двумерными фазовыми портретами переменных, но только после её модифицирования и сдвига решения для одной из переменных во времени на постоянную величину (описание двумя нелинейными ОДУ);
- применение динамических моделей с трёхмерными фазовыми портретами возможно для моделирования импульсов подачи рабочего газа и колебательного характера расходов газа сепарации и жидкости, что реализовано в настоящей работе пока только для более компактного описания фактической динамики переменных с перспективой на соединение системы трёх уравнений в единую нелинейную модель (описание тремя нелинейными ОДУ).