

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВНУТРИСКВАЖИННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ДОЗИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО РЕАГЕНТА

Макарова Т.Г.¹, Думлер Е.Б.², Набиуллина Г.Р.², Лошчакова Э.У.²

¹*Альметьевский государственный нефтяной институт, Альметьевск;*

²*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева,
Лениногорский филиал, Лениногорск*

Ключевые слова: установка электроприводного лопастного насоса, струйный насос, дозирующий насос, насосно-компрессорные трубы, асфальтосмолопарафиновые отложения.

Аннотация. Для повышения эффективности добычи нефти из скважин осложненных асфальтосмолопарафиновыми отложениями (АСПО) предложен способ непрерывного дозирования химического реагента в зону активного отложения АСПО. Подача реагента в верхнюю часть колонны насосно-компрессорных труб осуществляется с помощью системы состоящей из струйного насоса и скважинного электроприводного лопастного насоса (СЭЛН), монтируемых на одной колонне НКТ, а также дозирующего насоса. Надежная конструкция без движущихся частей и расчет конструктивных параметров струйного аппарата по разработанной методике минимизируют риск отказа. Произведен числовой расчет подбора оптимальных конструктивных параметров струйного аппарата, обеспечивающих требуемый расход реагента, исходя из технологического режима УСЭЛН и заданной дозы реагента, предотвращающего образование АСПО. Требуемый расход реагента достигается путем изменения одного из четырех параметров струйного насоса или насоса-дозатора: диаметра камеры смешения, диаметра отверстия насоса-дозатора, длины камеры смешения, длины конфузора.

ANALYSIS OF THE RESULTS OF MODELING THE PARAMETERS OF THE DOWNHOLE SYSTEM FOR CHEMICAL DOSING

Makarova T.G.¹, Dumler E.B.², Nabiullina G.R.², Loshchakova E.U.²

¹*Almetyevsk state oil institute, Almetyevsk;*

³*Kazan National Research Technical University n.a. A.N. Tupolev, Leninogorsk*

Keywords: installation of electric driven vane pump, jet pump, metering pump, tubing pipes, asphalt-resin-paraffin deposits.

Abstract. To increase the efficiency of oil production from wells complicated by asphalt-resin-paraffin deposits, a method is proposed for continuous dosing of chemical reagent into the zone of active deposition of ASAP. The reagent is supplied to the upper part of the tubing string using a system consisting of a jet pump and a downhole motor-operated vane pump (SELN) mounted on one tubing string, as well as a metering pump. Reliable design without moving parts and calculation of design parameters of the jet apparatus according to the developed method minimize the risk of failure. A numerical calculation of selection of optimal design parameters of the jet apparatus ensuring the required reagent flow rate was made based on the process mode of USELN and the specified dose of reagent preventing the formation of AFAS. Required consumption of reagent is achieved by changing one of four parameters of jet pump or dosing pump: diameter of mixing chamber, diameter of dosing pump opening, length of mixing chamber, length of confuser.

Введение

На современном этапе при эксплуатации скважин начали применять струйные насосы. Они обладают высокой самовсасывающей способностью, возможностью перекачки жидкостей, газов, газожидкостных смесей, суспензий, содержащих твердые частицы, а также агрессивных сред. Особым преимуществом является простота устройства, отсутствие движущихся деталей позволяет им обеспечивать высокий КПД, малые габаритные размеры и масса позволяют устанавливать их в труднодоступных местах. Немаловажной конструктивной особенностью является возможность несложного регулирования напора и подачи [1-3].

В последнее время при эксплуатации нефтедобывающих скважин с осложненными условиями наблюдается тенденция использования совместно с насосными установками для подъема продукции пласта струйных насосов. Наиболее широко применяются «танделы» установок скважинных погружных электроприводных лопастных насосов (УСЭЛН) [4] – струйный насос, причем в этой паре лопастные насосы являются приводами струйных [5].

Большое число высокодебитных скважин, которые эксплуатируются УСЭЛН, осложнены асфальтосмолопарафиновыми отложениями (АСПО). Для предотвращения негативного влияния таких отложений на работу насоса предусматривается подача в скважину химических реагентов. Известные методы подачи химических реагентов предполагают использование специальных дозирочных насосов. Однако реализация существующих методов предполагает, помимо дозирочных насосов, использование комплекса агрегатов, подвода электроэнергии, что требует дополнительных экономических затрат. Современные дозирочные системы мало эффективны, поскольку не обеспечивают подачу необходимого количества реагента непосредственно в зону активного отложения АСПО и вызывают большой расход реагентов. К тому же используемые в установках насосы-дозаторы создают неравномерность подачи, которая приводит к динамическим нагрузкам. Еще один недостаток – при низких температурах требуется ввод различных дорогостоящих присадок в химические реагенты, либо невозможность реализации подачи [6-9].

Анализ недостатков существующих методов и применяемого оборудования указывает на необходимость разработки более эффективного метода.

Методы

Проведенные исследования определили зону наиболее активных отложений АСПО – это верхняя часть насосно-компрессорных труб (НКТ). Для предотвращения АСПО и повышения эффективности доставки реагента в условиях низких температур разработано техническое решение. Предлагаемое техническое решение разработано для погружных насосных установок, в частности УСЭЛН. В качестве дозирочного устройства для подачи химического реагента предложено использовать эжекторы. Предлагаемая компоновка оборудования включает в себя струйный насос и скважинный электроприводной лопастной насос (СЭЛН), монтируемые на одной колонне НКТ, а также дозирующий насос. В качестве дозирующего насоса при рассмотрении всей установки в целом, условно принимается часть конструкции, в которую включена устьевая емкость, а также вертикальный и горизонтальный участок трубопровода для транспорта реагента в камеру смешения струйного насоса [10].

Отличительная особенность разработанной конструкции и технологии заключается в том, что дозировка реагента непрерывна за счет принципа действия струйного насоса и насоса-дозатора в комбинации с УСЭЛН, что позволяет обеспечить необходимый перепад давления для обеспечения расхода реагента, а также не требуется дополнительных экономических затрат.

Многими авторами предлагаются различные методики расчета, связывающие развиваемый насосом напор и подачу жидкости [11, 12], однако, методики, позволяющей связать параметры УСЭЛН и конструктивные параметры струйного насоса нет, в связи с этим требуются дальнейшие исследования.

Для реализации поставленной задачи разработан расчетный алгоритм. Функционирования струйного насоса и насоса-дозатора связано входными данными ЭЛН и параметрами струйного насоса: подачей УСЭЛН, давлением на выходе, расстоянием между УСЭЛН и струйным насосом, а также расходом реагента и диаметрами на входе и выходе конфузора, камеры смешения и диаметром отверстия насоса-дозатора [13]. Разработанная методика предполагает принятие некоторых произвольных параметров струйного насоса или насоса-дозатора (диаметр камеры смешения, диаметр насоса-дозатора, длина конфузора, длина камеры смешения) для экономической эффективности при массовом внедрении разработанной установки. Например, обеспечить требуемый расход реагента возможно путем варьирования диаметра камеры смешения, диаметра отверстия насоса-дозатора и т.д.).

По разработанной методике выполняется моделирование работы УСЭЛН и струйного насоса, определяются геометрические параметры струйного насоса, включая глубину установки, исходя из заданного объема требуемого расхода реагента для предотвращения АСПО.

Математическая модель внутрискважинной системы для дозирования химического реагента

В разработанной методике предложены четыре варианта обеспечения требуемого расхода реагента путем варьирования параметров струйного насоса и насоса-дозатора: внутренний диаметр камеры смешения ($d_{см}$, м); диаметр входного отверстия насоса-дозатора ($d_{нд}$, м); длины камеры смешения ($L_{кс}$, м); длины конфузора ($L_{конф}$, м).

При движении жидкости в камере смешения струйного насоса будет происходить турбулизация потока, что требует учета сил трения жидкости о стенки, запишем уравнение движения жидкости без учета сил тяжести, а также пренебрегая силами нормальной реакции участка насоса, по которому движется жидкость:

$$(P_{вх.кс} - P_{вых.кс})f_{кс} + Q_{реаг}\rho_{реаг}u_{реаг} + Q_{ж}\rho_{ж}u_{ж} = Q_{см}\rho_{см}u_{см} + F_{тр}, \quad (1)$$

где $P_{вх.диф}$ – давление на входе в конфузور, Па; $P_{вых.диф}$ – давление на выходе из диффузора, Па; $f_{кс}$ – площадь поперечного сечения камеры смешения, м²; $Q_{реаг}$ – расход реагента, м³/с; $\rho_{реаг}$ – плотность реагента, кг/м³; $u_{реаг}$ – скорость реагента, м/с; $Q_{ж}$ – расход жидкости, м³/с; $\rho_{ж}$ – плотность жидкости, кг/м³; $u_{ж}$ – скорость жидкости, м/с; $Q_{см} = Q_{ж} + Q_{реаг}$ – расход смеси, м³/с; $\rho_{см} = w\rho_{ж} + (1-w)\rho_{реаг}$ – плотность смеси, кг/м³; $w = \frac{Q_{ж}}{Q_{ж} + Q_{реаг}}$ – объемная доля

реагента в жидкости, $u_{см}$ – скорость смеси, м/с.

Сила трения жидкости в формуле (1) находится по формуле:

$$F_{тр} = \Sigma \cdot f \cdot \frac{\rho_{см}u_{см}^2}{2}, \quad (2)$$

где Σ – периметр камеры смешивания, м²; $f = \frac{0,316}{\sqrt[4]{Re}}$ – коэффициент сопротивления;

$Re = \frac{\rho_{см}u_{см}d_{см}}{\mu_{см}}$ – число Рейнольдса; $\mu_{см} = w\mu_{ж} + (1-w)\mu_{реаг}$ – вязкость смеси, мПа·с;

$\mu_{ж}$ – вязкость жидкости, мПа·с; $\mu_{реаг}$ – вязкость реагента, мПа·с.

На рисунке 1 схематично представлена общая гидравлическая схема системы «УСЭЛН – струйный насос».

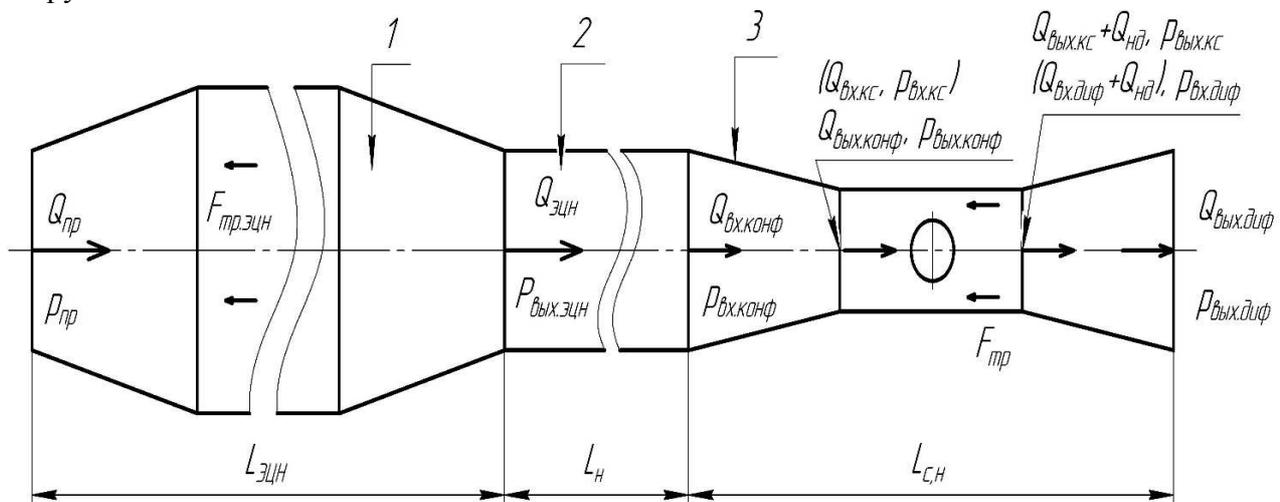


Рис. 1. Гидравлическая схема внутрискважинной системы для дозирования химического реагента: 1 – УСЭЛН; 2 – участок НКТ между УСЭЛН и струйным насосом; 3 – струйный насос

Разработанная математическая модель основана на законе сохранения масс и энергии, а также уравнении Бернулли, учитывает протекание гидродинамических процессов с учетом сопротивлений в сужающихся (конфузор) частях струйного насоса, сопротивлений в камере смешения потока.

Процесс расчета согласно представленной математической модели следующий: рассчитывается давление на входе в конфузор (уравнение Бернулли) с учетом сопротивлений, вызванных трением жидкости о стенки НКТ; рассчитывается давление на выходе из конфузора с учетом сужения потока, что учитывается коэффициентом сопротивления конфузора; аналитически связываются все конструктивные параметры струйного насоса и насоса-дозатора (диаметр камеры смешения, диаметр отверстия насоса-дозатора, длина камеры смешения, длина конфузора), а также расход реагента с учетом работы УСЭЛН, что позволяет определить требуемые конструктивные параметры. Уравнения, включенные в модель, определяют доли содержания реагента в поступившей в струйный насос жидкости, а также геометрические зависимости.

При этом коэффициенты сопротивления в конфузоре и камере смешения могут быть определены в зависимости от угла наклона согласно методике, представленной в работе [9].

На рисунке 2 схематично показан вид спереди разработанной конструкции установки.

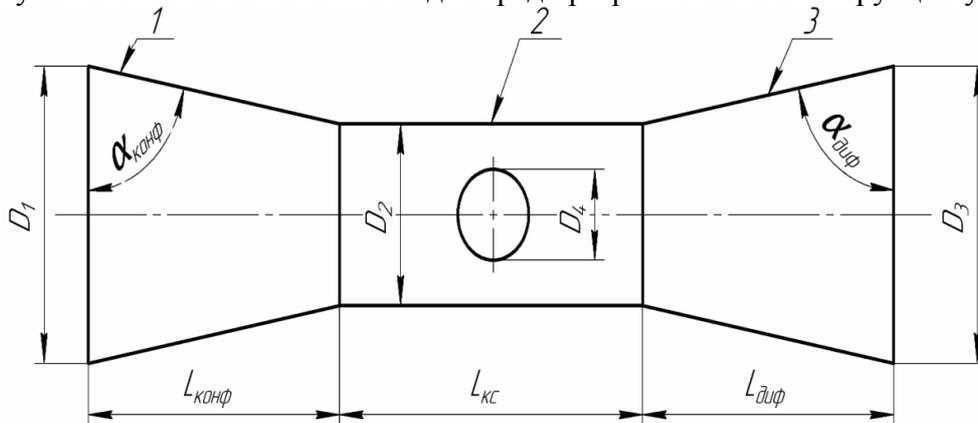


Рис. 2. Геометрические параметры струйного насоса: 1 – конфузор; 2 – камера смешения; 3 – диффузор

Для связывания параметров струйного насоса таких как угол наклона конфузора $\alpha_{конф}$, угол наклона диффузора $\alpha_{диф}$, диаметры D_1 , D_2 , D_3 , длины конфузора $L_{конф}$ и диффузора $L_{диф}$ достаточно воспользоваться следующими геометрическими зависимостями:

$$\begin{cases} D_2 = D_1 - \text{ctg}(\alpha_{конф})L_{конф}, \\ D_2 = D_3 - \text{ctg}(\alpha_{диф})L_{диф}, \end{cases} \quad (2)$$

где D_1 , D_2 , D_3 – диаметры на входе в конфузор, диаметр камеры смешения, диаметр диффузора, м; $\alpha_{конф}$, $\alpha_{диф}$ – углы наклона конфузора и диффузора соответственно, град; $L_{конф}$, $L_{диф}$ – длины конфузора и диффузора соответственно, м.

Или выражая зависимости (2) через угол наклона:

$$\begin{cases} \alpha_{конф} = \text{arcctg}\left(\frac{D_1 - D_2}{L_{конф}}\right), \\ \alpha_{диф} = \text{arcctg}\left(\frac{D_3 - D_2}{L_{диф}}\right), \end{cases} \quad (3)$$

Далее представлен расчетный пример реализации разработанной методики по определению оптимальных параметров струйного насоса на модельной скважине, расчет производился на основе выбора одного из расчетных вариантов разработанной методики. Проведенный анализ подтвердил наличие чувствительности изменения расхода к каждому из четырех варьируемых параметров струйного насоса или насоса-дозатора. Исследование

чувствительности подачи реагента к параметрам струйного насоса и насоса-дозатора производится на основе алгоритма, а также согласно приведенным уравнениям и разработанной блок-схеме.

Исходные данные УСЭЛН и модельной скважины. Входными параметрами для моделирования работы УЭЦН и струйного насоса являются: диаметр $D_{нкт}$ – 0,089 м; угол наклона конфузора – 68 град; глубина спуска струйного насоса – 700 м; глубина спуска УЭЦН – 900 м; глубина скважины 1500 м; плотность жидкости – 800 кг/м³; вязкость жидкости – 5-30 мПа·с; подача УЭЦН 90 м³/сут; требуемый расход реагента – 2,5 л/сут.

Вариант 1: варьирование диаметра камеры смешения

Первый этап – исследование чувствительности изменения расхода реагента к изменению диаметра камеры смешения. На основе решения системы уравнений математической модели получены зависимости, представленные на рисунке 3. Графическое решение получено при подаче УСЭЛН, равной 90 м³/сут. При этом расчет ведется в точке на выходе из камеры смешения, где взаимосвязаны все геометрические параметры струйного насоса и насоса-дозатора, параметры УСЭЛН.

При моделировании приняты параметры конфузора следующие: диаметр на входе 89 мм; длина 200 мм. Приняты параметры камеры смешения: диаметр отверстия насоса-дозатора 10 мм; длина 90 мм.

Красной сплошной линией изображена расчетная зависимость расхода реагента, зеленой сплошной линией – требуемый расход и красная пунктирная линия – проекция точки пересечения указанных графиков.

Основываясь на полученном графическом решении, представленном на рисунке 4 возможно получить требуемое значение диаметра на выходе из конфузора (диаметр камеры смешения). Получены две точки пересечения графиков, связано это с тем, что расход реагента, с одной стороны, увеличивается с уменьшением диаметра камеры смешения (соответствует промежутку на графике от 9-15 мм), но после определенного значения расход падает вследствие наличия высоких гидравлических сопротивлений (соответствует значениям диаметра 7-9 мм). В виду наличия двух точек пересечения предпочтительным вариантом будет тот диаметр, который обеспечивает наименьшую вероятность возникновения турбулентного потока, а также обеспечивает требуемый расход. В данном случае оптимальное значение диаметра на выходе из конфузора при подаче УСЭЛН 90 м³/сут составляет порядка 14 мм. Экстремум расчетных функций приходится на значение диаметров порядка 8,7-8,9 мм и расход при таком значении составляет 4,3 л/сут.

Вариант 2: варьирование диаметра отверстия насоса-дозатора

Аналогично произведено исследование чувствительности изменения расхода реагента при варьировании диаметра отверстия насоса-дозатора. Получено графическое решение для определения указанного диаметра (рис. 4).

При этом диаметр камеры смешения принят диаметру, полученному в ходе проведенного ранее анализа (рис. 3), а длины конфузора и камеры смешения принимаются отличными от ранее принятых, для возможности варьирования значения диаметра отверстия насоса-дозатора и проведения анализа чувствительности расхода реагента при варьировании указанного параметра.

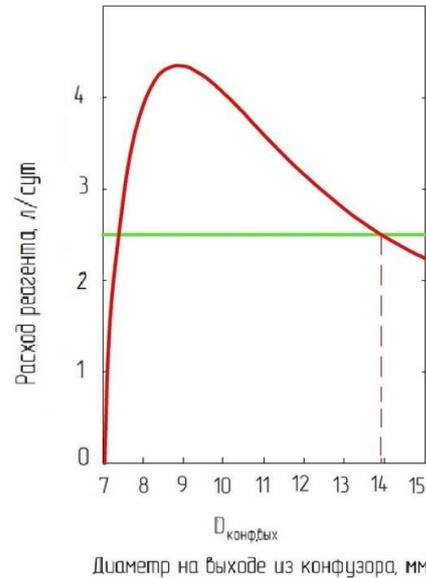


Рис. 3. Подбор диаметра камеры смешения:
— – расход реагента ($Q_{реак}(D_{кон.вых})$) в зависимости от изменения выходного диаметра конфузора; — – требуемый расход реагента ($Q_{реак}$)

При моделировании приняты параметры конфузора следующие: диаметр на входе 89 мм; длина 190 мм; диаметр на выходе 14 мм.

Приняты при моделировании параметры камеры смешения: длина 70 мм; диаметр камеры смешения 14 мм.

Аналогично, с учетом требуемого расхода получено оптимальное значение диаметра отверстия насоса-дозатора для подачи реагента, составляющее 12,4 мм. При этом при текущем значении подачи УСЭЛН функция монотонно убывает с уменьшением диаметра отверстия насоса-дозатора. Исходя из рисунка 5, при диаметре на выходе из конфузора 14 мм и его длине 200 мм, длине камеры смешения 90 мм обеспечивается требуемый расход 2,5 л/сут при диаметре отверстия насоса-дозатора 10 мм.

Однако, при задании длины конфузора и камеры смешения (190 и 70 мм), отличных от принятых ранее, получено значение диаметра отверстия насоса-дозатора равным 12,4 мм (рис. 4), что свидетельствует о наличии чувствительности расхода реагента к параметрам струйного насоса. Сравнивая полученные ранее результаты на рисунках при соответствующих исходных данных, можно сделать вывод, что при изменении какого-либо из параметров струйного насоса меняется и чувствительность изменения расхода реагента, что возможно скомпенсировать каким-либо из варьируемых параметров.

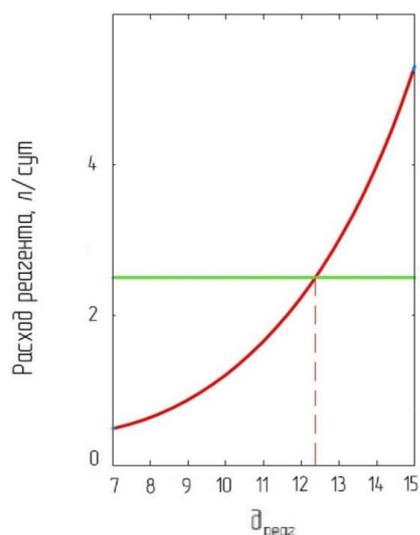
Вариант 3: варьирование длины камеры смешения

Следующий этап – исследование влияния изменения длин конфузора и камеры смешения на подачу дозировочного реагента. На рисунках 5-6 представлен пример графического решения для подбора длин конфузора и камеры смешения.

Аналогично тому, как было принято ранее, при моделировании задаются различные исходные значения длин конфузора и камеры смешения для выявления чувствительности изменения расхода к этим параметрам.

При моделировании приняты параметры конфузора следующие: диаметр на входе 89 мм; диаметр на выходе 14 мм. Приняты при моделировании параметры камеры смешения: диаметр камеры смешения 14 мм; диаметр отверстия насоса-дозатора 12,4 мм.

Полученное решение на рисунке свидетельствует об оптимальном значении длины камеры смешения, составляющей 113 мм при длине конфузора равной 165 мм.



Диаметр отверстия насоса-дозатора, мм

Рис.4. Подбор диаметра отверстия насоса-дозатора для подачи реагента: — расход реагента ($Q_{реаг}(d_{реаг})$) в зависимости от изменения диаметра отверстия насоса-дозатора для подачи реагента; — требуемый расход реагента ($Q_{реаг}$)

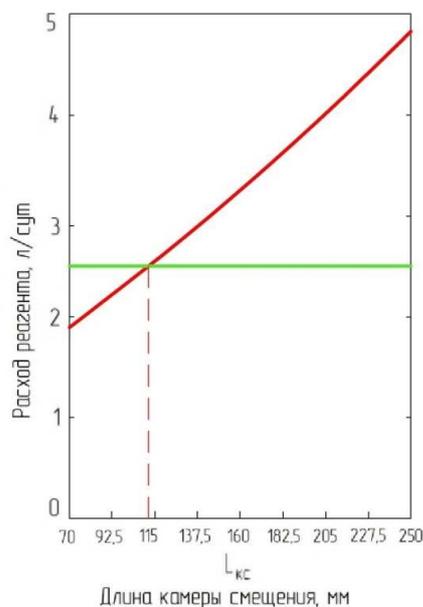


Рис. 5. Подбор длины камеры смешения: — расход реагента ($Q_{реаг}(L_{кс})$) в зависимости от изменения длины камеры смешения; — требуемый расход реагента ($Q_{реаг}$)

Вариант 4: варьирование длины конфузора

Далее рассмотрено влияние длины конфузора (рис. 6).

При моделировании приняты параметры конфузора следующие: диаметр на входе 89 мм; диаметр на выходе 14 мм. Приняты при моделировании параметры камеры смешения: диаметр камеры смешения 14 мм; диаметр отверстия насоса-дозатора 12,4 мм.

На основе графического решения, представленного на рисунке 7 получено, что оптимальная длина конфузора составляет 194 мм при указанной подаче УСЭЛН $90 \text{ м}^3/\text{сут}$ и длине камеры смешения 68 мм. Очевидно, что для снижения турбулентного потока требуется увеличение длины конфузора для обеспечения более плавного перепада давления, что позволит в некоторой степени снизить кавитацию.

Также необходимо определить глубину установки струйного насоса или расстояние между УСЭЛН и струйным насосом. Решение представлено на рисунке 7.

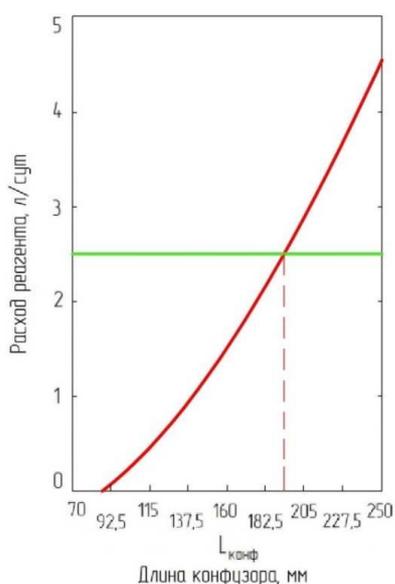


Рис. 6. Подбор длины конфузора: — расход реагента ($Q_{\text{реаг}}(L_{\text{конф}})$) в зависимости от изменения длины камеры смешения; — требуемый расход реагента ($Q_{\text{реаг}}$)

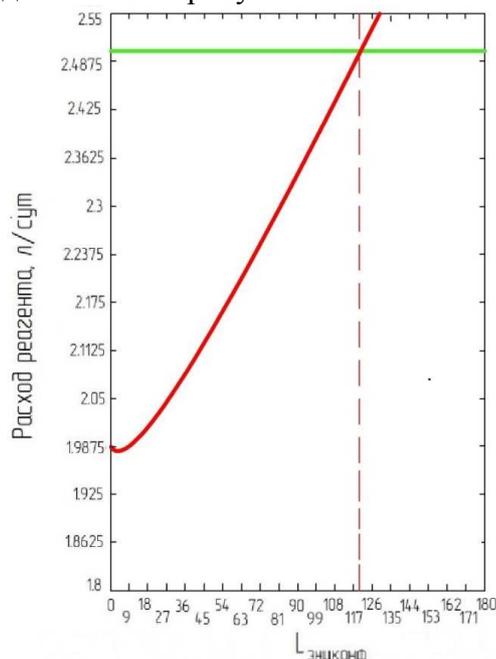


Рис. 7. Подбор расстояния между УСЭЛН и струйным насосом: — расход реагента ($Q_{\text{реаг}}(L_{\text{УЭЦН.конф}})$) в зависимости от изменения расстояния между УЭЦН и струйным насосом; — требуемый расход реагента ($Q_{\text{реаг}}$)

Результаты

При моделировании приняты параметры конфузора следующие: диаметр на входе 89 мм; длина конфузора 190 мм; диаметр на выходе 14 мм. Приняты при моделировании параметры камеры смешения: диаметр камеры смешения 14 мм; длина камеры смешения 70 мм; диаметр отверстия насоса-дозатора 12,4 мм.

Полученное графическое решение на рисунке 7 свидетельствует о повышении расхода реагента с увеличением расстояния от УСЭЛН до струйного насоса. Связано это с повышением гидравлических потерь вследствие увеличения расстояния между ними. Перепад давления, вызванный увеличением гидравлических сопротивлений на участке НКТ, ограниченным УСЭЛН и струйным насосом, способствует увеличению перепада давления реагента на входе в камере смешения, вследствие чего увеличивается и расход реагента. В данном случае оптимальное значение расстояния между УСЭЛН и струйным насосом составляет около 120 м.

Диаметр на входе конфузора и диффузора для снижения гидравлических сопротивлений следует принимать, согласно методике расчета струйного насоса [13], равным диаметру НКТ. С учетом этого, а также полученных расчетных геометрических параметров выше, угол

наклона конфузора и диффузора определяются согласно формулам (2), (3). Алгоритм расчета определяет все параметры струйного насоса и насоса-дозатора. Пример набора геометрических параметров, обеспечивающих требуемый расхода реагента: диаметр на входе конфузора и выходе диффузора 89 мм, диаметр камеры смешения 14 мм, диаметр отверстия насоса-дозатора для подачи реагента 12,4 мм, длина конфузора 190 мм, длина камеры смешения 70 мм.

В ходе проведенного исследования влияния параметров струйного насоса и насоса-дозатора на чувствительность расхода реагента следует отметить, что, задаваясь одним из варьируемых параметров (геометрическими параметрами струйного насоса или насоса-дозатора), возможно достичь точной регулировки расхода с целью обеспечения требуемой подачи реагента.

Выводы

Методика расчета геометрических параметров струйного насоса и насоса, дозирующего реагент, а также учитывающая характер движения потока и др., показала, что требуемый расход реагента достигается путем изменения одного из четырех параметров струйного насоса или насоса-дозатора: диаметра камеры смешения, диаметра отверстия насоса-дозатора, длины камеры смешения, длины конфузора. Приведен числовой пример расчета для модельной скважины, получены массивы геометрических параметров, обеспечивающих требуемый расхода реагента, пример одного из наборов параметров: диаметр на входе конфузора и выходе диффузора 89 мм; диаметр камеры смешения 14 мм, диаметр отверстия насоса-дозатора для подачи реагента 12,4 мм, длина конфузора 190 мм, длина камеры смешения 70 мм, расстояние между УСЭЛН и струйным насосом 120 м.

Список литературы

1. Мышов А.Н. Струйные насосы для добычи нефти // Вестник науки. – 2023. – Т. 2, №2(59). – С. 270-273.
2. Сазонов Ю.А., Димаев Т.Н., Казакова Е.С., Мясичев А.А. Струйные насосы для перекачки многофазных сред // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. – 2012. – №4. – С. 35.
3. Патент №2517287 РФ. Струйный аппарат для перепуска затрубного газа / К.Р. Уразаков, Р.И. Вахитова, Д.А. Сарачева, Э.В. Абрамова. – Заявка №2012149306 от 19.11.2012; опубл. 27.05.2014, Бюл. №15.
4. ГОСТ Р 56830-2015. Национальный стандарт российской федерации. Нефтяная и газовая промышленность. Установки скважинных электроприводных лопастных насосов.
5. Дроздов А.Н., Вербицкий В.С., Деньгаев А.В., Ламбин Д.Н., Кочергин А.М., Курятников В.В. Применение насосно-эжекторных систем «Тандем» на нефтяных месторождениях Российской Федерации // Нефтепромысловое дело. – 2004. – №3. – С. 31-46.
6. Насибуллин И.М., Галлямов Н.З., Шаболкин С.В., Базилевский И.Н., Гусев С.Л., Баймашев Б.А. Результаты применения новой комплексной технологии обработки призабойной зоны пласта в ОАО "ТНК-Нягань" // Нефтепромысловое дело. – 2010. – №10. – С. 33-36.
7. Ишемгузин И.Е., Грогуленко В.В., Михайлов П.Г. Дозированная подача химических реагентов в скважину // Труды 61-ой научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ. – Уфа: УГНТУ, 2010. – С. 177.
8. Шайдаков В.В., Людвиницкая А.Р., Шайдаков Е.В., Стефамиров А.В. Капиллярная насосная подача химических реагентов в скважину // Нефть. Газ. Новации. – 2009. – №1. – С. 46-48.
9. Патент №66411 РФ. Устройство для дозированной подачи химических реагентов в скважину / В.В. Шайдаков, А.Н. Зотов, Э.Ш. Имаева, О.Ю. Полетаева, В.В. Уметбаев, Г.А. Аптыкаев. – Заявка № 2007111496/22 от 28.03.2007; опубл. 10.09.2007, Бюл. №25.
10. Патент №2752569 РФ. Скважинная дозирующая насосная установка для предотвращения отложений / К.Р. Уразаков, Т.Г. Макарова, Е.Б. Думлер, Р.И. Вахитова, А.О. Борисов. – Заявка № 2021104654 от 25.02.2021; опубл. 29.07.2021, Бюл. №22.
11. Уразаков К.Р., Мухин И.А., Вахитова Р.И., Сарычева Д.А., Волков И.В. Исследование характеристик струйного насоса численным моделированием // Нефтегазовое дело. – 2015. – Т. 13, №14. – С. 149-154.
12. Уразаков К.Р., Вахитова Р.И., Сарачева Д.А. Методика расчета параметров струйного насоса при совместной эксплуатации с ЭЦН // Нефтегазовое дело. – 2011. – №3. – С. 134-146.
13. Макарова Т.Г., Уразаков К.Р., Думлер Е.Б. Методика расчета параметров скважинной насосной установки для предотвращения отложений // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – №3. – С. 64-71.

References

1. Myshov A.N. Jet pumps for oil production // Bulletin of Science. 2023, vol. 2, no. 2(59), pp. 270-273.
2. Sazonov Yu.A., Dimaev T.N., Kazakova E.S., Myasishchev A.A. Jet pumps for transfer of multiphase media // Quality management in the oil and gas complex. 2012, no. 4, p. 35.
3. Patent No. 2517287 RU. Annular gas bypass jet / K.R. Urazakov, R.I. Vakhitova, D.A. Saracheva, E.V. Abramova. – Appl. No. 2012149306 from 19.11.2012; publ. 27.05.2014, Bul. No. 15.
4. GOST R 56830-2015. National Standard of the Russian Federation. Oil and gas industry. Installation of motor-operated vane pumps.
5. Drozdov A.N., Verbitsky V.S., Dengaev A.V., Lambin D.N., Kochergin A.M., Kuryatnikov V.V. Application of Tandem pumping and ejector systems at oil fields of the Russian Federation // Oil Field. 2004, no. 3, pp. 31- 46.
6. Nasibulin I.M., Gallyamov N.Z., Shabolkin S.V., Bazilevsky I.N., Gusev S.L., Baimashev B.A. Results of Application of New Integrated Technology for Treatment of Bottomhole Zone in TNK-Nyagan OJSC // Oil Field. 2010, no. 10, pp. 33-36.
7. Ischemguzhin I.E., Grogulenko V.V., Mikhailov P.G. Metered supply of chemicals to the well // Proceedings of the 61st scientific and technical conference of students, graduate students and young scientists of the USTU. – Ufa: UGNTU, 2010. – P.177.
8. Shaydakov V.V., Lyudvinitskaya A.R., Shaydakov E.V., Stefamirov A.V. Capillary pump feed of chemicals to the well // Oil. Gas. Innovations. 2009, no. 1, pp. 46-48.
9. Patent No. 66411 RU. Device for metered supply of chemicals to the well / V.V. Shaidakov, A.N. Zotov, E.Sh. Imaev, O.Yu. Poletaeva, V.V. Umetbaev, G.A. Aptykaev. – Appl. No. 2007111496/22 from 28.03.2007; publ. 10.09.2007, Bul. No. 25.
10. Patent No. 2752569 RU. Well dosing pump unit for sediment prevention/K.R. Urazakov, T.G. Makarova, E.B. Dumler, R.I. Vakhitova, A.O. Borisov. – Appl. No. 2021104654 from 25.02.2021; publ. 29.07.2021, Bul. No. 22.
11. Urazakov K.R., Mukhin I.A., Vakhitova R.I., Sarycheva D.A., Volkov I.V. Study of jet pump characteristics by numerical modeling // Oil and gas business. 2015, vol.13, no. 14. pp.149-154.
12. Urazakov K.R., Vakhitova R.I., Saracheva D.A. Procedure for Calculating the Parameters of a Jet Pump during Joint Operation with ESP // Oil and Gas Business: Electron. scientific. magazine. 2011, no. 3, pp. 134 -146.
13. Makarova T.G., Urazakov K.R., Dumler E.B. Procedure for Calculating Parameters of a Well Pump Unit for Preventing Deposits // News of the Tula State University. Technical sciences. 2022, no. 3, pp. 64-71.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Макарова Татьяна Георгиевна – старший преподаватель кафедры «Нефтегазовое оборудование и технология машиностроения»	Makarova Tatyana Georgiyevna – senior lecturer of the Department "Oil and Gas Equipment and Technology of Mechanical Engineering"
Думлер Елена Борисовна – кандидат технических наук, доцент кафедры машиностроения и информационных технологий	Dumler Elena Borisovna – candidate of technical sciences, associate professor of the Department of Mechanical Engineering and Information Technologies
Набиуллина Гульнар Раисовна – кандидат технических наук, доцент кафедры машиностроения и информационных технологий	Nabiullina Gulnar Raisovna – candidate of technical sciences, associate professor of the Department of Mechanical Engineering and Information Technologies
Лощакова Эльмира Увильевна – старший преподаватель кафедры машиностроения и информационных технологий	Loshchakova Elmira Uvilievna – senior lecturer of the Department of Mechanical Engineering and Information Technologies
dtana@bk.ru	

Получена 09.03.2023