

Influence of Gas Bubbles on the Operation of a Centrifugal Pump

A.S. Ahmadov, A.R. Dadash-zada

Azerbaijan State University of Oil and Industry (Azadlig ave, 16/21, Baku, AZ 1010, Azerbaijan)

For correspondence:

Dadash-zada Ahmad /e-mail: ahmad.dadashzada@gmail.com

Abstract

Analysis shows that many liquids contain soluble gas in them. Such fluids have low viscosity and density. However, when pumping liquids, a number of problems arise, one of which is the appearance of bubbles in the mixture. Such liquids with gas do not obey the law of homogeneous liquid and gas. Therefore, in recent years, special attention has been paid to the hydromechanics of two-phase systems, such as oil-gas, water-steam, etc. the appearance of gas bubbles also affects the operation of centrifugal pumps, which manifests itself during pumping. The basic equations of a centrifugal pump are obtained taking into account the gas in the mixture.

Keywords: centrifugal pump, gas-liquid system, gas bubbles, torque on the shaft, power, mass of liquid.

DOI 10.52171/2076-0515_2023_15_02_53_58

Accepted 30.11.2021

Received 19.06.2023

Revised 21.06.2023

For citation:

Ahmadov A.S., Dadash-zada A.R.

[Influence of gas bubbles on the operation of a centrifugal pump]

Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 53-58 (in Russian)

Qaz qabarcıqlarının mərkəzdənqaçma nasosunun işinə təsiri

Ə.S. Əhmədov, Ə.R. Dadaş-zadə

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (Azadlıq pr. 16/21, Bakı, AZ1010, Azərbaycan)

Yazışma üçün:

Dadaş-zadə Əhməd / e-mail: ahmad.dadashzada@gmail.com

Xülasə

Təhlil göstərir ki, bir çox mayenin tərkibində həll olunan qaz var. Belə mayələr aşağı özlülük və sıxlığa malikdir. Bununla belə, mayələrin vurulması zamanı bir sıra problemlər yaranır, bunlardan biri maye qarışığında qabarcıqların görünüşüdür. Belə qazlı mayələr homogen maye və qaz qanununa tabe olmur. Ona görə də son illərdə ikifazlı sistemlərin, məsələn, neft-qaz, su-buxar və s., qaz qabarcıqlarının görünüşü də mərkəzdənqaçma nasoslarının işinə təsir göstərir ki, bu da nasosun çəkilməsi zamanı özünü göstərir. Mərkəzdənqaçma nasosunun əsas tənlilikləri qarışıqdakı qaz nəzərə alınmaqla alınır.

Açar sözlər: mərkəzdənqaçma nasosu, qaz-maye sistemi, qaz qabarcıqları, valdakı fırlanma momenti, güc, mayenin kütləsi.

DOI 10.52171/2076-0515_2023_15_02_53_58

УДК 622.246

Влияние газовых пузырей на работу центробежного насоса

А.С. Ахмедов, А.Р. Дадаш-заде

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (пр. Азатлыг, 16/21, Баку, AZ1010, Азербайджан)

Для переписки:

Дадаш-заде Ахмед /e-mail: ahmad.dadashzada@gmail.com

Аннотация

Анализ показывает, что многие жидкости содержат в себе растворимый газ. Такие жидкости обладают малой вязкостью и плотностью. Однако при перекачке жидкостей возникает ряд проблем, одной из которых является возникновение пузырьков в составе смеси. Такие жидкости с газом не подчиняются законам однородной жидкости и газа. Поэтому особое внимание в последние годы обращают на гидромеханику двухфазных систем типа нефть-газ, вода-пар и т.д. Появление газовых пузырей влияет и на работу центробежных насосов, что проявляется при перекачке. В статье получены основные уравнения центробежного насоса с учетом газа, находящегося в смеси.

Ключевые слова: центробежный насос, газо-жидкостная система, пузырьки газа, крутящий момент на валу, мощность, масса жидкости.

Введение

В последнее время основная масса нефти перекачивается центробежными насосами. Многолетний опыт перекачки показывает, что многие добываемые нефти являются жидкостями с насыщенным газом. Отметим, что на последней стадии эксплуатации крупнейших месторождений в продукции скважин в значительных количествах появляется газ – сероводород. Такое проявление ухудшает качество нефти, осложняет их перекачку и переработку, создает трудности при транспортировке. Сероводород опасен и в коррозионном отношении.

От коррозии разрушаются трубопроводы и насосы, в разветвлённых трубопроводах нарушается герметичность этих объектов. В результате происходят аварийные многотонные разливы нефти и смесей в окружающую среду и ее необратимое загрязнение. Поэтому защита от коррозии всего оборудования, насоса, трубопровода является важной технико-экономической и экологической задачей [1-5]. Насосы должны быть способны не только защищать от различных видов аварий, но и одновременно замедлять появление пузырьков газа, т.е. количества сероводорода в продукции. Надежной защитой от коррозии является учет газовых частиц, которые возникают при перекачке жидкости при помощи центробежного насоса.

Целью работы является исследование действия пузырьков газа на работу центробежного насоса и трубопровода.

Постановка задачи

В рамках новой альтернативной концепции рассматривается методика расчета насоса и трубопровода с учетом двухфазной системы «газ – жидкость», что особую актуальность приобретает при перекачке двухфазных систем из нефтяных и газовых месторождений. Рассматривается влияние газа на работу трубопроводов в случае перекачки нефтегазовой системы.

Практика показывает, что из лопастных насосов наиболее широкое применение получили центробежные насосы. Этими насосами пользуются практически во всех областях нефтяной промышленности – водоснабжении, строительстве, при транспортировке нефти по трубопроводам и особенно часто в химической и нефтехимической промышленности. Отметим, что дополнительная энергия дает возможность увеличить начальное давление.

Решение задачи

Известно, что передача энергии потоку жидкости от электродвигателя осуществляется при помощи рабочего колеса. При вращении рабочего колеса смесь газожидкости, заполняющей пространство между лопастями, приходит во вращение. Под влиянием сил, развивающихся при этом, смесь перекачивается к периферии колеса. При этом одновременно увеличивается окружная скорость. Под действием переноса давления смесь поднимается по всасывающему трубопроводу. Приращение энергии смеси в рабочем колесе происходит в основном за счет увеличения окружной скорости.

В различных отраслях промышленности, таких как атомная физика, химическая

технология, нефтепромысловое дело, большое значение имеет транспортировка углеродов по трубопроводам. Особое значение при транспортировке имеет значение в нефти и газодобывающих отраслях. Когда по трубе на многие 1000 километров перемещаются миллионы кубометров жидкости и газа, возникает перемещение жид-

кости по горизонтальным поверхностям. Для перекачки с низкого уровня на высший надо применять: 1. насосы; 2. компрессоры; 3. газлифты. Из курса гидравлики мы знаем, что насосы – это гидромашины, которые преобразуют механическую энергию перекачиваемой жидкости, повышая ее давление (рис.).

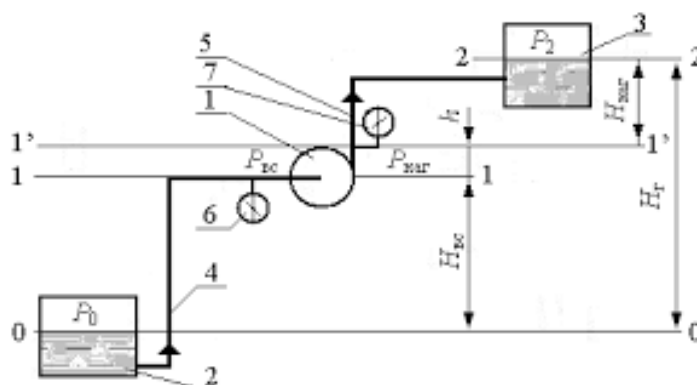


Рисунок – Схема насосной установки: 1 – насос; 2 – расходная емкость; 3 – приемная емкость; 4 – всасывающий трубопровод; 5 – нагнетательный трубопровод; 6 – вакуумметр; 7 – манометр
Figure – Pumping unit diagram: 1 – pump; 2 – consumable capacity; 3 – receiving tank; 4 – suction pipeline; 5 – delivery pipeline; 6 – vacuum gauge; 7 – manometer

В данном случае при перемещении жидкостей и газов в насосе трубопровода является *разность давлений*. Однако существуют аппараты, где движущей силой является природный газ или воздух. Как отмечается в [6-7], перемещение жидкости в газлифтах происходит с разностью плотностей и вязкостей жидкостей и газов в газожидкостной смеси.

В настоящее время известно достаточно много методов по конструкции насосов, которые отличаются по назначению, по конструкции и по перекачиваемой жидкости. Известно много классификационных схем насосов и трубопроводов. Для однородных систем этот процесс изучен [6-7]. Как указано в [6-7], наиболее распространенными схемами является классификация

насосов по назначению; по принципу действия; по конструкционным особенностям.

В нашу задачу входит вопрос: современная работа насоса и трубопровода с учетом возникновения новой фазы – газа. Отметим, что во всех случаях возникновения новой фазы резко изменяются основные показатели системы.

Приведённый нами литературный анализ показал, что наиболее распространенными стали центробежные и осевые насосы. Структурный план насоса представляет собой насосную установку, которая имеет *электродвигатель, передаточный механизм и насос*. Данные насосы могут комплектоваться электродвигателем любого исполнения и мощности.

За рубежом в последние годы широкое распространение получили *мотор-*

редуктор и электродвигатель с передающим механизмом, выполненным в цельном корпусе. На практике, в зависимости от необходимости они могут комплектоваться с преобразователем для главного регулирования скорости вращения, при котором повышается стоимость насоса. Для решения данной задачи мы приняли, что смесь движется между лопастями рабочего колеса параллельными струйками и что вихревое движение и потери напора при движении смеси каналах отсутствуют. Учитывая известную в механике теорему об изменении момента количества движения:

$$\frac{m_2 c_2 l_2 - m_1 c_1 l_1}{\Delta t} = M_{кр} \quad (1)$$

где m_1 и m_2 – масса жидкости, прошедшей через рабочее колесо за время от начала до конца; l – плечо момента количества движения;

$$m = \rho Q \Delta t \quad (2)$$

$$l_2 = r_2 \cos \alpha_2 \text{ и } l_1 = r_1 \cos \alpha_1 \quad (3)$$

C_1 и C_2 – векторы абсолютной скорости;

α_1 и α_2 – углы схода смеси.

Так как мы имеем дело со смесью, то масса смеси состоит из:

$$m = m_g + m_{ж} \quad (4)$$

С учетом плотности и объема жидкости и газа можно записать как:

$$\rho V = \rho_g V_g + \rho_{ж} V_{ж} \quad (5)$$

где $\rho_{ж}$ и ρ_g – плотности жидкости и газа; $V_{ж}$ и V_g – объемы жидкости и газа; ρ – плотность газо-жидкостной смеси; V – общий объем газо-жидкостной смеси.

Решая относительно времени:

$$\rho Q = \rho_g Q_g + \rho_{ж} Q_{ж} \quad (6)$$

где $Q_{ж}$ и Q_g – объемный расход жидкости и газа.

$$m = \rho Q \Delta t = \rho_g Q_g \Delta t + \rho_{ж} Q_{ж} \Delta t \quad (7)$$

С другой стороны:

$$\frac{m_2 c_2 l_2 - m_1 c_1 l_1}{\Delta t} = M_{кр} \quad (8)$$

где N_T – теоретическая мощность на валу рабочего колеса с бесконечно большим числом лопаток, ω – угловая скорость вращения рабочего колеса, H – напор, создаваемый насосом.

Решая совместно уравнения (8) и (1), имеем:

$$\frac{m_2 c_2 l_2 - m_1 c_1 l_1}{\Delta t} = \frac{\rho g Q H}{\omega} \quad (9)$$

Работа центробежного насоса характеризуется его подачей, напором, потребляемой мощностью, коэффициентом полезного действия и частотой вращения. Известно, что подачей насоса называется расход жидкости через напорный патрубок. Так же, как и расход, подача может быть объемной и массовой. Напор представляет собой разность энергий единицы веса жидкости в сечении насоса после насоса.

$$H = Z_1 - Z_2 + \frac{P_1 - P_2}{\rho g} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} + h_T \quad (10)$$

где H – полный напор, создаваемый насосом; Z_1, Z_2 – геометрический напор в начале и в конце установки; P_1, P_2 – давление в начале и в конце насоса; v_1, v_2 – скорость потока в начале и конце насоса; ρ – плотность жидкости; g – ускорение свободного падения; h_T – потери напора на трение.

Если система состоит из двух фаз, т.е. газ и жидкость, тогда плотность определяется как:

$$\rho = \rho_{ж}(1 - \varphi) + \rho_{г}\varphi \quad (11)$$

где $\rho_{ж}$ и ρ_g – плотности жидкости и газа, φ – истинное газосодержание.

Проведенный анализ показал, что истинное газосодержание можно определить от объемного газосодержания:

$$\varphi = 0,83 \cdot \beta \quad (12)$$

где β – объёмное газосодержание.

$$\beta = \frac{Q_{\text{г}}}{Q_{\text{г}} + Q_{\text{ж}}} \quad (13)$$

где $Q_{\text{г}}$ и $Q_{\text{ж}}$ – объёмный расход газа и жидкости.

Учитывая, что в системе существует газ, имеем:

$$h_{\text{г}} = \frac{\Delta P}{\rho_{\text{ж}} g} = \frac{\Delta P_{\text{ж}}}{\rho_{\text{ж}} g} \frac{1}{(1 - \varphi)^{1,5}} \quad (14)$$

где ΔP – потери давления в смеси системы газ-жидкость; где $\Delta P_{\text{ж}}$ потери давления для однородной жидкости.

Как видно, возникновение газа в потоке жидкости влияет на работу насоса, т.е. в зависимости от объёмного газосодержания общий напор, созданным насосом, меняется.

В данном случае и мощность насоса тоже меняется:

$$N = Q_{\text{г}} H_{\text{п}} \quad (15)$$

где Q – общий расход смеси: $Q = Q_{\text{г}} + Q_{\text{ж}}$.

Таким образом, мы получили уравнения напора и мощности центробежного насоса с учетом расхода газа, в составе смеси перекачивающегося через насос.

Заключение

Получены основные уравнения центробежного насоса с учетом газа, находящегося в смеси. Газ в составе смеси изменяет показатели насоса, что необходимо учитывать при проектировании и постройке трубопроводов и насоса. Увеличение / уменьшение параметров насоса зависят от расхода газа в системе, что является актуальной проблемой в проектировании трубопроводов с центробежными насосами.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанных с публикацией данной статьи.

REFERENCES

1. Lovkin Z.V. Hydraulics. Izhevsk, 2012, 439 p. (in Russian)
2. Gorokhovskiy D.V. Fundamentals of hydraulics and hydraulic drives. Izhevsk, 2012, 319 p. (in Russian)
3. Gusev A.A. Hydraulics. Moscow. 2013, 285 p. (in Russian)
4. Gusev V.P., Gusev Zh.A. Fundamentals of hydraulics, Izhevsk, 2014, 222 p. (in Russian)
5. Sukhanov P.P., Razinov Yu.I. Hydraulics and hydraulic machines, Kazan: KSTU, 2010, 159 p. (in Russian)
6. Kasatkin A.G. Basic processes and apparatuses of chemical technology, Chemistry, 2010, 750 p. (in Russian)
7. Kogan V.B. Theoretical foundations of typical processes and apparats of chemical technology. Chemistry, 1977, 592 p. (in Russian)
8. Sultanov E.F., Ismailov S.S., Shikhiyev A.S. The study of the start-up of the electric transmission of the load pump by means of soft starters, Baku, Herald of the Azerbaijan Engineering Academy. 2020, 97p. (in Azerbaijani)