

# Установление Расчётных Параметров Двухфазных Течений В Горизонтальном Трубопроводе При Расслоённой Структуре Потoka

*Авлакулов Абдимажит Мейлиевич<sup>1</sup>, Авлакулов Мейли<sup>2</sup>,  
Хазратов Алишер Нормуродович<sup>3</sup>*

**Аннотация:** Процесс течения двухфазных смесей в трубах является предметом широких теоретических и экспериментальных исследований у нас в стране и за рубежом. Однако современные методы расчёта течения газожидкостных смесей не имеют ещё той степени обоснованности и точности, которые присущи гидродинамике однофазных потоков. Исходя из этих соображений в данной статье нами сделана попытка совершенствования гидравлического расчёта для газо-жидкостной смеси с высоким содержанием газа. Для практического расчёта трубопроводов объединено ряд структурных форм потока, оставив только три: расслоённую (раздельно-волновую), пробковую и кольцевую.

**Ключевые слова:** газожидкостная смесь, транспортировка газа, газопровод, двухфазное течение, расслоённая структура гидравлическое сопротивление.

**Введение.** Проблему течения газожидкостных потоков в газопроводах в последние годы удалено большое внимание [10]. Это объясняется применением данной проблемы во многих областях техники, в том числе в системах сбора и транспортировки газа от месторождений до газоперерабатывающих заводов.

Описание движения газожидкостных смесей в трубах довольно сложно. Поэтому для получения приемлемых результатов для гидравлического расчёта рельефных трубопроводов проводились исследования в области гидродинамических расчётов течения газожидкостных смесей в трубопроводах, проводились учёными мира, а именно А.А.Армандом, С.С. Кутателадзе С.С., Нигматуллин И., Г.Уолинсом, В.А.Мамаевым, Г.Э.Одишарией и т.д. [10]. Однако современные методы расчёта течений газожидкостных смесей не имеет ещё той степени обоснованности и точности, которые присущи гидродинамике однофазных потоков.

В работах [1,2] теоретически и экспериментально изучены различные гидравлические и гидродинамические особенности газожидкостных потоков: типы, течения, потери давления и т.д., но в этих работах полученные параметры имеют погрешность, связанную с большим количеством переменных, характеризующих двухфазное течение. Целью настоящей работы является математическое описание расчётных зависимостей при расслоённой структуре потока в трубопроводе.

Задачами работы является, определение расчётных параметров двухфазных течений и потери давления в горизонтальном трубопроводе при расслоённой структуре потока.

Двухфазные потоки характеризуются наличием различных структурных форм течения, под которыми подразумевается, главным образом, характер распределения газа в жидкости при их

<sup>1</sup> ст. преподаватель кафедры “Нефтегазовое дело”. Каршинский инженерно-экономический институт, Узбекистан

<sup>2</sup> доктор технических наук, профессор, Каршинский инженерно-экономический институт, Узбекистан

<sup>3</sup> доктор философии по техническим наукам, доцент, Каршинский инженерно-экономический институт, Узбекистан



совместном движении в трубопроводе. Структурные формы газожидкостного потока очень разнообразны и зависят от скорости смеси, расходного газосодержания, физических свойств газовой и жидкой фаз, диаметра и угла наклона трубопровода [5-8].

Экспериментально установлена, что для практического расчёта трубопроводов удобно объединить ряд структурных форм потока, оставив только три: расслоённую (раздельно-волновую), пробковую и кольцевую.

**Метод решения задачи.** Особенность течений двухфазных смесей заключается в том, что они всегда имеют не только фиксированные внешние ограничивающие поверхности (стенки трубы), но и внутренние поверхности раздела фаз, положение которых меняется во времени и в пространстве. Через поверхности раздела происходит взаимодействия фаз. Принято считать движение газожидкостной смеси установившемся, если массовые ( $G_{ж}$ ,  $G_r$ ) и объёмные ( $Q_{ж}$ ,  $Q_r$ ) расходы жидкой и газовой фаз постоянны. Постоянными будут также массовый и объёмный расходы смеси:

$$G_{см} = G_{ж} + G_r ; Q_{см} = Q_{ж} + Q_r$$

Одним из определяющих критериев двухфазных потоков являются объёмное расходное газосодержание  $\beta$ , под которым понимается отношение объёмного расхода газа  $Q_r$  к объёмному расходу смеси  $Q_{см}$ :

$$\beta = \frac{Q_r}{Q_{см}} = \frac{Q_r}{Q_{ж} + Q_r}$$

В соответствии с объёмным расходным газосодержанием вводится понятие плотности газожидкостной смеси

$$Q_{см} = G_{см}/Q_{см} = Q_{ж}(1 - \beta) + Q_r\beta$$

где  $Q_{ж}$ ,  $Q_r$  – соответственно плотности жидкости и газа в условиях трубы.

Другим важным критерием подобия газожидкостных потоков является число Фруда смеси  $F_{rсм}$ , определяемое формулой

$$F_{rсм} = \frac{w_{см}^2}{(gD)}$$

где  $F$ - площадь сечения трубопровода,  $D$ - диаметр трубы

При расчёте важно правильно определить структуру газожидкостного потока. Если  $F_{rсм} < F_{rкр}$ , то течение газожидкостной смеси расслоённое, если  $F_{rсм} \geq F_{rкр}$ , то течение пробковое.

Критическое значение числа Фруда вычисляется по формуле [1]:

$$F_{rкр} = \left[ 0,2 + \frac{2 \sin \alpha}{\lambda_{ж}} \right] \exp(+2,5\beta) \frac{1}{(1 - \beta)^2}$$

где  $\lambda_{ж}$ - коэффициент гидравлического сопротивления по длине жидкостного потока, определяемый по известным формулам гидравлики однофазных потоков. расселённое структура.

**Результаты и обсуждения.** Расслоённая структура представляет собой два самостоятельных гомогенных потока (жидкостной и газовой), имеющих подвижную границу раздела. Поскольку давление представляет собой непрерывную функцию координат, в любом фиксированном сечении оно имеет одинаковое значения как жидкой, так и газовой составляющих потока. Поэтому перепад давления  $\Delta P = P_1 - P_2$  в трубопроводе на участке длиной  $\Delta l$  равносильен перепаду давления в каждом из составляющих потока, например в газовом потоке

$$\frac{\Delta P}{\Delta l} = \lambda_r \frac{w_r^2}{2D_r} \rho_r + \rho_r g \sin \alpha \quad (1)$$



где  $\lambda_r$ - коэффициент гидравлического сопротивления газового потока;

$D_r$ - гидравлический диаметр газового потока.

Если учесть, что истинное газосодержание связана с центральным углом  $\theta$  соотношением

$$\varphi = (\theta - \sin\theta\cos\theta)/\pi ,$$

то гидравлический диаметр  $D_r$  выражается через  $\varphi$ ,  $\theta$ ,  $D$  формулой

$$D_r = \frac{\pi\varphi D}{\theta + \sin(\pi - \theta)}, \text{ то равенство (1) можно представить в виде}$$

$$\frac{\Delta P}{\Delta l} = \lambda_r \rho_r \frac{8(\theta + \sin(\pi - \theta))Q_r^2}{\pi^3 \varphi^3 D^3} + \rho_r g \sin\alpha \quad (2)$$

где  $\rho_r$ -плотность газа.

$\lambda_r$ - определяется по формуле Альтшуля, которой при вычислении числа Рейнольдса для газового потока необходимо использовать понятие гидравлического диаметра. Для вычисления потерь давления на гидравлические сопротивления при расслоённой структуре газожидкостного потока требуется правильно определять истинное газосодержание. В случае нисходящих потоков с углом наклона  $\alpha$  от  $1^0$  до  $10^0$  можно воспользоваться следующими эмпирическими формулами, полученными во ВНИИ газе [3,12]

$$\varphi = \frac{\beta}{0,18} (1 - \chi^{0,4}) \text{ при } 0 \leq \chi \leq 0,18 \quad (3)$$

$$\varphi = \frac{\beta}{0,18} (1 - \chi) 0,615 \text{ при } 0,18 < \chi < 1 \quad (4)$$

где  $\beta$ -объёмное расходное газосодержание, под которым понимается отношение объёмного расхода газа  $Q_r$  к объёмному расходу смеси  $Q_{см}$

$$\beta = \left( \frac{Q_r}{Q_{см}} \right)$$

Значение параметра  $\chi$  в выражениях (3) и (4), находится по формуле

$$\chi = 0,705 \frac{\lambda_{ж} F_{2 см}}{2 \sin\alpha} \quad (5)$$

где  $\lambda_{ж}$  – коэффициент гидравлического сопротивления по длине жидкостного паточка. Вместо диаметра трубы следует подставить значение гидравлического диаметра  $D_{ж}$

$$D_{ж} = \frac{\pi(1-\varphi)}{\pi-\theta} D \quad (6)$$

Результаты и обсуждения. Следует отметить, что при малых значениях  $\alpha$  (от 0 до  $1^0$ ) выражениями (3) и (4) пользоваться нельзя. При  $\alpha=0$  (случай горизонтального трубопровода) параметр  $\chi$  вообще теряет смысл, так как стоящий в знаменателе  $\sin\alpha$  обращается в нуль. Поэтому при  $\alpha \rightarrow 0$  гидравлический расчёт по методике ВНИИгаза не представляется возможным [11]. Однако в указанном диапазоне изменения  $\alpha$  можно применять другой метод, который основан на том, что расслоённое течение представляет собой две гомогенных потока, для каждого из которых можно записать уравнение движения [5, 13]. Для жидкостного потока, если воспользоваться понятием гидравлического диаметра, можно записать аналогичное уравнение

$$\frac{\Delta P}{\Delta l} = \lambda_{ж} Q_{ж} \frac{8Q_m^2(\pi-\theta)}{\pi^3 D^5(1-\varphi)^3} + Q_{ж} g \sin\alpha \quad (7)$$

Рассматривая (2) и (7) как систему алгебраических уравнений с двумя неизвестными, можно в результате решения её одновременно найти истинное газосодержание  $\varphi$  и перепад давления  $\Delta P$ . Покажем, что указанная система уравнений имеет единственное решение. Исключив  $\frac{\Delta P}{\Delta l}$  из уравнений (2) и (7), получим уравнение относительно  $\varphi$ :



$$\frac{A}{\varphi^3} = \frac{\beta}{(1-\varphi)^3} \quad (8)$$

$$\text{где } A = \lambda_r Q_r \frac{8(Q + \sin(\pi - \Theta)) Q_r^2}{\pi^3 D^5}$$

$$B = \lambda_{ж} Q_{ж} \frac{8Q_m^2 (\pi - \Theta)}{\pi^3 D^5}$$

Решив уравнение (8), получим формулу для вычисления  $\varphi$ :

$$\varphi = \frac{\sqrt[3]{A}}{\sqrt[3]{A} + \sqrt[3]{B}} \quad (9)$$

Подставив (9) в уравнение (1), находим

$$\frac{\Delta P}{\Delta l} = \frac{A(\sqrt[3]{A} + \sqrt[3]{B})}{\sqrt[3]{A}} = \sqrt[3]{A^2} (\sqrt[3]{A} + \sqrt[3]{B}) \quad (10)$$

В уравнениях (2) и (7)  $\sin \alpha = 0$ .

**Выводы.** Следует отметить, что приведенные методы определения  $\Delta P$  при расслоённом газожидкостном потоке в случае значительного волнообразования на границе раздела фаз дают заниженные значения перепада давления. Это объясняется тем, что одна из фаз, движущая с большой скоростью, представляет поток, частью границы которого является подвижная волновая поверхность с эквивалентной шероховатостью большей, чем шероховатость внутренней поверхности трубы. Данный факт никак не учитывается при определении  $\lambda$  по известным формулам гидравлики.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Huseynzadeh M.A., Yufin V.A. M, Unsteady behavior of oil and gas in main pipelines M.: Nedra, 1981 (*In Rus.*).
2. Babajanov Yu.T. The problem of the movement of real gas in a pipeline // Problems of Mechanics, 2003, No. 4 (*In Rus.*).
3. Khamidov A.A. Sadullaev R, Makhkamov M.P. The problem of the laminar boundary layer of a compressed gas in a working chamber // Mechanics problem. 2005 year. No. 6
4. Suleymanov, V.A. Peculiarities of gas hydraulics in the pipelines with smooth internal coating [Osobennosti gazovoy gidravliki v truboprovodakh s vnutrennim gladkostnym pokrytiyem]. Gazovaya Promyshlennost. 2014, no. 11, pp. 91–94. ISSN 0016-5581. (*In Rus.*).
5. Авлакулов М. Многослойные капиллярные модели для разработки стохастической закономерности массопереноса // The 1 st International scientific and practical conference “European scientific congress” (February 20-22, 2023) Barca Academy Publishing, Madrid, Spain. 2023. 469 p. – 2023. – С. 187.
6. Chekushina T.V., Shafeeva G.Kh. Innovative technologies in the construction and operation of pipeline transport // Universum: technical sciences: electron. Scientific magazine 2023. 4(109). A (*In Rus.*).
7. Guseinzade M.A., Drugina L.I. Petrova O.N., Stepanova M.F. Hydrodynamic processes in complex pipeline systems. - Moscow: Nedra, 1991. - 168 p. (*In Rus.*).
8. Eshev S.S. Babazhanov Yu.T. Bazarov O.Sh. Babazhanova I.Yu. Movement of liquid in a pipe with a fract // Universum: technical sciences: electron. Scientific magazine Eshev S.S. [and etc.]. 2021. 12(93). (*In Rus.*).
9. Mamaev V.A. and others. Hydraulics of gas-liquid mixtures in pipes. M.: Nedra, 1969. P.208. (*In Rus.*).



10. Авлакулов А.М., Базаров О.Ш., Эшев С.С. Исследование совместного движения жидкой пленки и газа. *Innovatsion texnologiyalar jurnali*. №4(52).2023. 51-56 b.
11. Борис А.А., Лягов А.В., Определения режима потока газожидкостной смеси в трубопроводах. //Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело», 2012, №2. <http://www.ogbus.ru>
12. Осинцов А.А., Синьков К.Ф. Обоснование модели дрейфа для двухфазных течений в круглой трубе // Изв.РАН. МЖГ. 2014, №5, с.60-73.
13. Николаева В. Совершенствование методов гидродинамического моделирования процессов добычи газа по результатам экспериментальных исследований газожидкостных потоков. Диссертация доктора технических наук. 25.00.17.-Москва. 2022., -306 с. С 151-155.

