

УДК 622.276:532.5

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТНОГО ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОЙ ПЛЕНКИ И ГАЗА

Авлакулов Абдимажит Мейлиевич - старший преподаватель
Базаров Орифжан Шадиевич¹-кандидат физико-математических наук, доцент,
E-mail: Bazarov699@scientifictext.ru

Эшев Собир Саматович¹-доктор технических наук, профессор, E-mail: telnets@mail.ru
Бабажанов Юлдош Тиловатович²- кандидат физико-математических наук, доцент,
E-mail: babajanov.y@mail.ru

¹Каршинский инженерно-экономический институт, г. Карши, Узбекистан

²Каршинский государственный университет, г. Карши, Узбекистан

***Аннотация.** При движении газа по газопроводу в случае значительной скорости во многих случаях происходит расслоение потока в виде кольцевой пленки жидкости. В статье рассмотрены вопросы, связанные с режимом движения жидкости или газа в трубопроводах, паропроводах и газопроводах. В частности, предложена методика упрощенного расчета по определению влияния пленки на потери давления в трубах круглого сечения для ламинарного и турбулентного режимов движения жидкости.*

***Ключевые слова:** режим движения, давление, ламинарное и турбулентное движение, жидкая пленка, газовой поток, уравнение Дарси, число Рейнольдса, шероховатость, гидравлическое сопротивление.*

UDC 622.276:532.5

SUYUQ PLYONKA VA GAZNING BIRGALIKDAGI HARAKATINI TADQIQ QILISH

Avlakulov Abdimazhit Meilievich¹ – katta o‘qituvchi
Bazarov Orifjan Shadiyevich¹ –fizika-matematika fanlari nomzodi, dotsent,
Eshev Sobir Samatovich¹ -texnika fanlari doktori, professor,
Babajanov Yuldosh Tilovatovich² -fizika-matematika fanlari nomzodi, dotsent,

¹Qarshi muhandislik-iqtisodiyot instituti, Qarshi sh., O‘zbekiston

²Qarshi davlat universiteti, Qarshi sh., O‘zbekiston

***Annotatsiya.** Gaz quvur orqali sezilarli tezlikda harakatlanayotganda, ko‘p hollarda oqim suyuqlikning halqali plynkasi shaklida qatlamlanadi. Maqolada suyuqlik yoki gazning quvurlar, bug‘ quvurlari va gaz quvurlarida harakatlanish rejimiga oid masalalar muhokama qilingan. Xususan, laminar va turbulent oqim sharoitlari uchun doiraviy kesimli quvurlarda suyuqlik bosimning yo‘qolishiga ta‘sirini aniqlashning soddalashtirilgan hisoblash usuli taklif qilingan.*

***Kalit so‘zlar:** harakat rejimi, bosim, laminar va turbulent harakat, suyuqlik plynkasi, gaz oqimi, Darsi tenglamasi, Reynolds soni, g‘adir-budurlik, gidravlik qarshilik.*

UDC 622.276:532.5

STUDY OF THE JOINT MOVEMENT OF LIQUID FILM AND GAS

Avlakulov Abdimazhit Meilievich¹ - Senior lecturer
Bazarov Orifjan Shadiyevich¹ - candidate of physics-mathematical sciences, docent
Eshev Sobir Samatovich¹ - doctor of technical sciences, professor
Babajanov Yuldosh Tilovatovich² - candidate of physics and mathematics, docent

¹Karshi Engineering-Economics Institute, Karshi city, Uzbekistan

²Karshi State University, Karshi city, Uzbekistan.

Abstract. When gas moves through a gas pipeline, in the case of significant speed, in many cases the flow stratifies in the form of an annular film of liquid. The article discusses issues related to the mode of movement of liquid or gas in pipelines, steam pipelines and gas pipelines. In particular, a simplified calculation method has been proposed to determine the effect of film on pressure loss in round pipes for laminar and turbulent fluid flow regimes.

Keywords: motion mode, pressure, laminar and turbulent motion, liquid film, gas flow, Darcy equation, Reynolds number, roughness, hydraulic resistance.

Введение

Содержание воды, конденсата или масла в газовом потоке при его значительных скоростях может привести к расслоенному потоку в виде кольцевой пленки жидкости, внутри которой движется газ.

Несмотря на то, что такой режим движения довольно часто встречается в плёночных аппаратах (для осуществления тепло- и массообмена), паропроводах и газопроводах, в технической литературе этот вопрос освещен недостаточно.

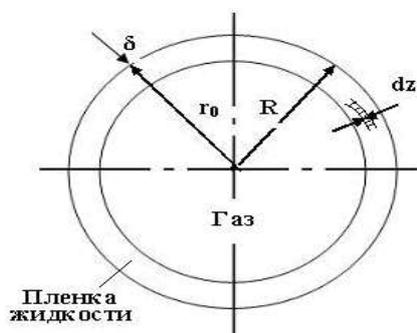


Рис.1. Схема совместного потока газа и пленки

В ряде работ получены дифференциальные уравнения пленки в общем виде, интегрирование которых представляет значительные трудности [1,3,7]. Более подробный перечень литературы по этой проблеме и ее анализ указаны в данной работе.

Ниже изложена методика упрощенного расчета для определения влияния пленки на потери давления в трубах круглого сечения. В основу исследования были положены следующие упрощения: предполагалась коаксиальность движения газового потока и кольцевой пленки жидкости; с гребней волн пленки срыва потока газа не было.

Обсуждение

В работе исследовано совместное движение ламинарной и турбулентной пленки жидкости и турбулентного потока газа; схема совместного потока газа и пленки представлена на рис.1.

А. Ламинарный режим движения пленки. Исходя из равенства результирующей силы движения ρ и силы трения τ для элементарного объема жидкой пленки длиной dx будем иметь выражение модуля градиента давления:

$$-\frac{dp}{dx} = \frac{2\tau}{R} \tag{1}$$

Напряжение силы трения для ламинарного режима выражается формулой [1]:

$$\tau = \mu_{жс} \frac{dv}{dr}, \tag{2}$$

где $\mu_{жс}$ – вязкость; $\frac{dv}{dr}$ – модуль градиента скорости.

В виду того, что толщина жидкости пленки δ существенно мала по сравнению с радиусом трубы R (т.е. $\delta \ll R$), можно приближено считать, что скорости в пленки распределяются по линейному закону и

$$\frac{dv}{dr} \approx \frac{v_0}{r} \quad (3.)$$

где v_0 – скорость движения пленки на границе ее раздела с газовым потоком.

В случае линейного распределения скорости в пленке

$$v_0 = \bar{v} = \frac{Q_{жс}}{\pi R \delta}, \quad (4)$$

где \bar{v} – средняя скорость течения пленки; $Q_{жс}$ – расход жидкой фазы; R – радиус газопровода.

Тогда с учетом (1.), (2.) и (4.) выражение (1) будет следующим:

$$-\left(\frac{dp}{dx}\right)_{пл} = \frac{2Q_{жс}\mu_{жс}}{\pi R^2 \delta^2} \quad (5)$$

Движение газового потока происходит обычно в зоне квадратичного закона трения и описывается уравнением Дарси, которое в данном случае имеет вид:

$$-\left(\frac{dp}{dx}\right)_r = \lambda_r \frac{\rho_r}{2(R-\delta)} \cdot \frac{(\bar{\omega} - \omega_0)^2}{2}, \quad (6)$$

где λ_r – коэффициент гидравлического сопротивления газа о жидкую пленку; ρ_r – плотность газа; $\bar{\omega}$ – средняя скорость газового потока; ω_0 – скорость газа на границе раздела газ - жидкость.

Следует отметить, что рассматриваемая схема совместного движения пленки и газа предполагает ламинарный пограничный слой газа, контактирующий с жидкой пленкой. Поэтому скорости на границе раздела пленки и газа равны между собой:

$$\omega_0 = v_0 = \frac{Q_{жс}}{\pi R \delta}.$$

Поскольку при наличии кольцевой пленки средняя скорость газа

$$\bar{\omega} = \frac{Q_r}{\pi(R-\delta)^2},$$

где Q_r – расход газа, то формула (6) для градиента давления в газовой фазе с учетом последних выражений несколько преобразуется:

$$-\left(\frac{dp}{dx}\right)_r = \lambda_r \frac{\rho_r}{4\pi^2(R-\delta)} \left[\frac{Q_r}{(R-\delta)^2} - \frac{Q_{жс}}{R\delta} \right]^2 \quad (7)$$

Таким образом, для совместного движения ламинарной пленки жидкости и турбулентного потока газа получена система двух уравнений (5) и (7), в которой содержатся три неизвестных $\frac{dp}{dx}$, δ и λ_r ; значениями остальных величин мы обычно располагаем. Однако коэффициент λ_r может быть выражен через критерий Рейнольдса для газа Re_r или толщину пленки δ в зависимости от значения числа Рейнольдса для пленки $Re_{пл}$, по поверхности которой движется газ. Значение же числа Рейнольдса $Re_{пл}$, может быть вычислено из полученной нами формулы:

$$Re_{пл} = \frac{Q_{жс}\rho_{жс}}{\pi R\mu_{жс}},$$

где $\rho_{жс}$ и $\mu_{жс}$ – плотность и коэффициент динамической вязкости жидкости.

Опытами ряда исследователей установлено существование ламинарных режимов для жидких пленок:

строго ламинарного, т.е. когда толщина пленки по длине постоянна (при $Re_{пл} \leq 20 \div 30$); в этом случае газ будет двигаться в гидравлически гладкой трубе и коэффициент λ_r может

быть определен по формулам для гидравлически гладких труб (Блазиуса, Никурадзе и др.); сокращено режим Л – I. Для этого достаточно определить λ_r без учета сужения сечения газопровода за счет наличия кольцевой пленки (нашими расчетами установлено, что влияние сужение живого сечения газопроводов на Re_r для реальных газовых потоков практически ничтожно);

волнового ламинарного в диапазоне $Re_{nl} = 30 \div 100$, когда газовый поток будет двигаться по пленке, поверхность которой опоясывают движущиеся асимметрично кольца разнообразной формы.

Аналитическое решение поставленной задачи требует определенной геометризации и сведения многообразия форм волновой поверхности к одной единой форме [2, 4, 5, 6]. Предполагая, что газ движется в абсолютно шероховатой трубе, за шероховатость которой примем половину толщины волн пленки, обволакивающий трубу, т.е. положим, что высота волны равна половине толщины пленки; тогда для определения λ_r можно использовать формулы для абсолютно шероховатых труб (Никурадзе, Ходановича и др.) Используя формулу Никурадзе, будем иметь:

$$\lambda_r = \frac{1}{\left[1,74 + 21g \frac{2R}{\delta}\right]^2}.$$

и так, мы получим, что при режиме пленки Л-I

$$\lambda_r = f(Re_r),$$

А при режиме пленки Л - II

$$\lambda_r = f(\delta).$$

Следовательно, теперь мы имеем систему двух уравнений (5) и (7) с двумя неизвестными $\left(\frac{dp}{dx} \text{ и } \delta\right)$.

Полученную систему уравнений можно решить, задаваясь значениями δ , методом графической интерполяции или путем последовательного приближения.

Нетрудно заметить, что в случае, когда $Q_{жс} = 0$, т.е. газ движется в сухом газопроводе, мы получим обычное уравнение Дарси вида:

$$-\frac{dp}{dx} = \lambda_r \frac{Q^2 \rho_r}{4\pi^2 R^5}.$$

Проведенными расчетами установлено:

- 1) при совместном движении жидкой ламинарной пленки и газового потока значение градиента давления существенно зависит от содержания жидкой фазы в газе и от вязкости жидкости;
- 2) при ламинарном режиме движения пленки вязкое масло уменьшает высоту выступов шероховатости, поэтому градиент давления при наличии масляной пленки может быть меньше, чем в сухом газопроводе (подтверждается экспериментами);
- 3) значение градиентов давления при волновом ламинарном режиме пленки, как и следовало ожидать, заметно выше, чем при обычном ламинарном;
- 4) вследствие эксцентричного положения газового потока по отношению к потоку жидкости в пленке действительные значения толщины пленки будут несколько меньше расчетных, а действительная величина градиента давления несколько выше расчетного из-за присутствия в реальном газовом потоке некоторого количества диспергированной жидкости.

Б. Турбулентный режим движения пленки. Как было уже отмечено, при значении критерия Рейнольдса для пленки Re_{nl} , свыше 100 режим движения пленки становится турбулентным.

Полагая, как и ранее, сносность движения пленки и газового потока, выразим касательное напряжение, возникающее на стенке трубопровода, для турбулентного режима формулой:

$$\tau = \lambda_{nl} \frac{\rho_{жс} \bar{v}^2}{8}, \tag{8}$$

где λ_{nl} – коэффициент гидравлического сопротивления пленки жидкости о стенку трубы.

Принимая во внимание уравнение (1), получим выражение для модуля градиента давления жидкой фазы:

$$-\left(\frac{dp}{dx}\right)_{nl} = \frac{\lambda_{nl} \rho_{жс} \bar{v}^2}{4R}. \tag{9}$$

Поскольку

$$\bar{v} = \frac{Q_{жс}}{F} = \frac{Q_{жс}}{2\pi R \delta \left(1 - \frac{\delta}{R}\right)},$$

где F – живое сечение жидкой фазы, то уравнение (9) может быть преобразовано:

$$-\left(\frac{dp}{dx}\right)_{nl} = \lambda_{nl} \frac{Q_{жс}^2 \rho_{жс}}{16\pi^2 R^3 \delta^2 \left(1 - \frac{\delta}{R}\right)^2}. \tag{10}$$

Для заведомо малых δ величиной $\frac{\delta}{R}$, выраженной в скобке, можно пренебречь. Тогда

$$-\left(\frac{dp}{dx}\right)_{nl} \approx \lambda_{nl} \frac{Q_{жс}^2 \rho_{жс}}{16\pi^2 R^3 \delta^2} \tag{11}$$

Проведенными расчетами установлено, что числа Рейнольдса для пленки Re_{nl} будут не более 5-8 тыс. (для реальных расходов жидкости в газопроводе); в этом случае λ_{nl} необходимо определять по формулам турбулентного движения в гидравлически гладких трубах, когда шероховатости стенок покрыты пограничным слоем. Мы в расчетах использовали формулу Блазиуса, которая для нашего случая имеет вид:

$$\lambda_{nl} = 0,3164 \sqrt{\frac{\pi R v_{жс}}{Q_{жс}}}. \tag{12}$$

Практически же λ_{nl} будет в диапазоне 0,01 – 0,1.

Для газового потока уравнение Дарси (5,6) запишется в виде

$$-\left(\frac{dp}{dx}\right)_r = \lambda_r \frac{\rho_r}{4(R - \delta)} \left[\frac{Q_r}{\pi(R - \delta)^2} - \frac{a Q_{жс}}{2\pi R \delta} \right]^2 \tag{13.}$$

где a – коэффициент, зависящий от режима движения жидкой пленки, $2 \geq a \geq 1$;

При ламинарном режиме движения пленки $a = 2$;

При развитом турбулентном режиме пленки $a = 1$.

Второе слагаемое в квадратной скобке формулы (13.) выражает скорость газа. На границе раздела жидкость – газ.

Исходя из схемы распределения скоростей при турбулентном режиме движения пленки, можно написать, что

$$\bar{v} \approx \frac{Q_{жс}}{2\pi R \delta} \tag{14}$$

Т.е. в этом случае

$$\bar{v} \approx v_0 = \frac{Q_{жс}}{2\pi R \delta}$$

или

$$\omega_0 \approx \bar{v} = \frac{Q_{жс}}{2\pi R \delta} \tag{15}$$

Таким образом, мы получим систему уравнений:

$$\begin{cases} \left(\frac{dp}{dx}\right)_{nl} \approx \lambda_{nl} \frac{Q_{ж}^2 \rho_{ж}}{16\pi^2 R^3 \delta^2} \\ \left(\frac{dp}{dx}\right)_r \approx \lambda_r \frac{\rho_r}{4\pi^2 (R-\delta)} \left[\frac{Q_r}{(R-\delta)^2} - \frac{Q_{ж}}{2R\delta} \right]^2 \end{cases}$$

Выводы

Проведенные расчеты позволили сделать следующие выводы:

1. При турбулентном режиме движения пленки градиент давления значительно больше, чем для сухого газопровода.
2. Градиент давления при турбулентном режиме пленки выше, чем при ламинарном.
3. С увеличением вязкости жидкости (при фиксированных $Q_{ж}$ и Q_r) градиент давления возрастает в меньшей степени, чем при ламинарном режиме движения пленки.
4. Градиент давления увеличивается с увеличением плотности жидкости.

Однако вследствие падения температуры газа по длине газопровода и возможных ретроградных явлений, толщина пленки почти не изменится по длине.

Литература

- [1] Гусейнзаде М.А., Юфин В.А. Неустановившееся движение нефти и газа в магистральных трубопроводах М, Недра. – 1981.
- [2] Бабаджанов Ю.Т. Задача о движении реального газа в трубопроводе // Проблемы механики 2003, №4.
- [3] Хамидов А.А. Садуллаев Р, Махкамов М.П. Задача о ламинарном пограничном слое сжимаемого газа в рабочей камере // Проблемы механики.2005. №6.
- [4] Eshev S.S., Avlakulov M., Bobomurodov F.F. Bog‘langan gruntlarning fizik xususiyatlarini o‘zan yuvilish jarayoniga ta’sirini baholash //Innovatsion texnologiyalar. – 2022. – Т. 3. – №. 3 (47). – S. 48-54.
- [5] Муродов Н. К., Авлакулов М. Гидродинамическая модель управления режимом влагопереноса в верхних слоях зоны аэрации //European Conference on Innovations in Technical and Natural Sciences. – 2016. – С. 95-100.
- [6] 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.
- [7] Эрматов Н.Х. и др. Исследование особенностей обводнения продукции скважин подгазовых нефтяных залежей массивного типа //Иновацион технологиялар. – 2022. – Т. 2. – №. 2 (46). – С. 12-16.