

UDC 622.691.4.004

Calculating the “pressing force” in a Circular Gas Pipeline with two Inlets and One Outlet

¹ Bahrom E. Yuldashev² Ismatulla K. Huzhaev³ Malohat A. Kukanova

¹ Institute mathematicians and information technology to Academies of the sciences of the Republic Uzbekistan, Republic Uzbekistan

29, st. Durmon uyli, Tashkent, 100125

PhD student

E-mail: baxrom@rambler.ru

² Institutes mathematicians and information technology to Academies of the sciences of the Republic Uzbekistan, Tashkent, Republic Uzbekistan

29, st. Durmon uyli, Tashkent, 100125

Dr. (technical), leading research scientist

³ Institutes mathematicians and information technology to Academies of the sciences of the Republic Uzbekistan, Republic Uzbekistan

PhD student

Abstract. The article examines the use of circular arrangement which helps, on the basis of Kirchhoff's laws, to develop formulas for calculating hydraulics in a circular gas pipeline with two inlets and one outlet. In addition, the article describes the conditions which produce the “pressing force” in the inlet with lesser pressure.

Keywords: Kirchhoff law; circular loop; “pressing force”; inlet unit; outlet unit; hydraulics.

Использование кольцевой структуры сети позволяет увеличить ее надежность и сократить объем потери энергии в ней. Расчет сети трубопроводного транспорта жидкостей и газа, а также передача электроэнергии, производится на основе теории «потокораспределения» [1]. Известно, что сбор газа из месторождения организуется по газопроводам лучистой, кольцевой и смешанной структуры [2]. Если коллектор сбора газа имеет лучистой структуры, то он должен начинаться из скважины с наибольшим устьевым давлением.

Подключение последующих скважин должно осуществляться по убывающему согласно закону сопротивления значению давления на устьях скважин. Практика показывает, что в случаях более простой топологии сети, в частности, для лучистой сети и сети с одним кольцом, можно обходиться без сложного аппарата теории «потокорас-пределения». В качестве примера ниже рассматривается задача о газосборочном кольцевом коллекторе с двумя подводами (из скважин 1 и 2) и единственным отбором (см. рис. 1), который функционирует в статическом режиме.

В зависимости от заданных значений $\tilde{P}_1, \tilde{P}_2, l_1, l_2, l_3$, а также диаметра и эквивалентной шероховатости трубопроводов на участке с длиной l_3 ожидаются образования течения по направлениям 1–2 или 2–1, либо поток отсутствует. При определенных сочетаниях устьевых давлений скважин образуется «давка» скважины с меньшим устьевым давлением, хотя при остановке всех скважин значения давления на их устьях могут быть одинаковыми [3]. Практически существует некая зависимость между устьевым давлением и дебитом скважины. Она определяется

особенностью месторождения и расположения скважины. Тем не менее, функционирование наземной части трубопроводов тоже подчиняются своим закономерностям. На их основе попытаемся анализировать случаи, когда образуется «давка» скважины с меньшим устьевым давлением, и получить формулы для гидравлического расчета.

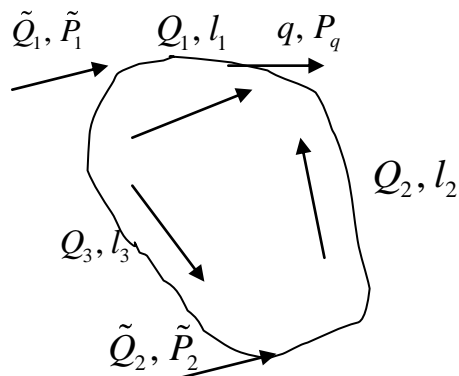


Рис. 1. Коллектор с двумя подводами и единственным отбором

Первый закон Кирхгофа для трех узлов кольцевой сети записывается в виде системы уравнений относительно участков расходов газа

$$Q_1 + Q_3 = \tilde{Q}_1, \quad Q_2 - Q_3 = \tilde{Q}_2, \quad Q_1 + Q_2 = \tilde{Q}_1 + \tilde{Q}_2. \quad (1)$$

Ранг основной матрицы данной системы равен 2 и между уравнениями существует линейная зависимость, например:

$$Q_1 = \tilde{Q}_1 - Q_3, \quad Q_2 = \tilde{Q}_2 + Q_3. \quad (2)$$

Составим уравнения для узловых давлений

$$\tilde{P}_1^2 = P_{q1}^2 + b Q_1^2 l_1, \quad \tilde{P}_2^2 = P_{q2}^2 + b Q_2^2 l_2, \quad \tilde{P}_1^2 = \tilde{P}_2^2 + b Q_3^2 l_3, \quad (3)$$

где $b = \frac{16\lambda P_{cm}^2 TZ}{\pi^2 T_{cm}^2 R_0 D^5}$ отражает характеристики трубопровода и транспортируемого по нему газа [2].

Из представленных шести зависимостей следуют два строгих суждения:

$$Q_1 \leq \tilde{Q}_1 \text{ и}$$

$$Q_3 = \sqrt{\tilde{P}_1^2 - \tilde{P}_2^2 / b l_3}. \quad (4)$$

Предположим, что устьевые давления скважин одинаковые: $\tilde{P}_1 = \tilde{P}_2$. Тогда, из-за отсутствия перепада давления, в участке с длиной l_3 поток газа отсутствует $Q_3 = 0$, расходы в участках будут равны соответственно дебитам 1-й и 2-й скважин ($Q_1 = \tilde{Q}_1$ и $Q_2 = \tilde{Q}_2$.)

В узле отбора газа слева и справа устанавливается давление $P_{q1} = P_{q2} = P_q$. Согласно участковым расходам газа для расчета имеем

$$P_q^2 = \tilde{P}_1^2 - b Q_1^2 l_1, \quad P_q^2 = \tilde{P}_2^2 - b Q_2^2 l_2. \quad (5)$$

Для того, чтобы в узле отбора квадрат давления P_q^2 имел положительное значение, необходимо выполнение условий $Q_1 = \tilde{Q}_1 < \tilde{P}_1 / \sqrt{bl_1}$ и $Q_2 = \tilde{Q}_2 < \tilde{P}_2 / \sqrt{bl_2}$. Кроме того, в силу $\tilde{P}_1 = \tilde{P}_2$, в (5) квадраты расходов должны быть обратно пропорциональны длинам участков $Q_1^2 l_1 = Q_2^2 l_2$. Отсюда вытекает условие о том, что дебит второй скважины составляет $\tilde{Q}_2 = \sqrt{l_1/l_2} \tilde{Q}_1$.

Из этих суждений вытекает, что при кольцевой структуре коллектора, в отличие от его лучистой структуры, допускается одинаковые устьевые давления скважин, но нельзя задаваться дебитами скважин произвольным образом.

Переходим к случаю $\tilde{P}_1 > \tilde{P}_2$. В этом случае поток газа в 3-м участке направляется от узла 1 в сторону узла 2 и расход $Q_3 (> 0)$ определяется по формуле (4). Тогда расходы газа по двум остальным участкам кольца будут определяться по формулам (2).

Из двух первых уравнений (3) для узловых давлений следует условие

$$\tilde{P}_1^2 - \tilde{P}_2^2 = bl_1 \tilde{Q}_1 - \sqrt{\tilde{P}_1^2 - \tilde{P}_2^2 / bl_3}^2 - bl_2 \tilde{Q}_2 + \sqrt{\tilde{P}_1^2 - \tilde{P}_2^2 / bl_3}^2. \quad (6)$$

Данное равенство отражает взаимосвязь между данными поступающего в сеть газа с гидродинамическими показателями сети.

«Давка» скважины 2 в уравнении (6) выражается условием $\tilde{Q}_2 \leq 0$.

Рассмотрим случай $\tilde{Q}_2 = 0$, который представляет границу режимов нормальной работы скважин и «давки» 2-й скважины.

В этом случае расход газа \tilde{Q}_1 из 1-й скважины распределяется между дугами 1 и 3+2 согласно зависимостям [4]

$$Q_1 = \frac{\sqrt{l_2+l_3}}{\sqrt{l_1} + \sqrt{l_2+l_3}} \tilde{Q}_1, \quad Q_{3+2} = \frac{\sqrt{l_1}}{\sqrt{l_q} + \sqrt{l_2+l_3}} \tilde{Q}_1.$$

При этом, путевое изменение давления по дуге 3+2, если за $x=0$ принимается сечение с 1-м узлом контура, а за значению давления в узле 3 по $P_{q3+2}^2 = \tilde{P}_1^2 - b(l_3 + l_2)Q_{3+2}^2 (= P_{q1}^2)$, определяется по формуле [2]

$$P_{q3+2}(x) = \sqrt{\tilde{P}_1^2 - (P_{q1}^2 - P_{q3+2}^2)x / (l_2 + l_3)}.$$

Тогда в сечении 2-го узла давление принимает критическое значение

$$\tilde{P}_{2*} = \sqrt{\tilde{P}_1^2 - P_{q1}^2 - P_{q3+2}^2 l_3 / l_2 + l_3}.$$

Если на устье 2-й скважины давление меньше чем \tilde{P}_{2*} , то образуется «давка». Предотвратить «давку» этой скважины можно, если устьевое давление 2-й скважины

превышает \tilde{P}_{2^*} . Соответственно этому будут перераспределяться расход газа по дугам.

Значение $P_{q_{3+2}} = P_{q_1}$ в формуле для \tilde{P}_{2^*} выразим через \tilde{Q}_1

$$P_{q_1}^2 = \tilde{P}_1^2 - bl_1 \left(\frac{\sqrt{l_2 + l_3}}{\sqrt{l_1} + \sqrt{l_2 + l_3}} \tilde{Q}_1 \right)^2. \quad (7)$$

Тогда формула для критического значения давления приобретает вид

$$\tilde{P}_{2^*} = \sqrt{\tilde{P}_1^2 - \frac{bl_1 l_3}{(\sqrt{l_1} + \sqrt{l_2 + l_3})^2} \tilde{Q}_1^2}.$$

Уточнить это условие можно, если потребовать не отрицательности выражения под радикалом $\tilde{Q}_1 \leq \frac{\sqrt{l_1} + \sqrt{l_2 + l_3}}{\sqrt{bl_1 l_3}} \tilde{P}_1$.

С другой стороны, область допустимых значений \tilde{Q}_1 (для вычисления P_{q_1} по формуле (7)) приводит к другому условию: $\tilde{Q}_1 \leq \frac{\sqrt{l_1} + \sqrt{l_2 + l_3}}{\sqrt{bl_1(l_2 + l_3)}} \tilde{P}_1$.

В силу $l_3 < l_2 + l_3$, последнее условие является решением системы из двух последних неравенств: оно более строгое, чем предыдущее неравенство. С физической точки зрения оно отражает условие, хватит ли данное давление на преодоление силы трения в кольце.

Учитывая (4), из (6) составим равенство

$$l_3 Q_3^3 + l_2 \tilde{Q}_2 + Q_3^2 = l_1 \tilde{Q}_1 - Q_3^2, \quad (8)$$

Из последнего можно найти значение \tilde{Q}_2 следующим образом

$$\tilde{Q}_2 + Q_3 = \sqrt{\frac{l_1}{l_2} \tilde{Q}_1 - Q_3^2} - \frac{l_3}{l_2} Q_3^3 = Q_1 > 0.$$

Отсюда получим

$$\tilde{Q}_2 = \sqrt{\frac{l_1}{l_2} \tilde{Q}_1 - Q_3^2} - \frac{l_3}{l_2} Q_3^3 - Q_3. \quad (9)$$

В целом, в силу многофакторности процесса анализ достаточно сложен. При заданных значениях \tilde{P}_1 , l_1 , l_2 , l_3 и b нам удалось получить ограничения, относящиеся к \tilde{P}_2 и \tilde{Q}_1 , а также к длинам участков и к паре \tilde{Q}_1 , \tilde{Q}_2 . В частности, выяснили, что условие $\tilde{P}_2 > \tilde{P}_{2^*}$ равносильно следующим трем условиям: либо

$l_1 > l_2 + l_3$; либо $l_1 \tilde{Q}_1^2 > l_2 \tilde{Q}_2^2$ при $l_1 = l_2 + l_3$; либо $\tilde{Q}_1 \geq \frac{-l_2 \sqrt{l_1} + \sqrt{l_2 l_3 |l_1 - l_2 - l_3|}}{\sqrt{l_1} l_2 + l_3} \tilde{Q}_2$ при $l_1 < l_2 + l_3$.

На основе установленных условий и полученных формул составлен алгоритм гидравлического расчета кольцевой сети по рис. 1.

Представим отдельные результаты вычислительного эксперимента.

В первом примере принимали $l_1 = 2,5 \text{ км}$; $l_2 = 1,0 \text{ км}$; $l_3 = 0,5 \text{ км}$, $b = 5494265,85 \text{ кг}^2 \text{ м}^{-9} \text{ с}^{-2}$. Значения устьевых давлений задавали $\tilde{P}_1 = 7,0 \text{ МПа}$; $\tilde{P}_2 = 6,95 \text{ МПа}$. Верхняя граница дебита первой скважины равнялась $136,835 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$. Задавали дебит первой скважины $\tilde{Q}_1 = 40,0 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$. Вычислили $Q_3 = 15,9343 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$; $\tilde{Q}_2 = 20,4106 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$. Вычислили участковые расходы $Q_1 = 24,0657 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$; $Q_2 = 36,3448 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$. Значение давления на выходе из сети составило $P_q = 6,406630 \text{ МПа}$; а общая интенсивность отбора – $\tilde{Q}_1 + \tilde{Q}_2 = 60,40663 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$. Изменение давления по участкам 3-2-1 представлено верхней кривой рис. 2. Следует отметить, что в этих и следующих графиках, в силу малых расстояний и больших входных давлений, фактически являющиеся параболой кривые имеют близкие к прямой линии формы.

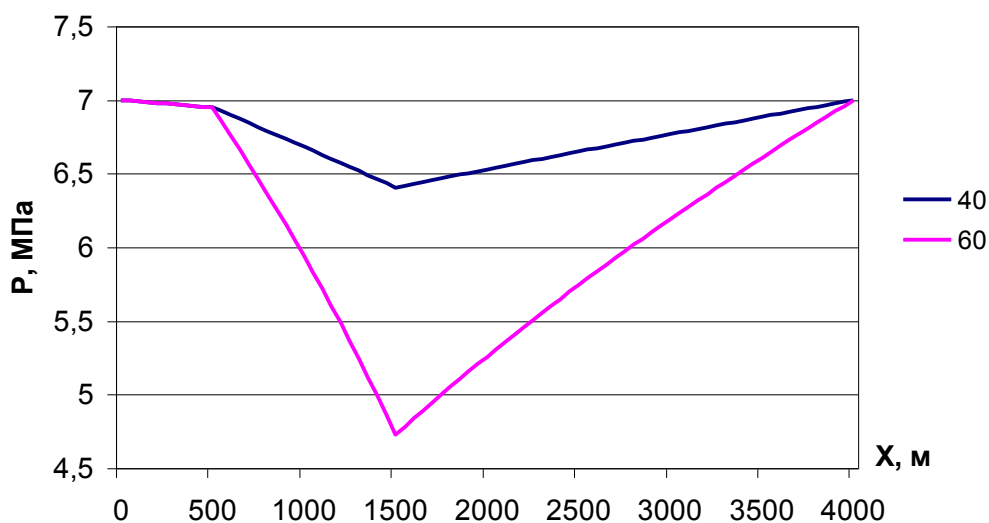


Рис. 2. Изменение давления в кольцевой сети

$\tilde{P}_1 = 7,0 \text{ МПа}$; $\tilde{P}_2 = 6,95 \text{ МПа}$; $l_1 = 2,5 \text{ км}$; $l_2 = 1,0 \text{ км}$; $l_3 = 0,5 \text{ км}$.

Нижняя кривая на этом рисунке отражает изменение давления при $\tilde{Q}_1 = 60,0 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$. Вычисление получено $\tilde{Q}_2 = 52,8227 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$. Из-за увеличения дебитов на участках 1 и 2 расход увеличивается почти в 2 раза. Поэтому полученное значение давления в сечении отбора $P_q = 6,406630 \text{ МПа}$ намного меньше, чем в предыдущем варианте.

В этой серии расчетов получили отказы в расчете при $\tilde{Q}_1 = 20,0 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$, когда под радикалом при вычислении \tilde{Q}_2 образовалось отрицательное число, а при $\tilde{Q}_1 = 80,0 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$ и $\tilde{Q}_1 = 100,0 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$, когда отрицательное число образовалось под радикалом при вычислении P_q .

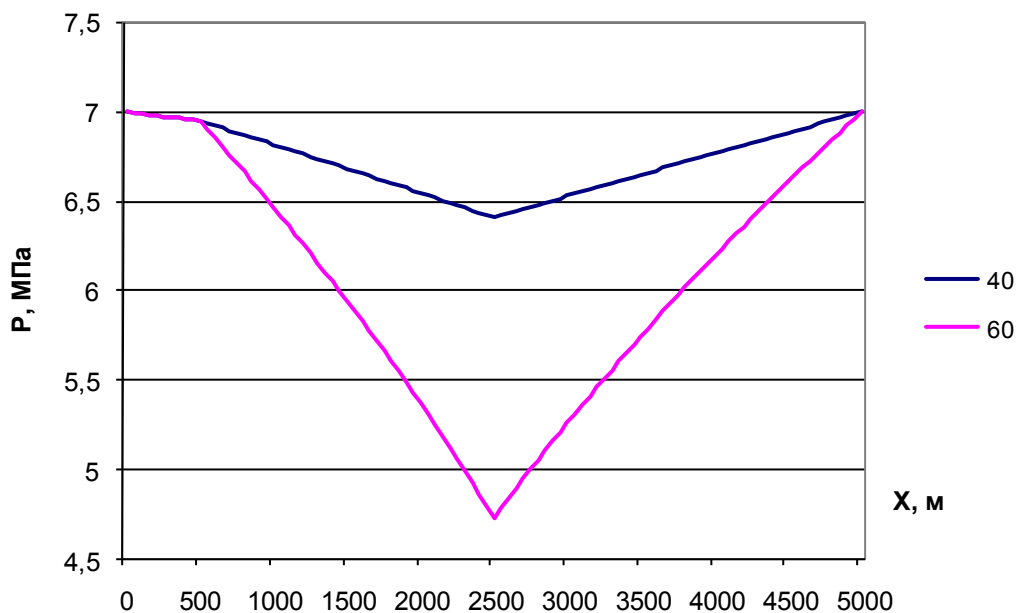


Рис. 3. Изменение давления в кольцевой сети

$$\tilde{P}_1 = 7,0 \text{ МПа}; \quad \tilde{P}_2 = 6,95 \text{ МПа}; \quad l_1 = 2,5 \text{ км}; \quad l_2 = 2,0 \text{ км}; \quad l_3 = 0,5 \text{ км}.$$

Данные рис. 3 относятся к случаю, где $l_1 = 2,5 \text{ км}$; $l_2 = 2,0 \text{ км}$; $l_3 = 0,5 \text{ км}$ при тех же входных давлениях. Интенсивность ввода газа в узлах 1 и 2 составляли $\tilde{Q}_1 = 40,0 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$ и $\tilde{Q}_2 = 9,7654 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$ (верхняя кривая) и $\tilde{Q}_1 = 60,0 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$ и $\tilde{Q}_2 = 32,6872 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$ (нижняя кривая). Наименьшие значения давления в сети для двух случаев получались как в предыдущем варианте расчета соответственно для $\tilde{Q}_1 = 40,0 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$ и $\tilde{Q}_1 = 60,0 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$. Отказы в расчетах получили для аналогичных случаев предыдущей серии расчетов.

Таким образом, в этой работе решена задача о гидравлическом расчете кольцевой сети с двумя подводами и одним отбором: получены расчетные формулы и выделены условия, при которых образуется «давка» узла подвода с меньшим входным давлением. Разработано программное средство, позволяющее вести расчет в интерактивном режиме, в котором практически каждый параметр выбирается согласно реальным условиям, а формулы позволяют определить, в отличие от метода Лобачева-Кросса, используемого в теории «потокораспределения», точные значения всех гидравлические показатели сети.

Примечания:

1. Сеннова Е.В., Сидлер В.Г. Математическое моделирование и оптимизация развивающихся теплоснабжающих систем. Новосибирск: Наука. 1987. 222 с.

2. Трубопроводный транспорт нефти и газа / Под общ. ред. В.А. Юфина. М.: Недра, 1978. 407 с.
3. Коротаяев Ю.П., Ширковский А.И. Добыча, транспорт и подземное хранение газа. М.: Недра, 1997. 487 с.
4. Хужаев И.К., Юлдашев Б.Э., Куканова М.А. Эффективность кольцевой структуры газопровода и алгоритм расчета ее гидродинамических показателей // Вопросы вычислительной и прикладной математики. Аналитические методы и вычислительные алгоритмы решения задач математической физики. Ташкент, 2011. Вып. 126. С. 132–143.

УДК 622.691.4.004

Гидравлический расчет «давки» в кольцевом газопроводе с двумя подводами и с одним отбором

¹ Бахром Эргашевич Юлдашев
² Исматулла Кушаевич Хужаев
³ Малохат Абдулаевна Куканова

¹ Институт математики и информационных технологий Академии наук Республики Узбекистан, Республика Узбекистан
100125, Ташкент, ул. Дурмон йули, 29
соискатель

E-mail: baxrom@rambler.ru

² Институт математики и информационных технологий Академии наук Республики Узбекистан, Республика Узбекистан
100125, Ташкент, ул. Дурмон йули, 29
доктор технических наук, с.н.с., ведущий научный сотрудник

³ Институт математики и информационных технологий Академии наук Республики Узбекистан, Республика Узбекистан
100125, Ташкент, ул. Дурмон йули, 29
соискатель

Аннотация. В статье рассматривается использование кольцевой структуры сети, в которой на основе законов Кирхгофа получены формулы для гидравлического расчета кольцевой сети газопровода с двумя узлами подвода и узлом отбора. Выведены условия, при которых образуется «давка» подвода с меньшим давлением.

Ключевые слова: Закон Кирхгофа; кольцевая сеть; «давка»; узел подвода; узел отбора; гидравлика.