

UDC 622.691.4.004

## Algorithm of the Hydraulic Calculation of the Gas Pipeline of with Two Access Nodes and End Selection Nodes

Bahrom E. Yuldashev

The Centre on development of the programme products and hardware programme complex under TUIT, Republic Uzbekistan  
Senior scientific employee  
E-mail: baxrom@rambler.ru

**Abstract.** The algorithm for the hydraulic calculation of the ring network with 2 access nodes and several concentrated selections in the nodes has been worked out. This method ensures an accurate decision and identifies the reasons for poor coordination.

**Keywords:** The Kirhgofa Law; ring network; pressing; access node; selection node; the hydraulics.

**Введение.** Высокие темпы развития строительства трубопроводных систем городов и сельских населенных пунктов Республики для обеспечения потребности в жидких и газообразных продуктах, ставит задачу о необходимости построения адекватной системы управления, разработке четкой концепции совершенствования его форм и методов, позволяющих эффективно решать социально-экономические задачи. Возрастающие объемы потребления и расхода ресурсов могут быть покрыты не только за счет проектирования и строительства новых сетей, сооружений и их реконструкции, но и за счет использования резервов мощностей, правильной эксплуатации и эффективным управлением, существующим промыслов, магистральных газопроводов и подземных хранилищ газа и резервуаров, обеспечивающих неравномерность потребления целевых продуктов.

**Материалы и методы.** При лучевой структуре сети газопроводов между компрессорными станциями статическое давление газа, благодаря силе сопротивления трения, только убывает. Кольцевая структура газопроводов позволяет самой природе выбирать оптимальные для данной топологии направления и режимы течения с наименьшей потерей энергии, а гидравлический расчёт может оценить преимущества такой структуры перед лучистой структурой газопроводной сети. Создание кольцевой сети требует больших, чем линейная сеть, капиталовложений и при функционировании в нестационарном режиме возможно образование зон с противоположными направлениями потока по кольцу. Но эти отрицательные черты незначительны перед фактами уменьшения эксплуатационных расходов и повышения надежности работы сети.

**Обсуждение.** Наличием кольца в гидравлической сети обусловлено использование алгоритмов теории «потокораспределения» [1], которые основываются на законах Кирхгофа и топологии. Образующиеся при этом нелинейные уравнения решаются приближенно, с привлечением метода Лобачева-Кросса или аналогичных методов. Между тем неправильное задание какого-нибудь параметра сети может привести к «давке» подвода с меньшим давлением или же нехватки давлений для преодоления силы трения в сети. Такие случаи требуют анализа сети, выявить причины несогласованности данных и предложить варианты, которые устраняют эти несогласованности. В качестве примера рассмотрим кольцевую сеть газопровода, который имеет два узла подвода и несколько узлов отбора, и представим алгоритм его гидравлического расчета. Данный алгоритм, в отличие от алгоритмов теории «потокораспределения», позволяет получить точное решение задачи и допускает обобщения для электрических и водопроводных сетей с некоторыми изменениями в уравнениях.

Предположим, что подвод газа с интенсивностью  $\tilde{Q}_1$  и  $\tilde{Q}_2$  осуществляется из двух узлов, в которых давление составляет  $\tilde{P}_1$  и  $\tilde{P}_2$  соответственно. Отбор газа по первой цепочки осуществляется в  $m_1$  узлах с интенсивностью  $q_{1,i}$  ( $i = 0..m_1$ ). Во второй цепочке

количество узлов отбора составляет  $m_2$ , а интенсивности -  $q_{2,i}$  ( $i = 1..m_2$ ) (рис. 1). Длины элементарных участков составляют  $l_{1,i}$  и  $l_{2,i}$ , диаметры  $D_{1,i}$  и  $D_{2,i}$ , а коэффициенты сопротивления  $\lambda_{1,i}$  и  $\lambda_{2,i}$  соответственно.

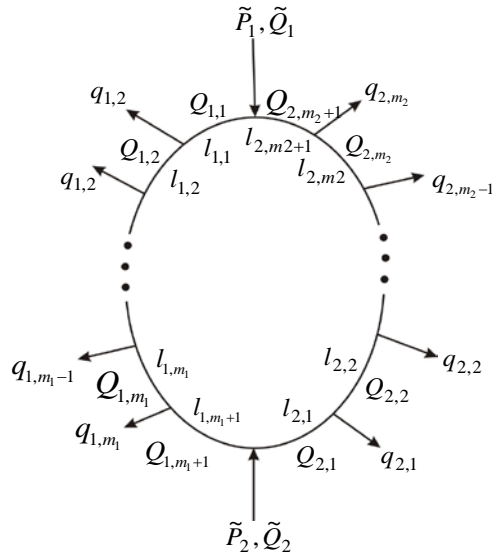


Рис. 1. Схема кольцевой сети с двумя подводами и  $m_1 + m_2$

Для ясности примем, что  $\tilde{P}_1 \geq \tilde{P}_2$ ; а для удобства введем обозначения сумм модулей интенсивностей отборов в двух цепочках

$$\bar{Q}_1 = -\sum_{i=1}^{m_1} q_{1,i}, \quad \bar{Q}_2 = -\sum_{i=1}^{m_2} q_{2,i}.$$

Из двух последних равенств и закона сохранения массы газа в сети следует равенство

$$\tilde{Q}_1 + \tilde{Q}_2 = \bar{Q}_1 + \bar{Q}_2.$$

При наличии незначительной разности между суммой интенсивностей подводов и суммой интенсивности отборов, вводятся коррективы в данных. Если эта разность значительная, то задача снимается с рассмотрения.

Трудность задачи заключается в определении направления потока, необходимого для вычисления значений расходов в элементарных участках и давления в узлах сети.

Представим первую из цепочек кольца в виде линейного участка, которая начинается от узла подвода с большим значением давления (рис. 2). Положим, что в  $M_1$ -м узле данной цепочки достигается наименьшее узловое давление цепочки.

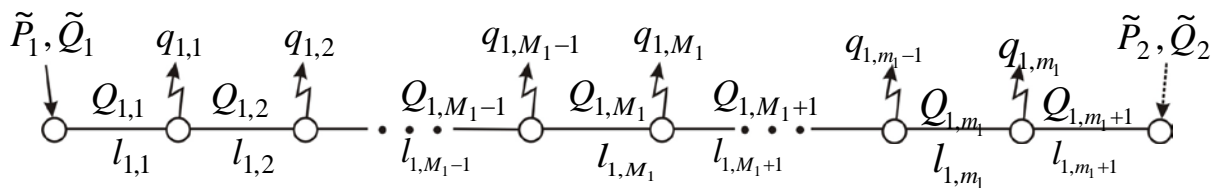


Рис. 2. Представление первой цепочки кольцевой сети в виде линейного участка

Другая цепочка имеет аналогичную структуру: начинается от 2-го подвода и кончается на 1-м подводе; наименьшее узловое давление этой цепочки, полагаем, достигается в  $M_2$ -м узле.

Из рисунков видно, что нумерация цепочек, узлов и участков условно ведется против движения часовой стрелки.

От нулевого узла цепочки (для 1-й цепочки – узел ввода с  $\tilde{P}_1, \tilde{Q}_1$ , а для 2-й цепочки узел ввода с  $\tilde{P}_2, \tilde{Q}_2$ ) до узла с наименьшим узловым давлением (до узла  $M_1$  1-й цепочки и до узла  $M_2$  2-й цепочки) участковые расходы имеют положительные значения, а после узлов с наименьшим узловым давлением (от узла  $M_1$  до узла  $m_1 + 1$  в 1-й цепочки и от узла  $M_2$  до узла  $m_2 + 1$  в 2-й цепочки) расходы имеют отрицательные значения. Возможно, в участке, последующем за узлом  $M_1$  (или  $M_2$ ), образуется покоящийся участок, т.е. узел отбора  $M_1$  питается только слева. В этом случае в узлах  $M_1$  и  $M_1 + 1$  давление будет иметь одинаковые значения, и они представляют наименьшие узловые давления среди узлов 1-й цепочки. Такой случай, с учетом ошибок округлений в машинных расчетах, встречается редко. Но нельзя исключать такой случай из счетов.

Участковые расходы 1-й цепочки составляют

$$Q_{1,1} = Q, Q_{1,2} = Q + q_{1,1}, Q_{1,3} = Q + q_{1,1} + q_{1,2}, \dots,$$

$$Q_{1,i} = Q + \sum_{k=1}^{i-1} q_{1,k}, \dots, Q_{1,m_1+1} = Q + \sum_{k=1}^{m_1} q_{1,k}.$$

Здесь расход газа на 1-ом участке 1-й цепочки обозначили через  $Q$ .

Если учесть суммарный отбор газа из 1-й цепочки  $\bar{Q}_1 = -\sum_{k=1}^{m_1} q_{1,k}$ , то расход газа на последнем участке 1-й цепочки составляет  $Q_{1,m_1+1} = Q - \bar{Q}_1$ . С учетом данной зависимости расход на 1-м участке 2-й цепочки равняется  $Q + \tilde{Q}_2 - \bar{Q}_1$ . Поэтому расходы в участках 2-й цепочки составляют

$$Q_{2,1} = Q + \tilde{Q}_2 - \bar{Q}_1, Q_{2,2} = Q + \tilde{Q}_2 - \bar{Q}_1 + q_{2,1}, Q_{2,3} = Q + \tilde{Q}_2 - \bar{Q}_1 + q_{2,1} + q_{2,2},$$

$$\dots, Q_{2,i} = Q + \tilde{Q}_2 - \bar{Q}_1 + \sum_{k=1}^{i-1} q_{2,k}, \dots, Q_{2,m_2+1} = Q + \tilde{Q}_2 - \bar{Q}_1 + \sum_{k=1}^{m_2} q_{2,k}.$$

Расход на последнем участке 2-й цепочки можно представить и в ином виде:

$$Q_{2,m_2+1} = Q + \tilde{Q}_2 - \bar{Q}_1 - \bar{Q}_2 = Q - \tilde{Q}_1.$$

При переходе от одного участка к другому за счет отборов расходы изменяются скачками, в то время при таких переходах значение давления изменяется гладко. Поэтому ограничимся только приведением зависимостей между узловыми давлениями

$$P_{1,i-1}^2 - P_{1,i}^2 = \zeta_{1,i} b_{1,i} l_{1,i} Q_{1,i}^2, \quad i=1..m_1 + 1, \quad (1)$$

$$P_{2,i-1}^2 - P_{2,i}^2 = \zeta_{2,i} b_{2,i} l_{2,i} Q_{2,i}^2, \quad i=1..m_2 + 1,$$

где  $b_{j,i} = \frac{16\lambda_{j,i} P_{st}^2 T Z}{\pi^2 T_{st}^2 R D_{j,i}^5}$  [2] и, соблюдая общность, приняли, что  $P_{1,0} = \tilde{P}_1 = P_{2,m_2+1}$  и

$P_{1,m_1+1} = \tilde{P}_2 = P_{2,0}$ . Здесь и далее для выражения направления потока в участках

воспользуемся функциями  $\zeta_{1,i} = \text{sign}(Q_{1,i})$ ,  $\zeta_{2,i} = \text{sign}(Q_{2,i})$ . Они принимают значение +1, если направление потока в участке против направления хода стрелки часов (от  $i=1$  до  $i=M_1$  на 1-й цепочке и от  $i=1$  до  $i=M_2$  на 2-й цепочке), и -1, если наоборот (от  $i=M_1+1$  до  $i=m_1+1$  на 1-й цепочке и от  $i=M_2+1$  до  $i=m_2+1$  на 2-й цепочке).

Задача аналогична задаче о кольцевой сети с одним подводом и несколькими отборами [3]. В самом деле, если  $\tilde{P}_1 = \tilde{P}_2$ , то реализуя решение упомянутой задачи для 1-й и 2-й цепочек, получим решение нашей задачи. Но, в случаях  $\tilde{P}_1 > \tilde{P}_2$  для решения нашей задачи нельзя положиться на этот способ решения. Во-первых, концевые давления в цепочках разные; во-вторых, нет конкретной зависимости между неизвестными  $M_1$  и  $M_2$ . В зависимости от интенсивности отбора в отдельных узлах сети, а они заданы произвольным образом, можно ожидать случаи увеличения значения  $M_2$  на несколько шагов при одном шаге по  $M_1$  или при увеличении  $M_2$  на единицу возможны изменения  $M_1$  на несколько шагов. В связи с этими причинами основное внимание будем уделять на 1-ю цепочку и составим алгоритм определения направления потока на ее участках и значения  $Q$  на 1-м участке 1-й цепочки.

Положим, что в узле  $M_1$  1-й цепочки образовалось наименьшее значение давления среди узлов 1-й цепочки. Это означает, что  $Q$  расходуется при прохождении через точки отбора  $i=1, 2, \dots, M_1-1$ . Узел  $M_1$  питается, возможно, с двух сторон. Это допущение об узле  $M_1$  ограничивает значения  $Q$  с двух сторон

$$-\sum_{i=1}^{M_1-1} q_{1,i} < Q \leq -\sum_{i=1}^{M_1} q_{1,i},$$

чем и воспользуемся далее. Здесь знак « $\leq$ » соответствует случаю одностороннего (только против хода часовой стрелки) питания узла  $M_1$ .

Почленным суммированием равенств (1) по значениям  $i$  от 1 до  $m_1+1$ , получим

$$P_{1,0}^2 - P_{1,m_1+1}^2 = + \sum_{i=1}^{m_1+1} \zeta_{1,i} b_{1,i} l_{1,i} Q_{1,i}^2.$$

С учетом участковых расходов газа, входных давлений и значений  $\zeta_{1,i}$  последнее равенство записывается в виде

$$\tilde{P}_1^2 - \tilde{P}_2^2 = \sum_{i=1}^{M_1} b_{1,i} l_{1,i} Q_{1,i}^2 - \sum_{i=M_1+1}^{m_1+1} b_{1,i} l_{1,i} Q_{1,i}^2. \quad (2)$$

Участковые расходы выразим через  $Q$ ,  $\bar{Q}_1$ ,  $q_{1,i}$  и вычислим значения сумм последнего равенства

$$\sum_{i=1}^{M_1} b_{1,i} l_{1,i} Q_{1,i}^2 = b_{1,1} l_{1,1} Q^2 + \sum_{i=2}^{M_1} b_{1,i} l_{1,i} \left( Q + \sum_{k=1}^{i-1} q_{1,k} \right)^2,$$

$$\sum_{i=M_1+1}^{m_1+1} b_{1,i} l_{1,i} Q_{1,i}^2 = b_{1,m_1+1} l_{1,m_1+1} (\bar{Q}_1 - Q)^2 + \sum_{i=M_1+1}^{m_1} b_{1,i} l_{1,i} \left( \bar{Q}_1 - Q + \sum_{k=i}^{m_1} q_{1,k} \right)^2.$$

Тогда равенство (2) принимает следующий вид

$$\begin{aligned} \tilde{P}_1^2 - \tilde{P}_2^2 = & b_{1,1} l_{1,1} Q^2 + \sum_{i=2}^{M_1} b_{1,i} l_{1,i} \left( Q + \sum_{k=1}^{i-1} q_{1,k} \right)^2 - \\ & - b_{1,m_1+1} l_{1,m_1+1} (\bar{Q}_1 - Q)^2 - \sum_{i=M_1+1}^{m_1} b_{1,i} l_{1,i} \left( \bar{Q}_1 - Q + \sum_{k=i}^{m_1} q_{1,k} \right)^2. \end{aligned} \quad (3)$$

Раскрывая суммы и скобки, составим уравнение относительно  $Q$

$$\begin{aligned} & Q^2 \left( b_{1,1} l_{1,1} + \sum_{i=2}^{M_1} b_{1,i} l_{1,i} - \sum_{i=M_1+1}^{m_1} b_{1,i} l_{1,i} - b_{1,m_1+1} l_{1,m_1+1} \right) + \\ & + 2Q \left( \sum_{i=2}^{M_1} b_{1,i} l_{1,i} \sum_{k=1}^{i-1} q_{1,k} + \sum_{i=M_1+1}^{m_1} b_{1,i} l_{1,i} \left( \bar{Q}_1 + \sum_{k=i}^{m_1} q_{1,k} \right) + b_{1,m_1+1} l_{1,m_1+1} \bar{Q}_1 \right) + \\ & + \sum_{i=2}^{M_1} b_{1,i} l_{1,i} \left( \sum_{k=1}^{i-1} q_{1,k} \right)^2 - \sum_{i=M_1+1}^{m_1} b_{1,i} l_{1,i} \left( \bar{Q}_1 + \sum_{k=i}^{m_1} q_{1,k} \right)^2 - b_{1,m_1+1} l_{1,m_1+1} \bar{Q}_1^2 - \tilde{P}_1^2 + \tilde{P}_2^2 = 0. \end{aligned}$$

Обозначим

$$\begin{aligned} a_{M_1} &= \sum_{i=1}^{M_1} b_{1,i} l_{1,i} - \sum_{i=M_1+1}^{m_1+1} b_{1,i} l_{1,i}, \\ b_{M_1} &= \sum_{i=2}^{M_1} b_{1,i} l_{1,i} \sum_{k=1}^{i-1} q_{1,k} + \sum_{i=M_1+1}^{m_1} b_{1,i} l_{1,i} \left( \bar{Q}_1 + \sum_{k=i}^{m_1} q_{1,k} \right) + b_{1,m_1+1} l_{1,m_1+1} \bar{Q}_1, \\ c_{M_1} &= \sum_{i=2}^{M_1} b_{1,i} l_{1,i} \left( \sum_{k=1}^{i-1} q_{1,k} \right)^2 - \sum_{i=M_1+1}^{m_1} b_{1,i} l_{1,i} \left( \bar{Q}_1 + \sum_{k=i}^{m_1} q_{1,k} \right)^2 - b_{1,m_1+1} l_{1,m_1+1} \bar{Q}_1^2 - \tilde{P}_1^2 + \tilde{P}_2^2. \end{aligned}$$

Таким образом, при допущении, что узел  $M_1$  имеет наименьшее узловое давление среди узлов первой цепочки, получили квадратное уравнение относительно искомого  $Q$

$$a_{M_1} Q^2 + 2b_{M_1} Q + c_{M_1} = 0.$$

Процесс поиска значений  $M_1$  и  $Q$  начинается с проверки при  $M_1 = 1$  и продолжается до выполнения всех условий для  $M_1$  и  $Q$ .

Для фиксированного значения  $M_1$  вычисляются значения коэффициентов  $a_{M_1}, b_{M_1}, c_{M_1}$  квадратного уравнения.

Если выполняется условие  $|a_{M_1}| < 10^{-6}$ , то решение находится в виде  $Q = -c_{M_1} / (2b_{M_1})$  и осуществляется переход к проверке достоверности решения. Иначе решается квадратное уравнение.

Если  $D/4 = b_{M_1}^2 - a_{M_1}c_{M_1} > 10^{-6}$ , то определяются два значения искомого  $Q_{(1,2)} = \frac{-b_{M_1} \pm \sqrt{b_{M_1}^2 - a_{M_1}c_{M_1}}}{a_{M_1}}$  и осуществляется переход к проверке достоверности решений.

Если выполняется условие  $|D/4| < 10^{-6}$ , то значение искомого определяется формулой  $Q \approx -b_{M_1} / a_{M_1}$  и осуществляется переход к проверке достоверности решения.

Если выполняется условие  $D/4 < -10^{-6}$  и еще не достигли конца 1-й цепочки, то управление передается к следующему значению номера узла  $M_1$ .

Для проверки достоверности решения использовали два условия.

Первое условие отражает соответствие искомого решения  $Q$  к суммарному отбору в узлах  $1..M_1 - 1$ , о чем отметили выше:

$$-\sum_{k=1}^{M_1-1} q_{1,k} < Q \leq -\sum_{k=1}^{M_1} q_{1,k} \quad \text{или} \quad 0 < Q + \sum_{k=1}^{M_1-1} q_{1,k} \leq -q_{1,M_1}.$$

Если это условие не выполнено и еще не достигли конца 1-й цепочки, то осуществляется переход к следующему значению номера узла  $M_1$ . Если условие выполнено, то проверяется выполнение второго условия достоверности решения.

Второе условие достоверности решения вытекает из свойства правой части равенства (3). При возрастании значения  $M_1$  правая часть равенства (3) возрастает, начиная от отрицательного значения (при предположении  $M_1 = 0$ ), и переходит к положительному значению. Поэтому, если при увеличении значения  $M_1$  от 1 до  $m_1$  выражение

$$\begin{aligned} \varphi(Q, M_1) = & b_{1,1} l_{1,1} Q^2 + \sum_{i=2}^{M_1} b_{1,i} l_{1,i} \left( Q + \sum_{k=1}^{i-1} q_{1,k} \right)^2 - \\ & - b_{1,m_1+1} l_{1,m_1+1} (\bar{Q}_1 - Q)^2 - \sum_{i=M_1+1}^{m_1} b_{1,i} l_{1,i} \left( \bar{Q}_1 - Q + \sum_{k=1}^{i-1} q_{1,k} \right)^2 - \tilde{P}_1^2 + \tilde{P}_2^2 \end{aligned}$$

впервые принимает положительное или нулевое значение, то значения  $M_1$  и  $Q$  являются искомыми решениями задачи.

Если данный алгоритм определяет конкретное значение  $M_1$ , который меньше  $m_1 + 1$ , то для второй цепочки узел с наименьшим давлением среди узлов второй цепочки находим из условия

$$M_2 = \max_{i \in (1, m_2+1)} \left\{ \tilde{Q}_2 - \bar{Q}_1 + Q + \sum_{k=1}^i q_{2,k} \geq 0 \right\}.$$

Если описанный выше алгоритм не определяет значение  $M_1$ , которое меньше  $m_1 + 1$  (или отсутствует такое значение  $M_2$ ), то для первой (второй) цепочки узел с наименьшим узловым давлением находится на границе цепочки, т.е. во втором узле подвода. В этом случае, возможно, происходит «давка» 2-го подвода. Чтобы избежать такого случая либо следует увеличить давление во 2-м подводе, либо уменьшить давление 1-го подвода.

Таким образом, удалось определить значение расхода первого участка 1-ой цепочки  $Q$  и номера узлов  $M_1$  и  $M_2$  с наименьшими давлениями в соответствующих цепочках.

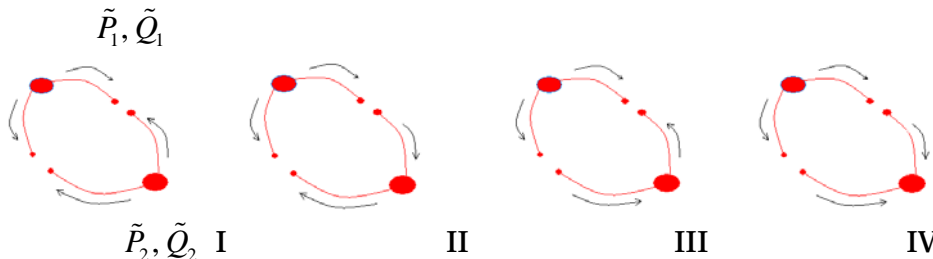


Рис. 3. Возможные варианты направления потока в прилегающих к узлам подводов участках кольцевой сети

Анализ и результаты вычислительного эксперимента показали, что при  $\tilde{P}_1 > \tilde{P}_2$  ожидаются, в частности, следующие варианты направления потоков (рис. 3): вариант 1 –  $\tilde{1} \rightarrow \dots \leftarrow \tilde{2} \rightarrow \dots \leftarrow \tilde{1}$  (узлы  $M_1$  и  $M_2$  являются внутренними узлами своих цепочек); вариант 2 –  $\tilde{1} \rightarrow \dots \leftarrow \tilde{2} \leftarrow \dots \leftarrow \tilde{1}$  (узел  $M_1$  является внутренним узлом 1-й цепочки, а узел  $M_2$  совпадает с 2-ым подводом); вариант 3 –  $\tilde{1} \rightarrow \dots \rightarrow \tilde{2} \rightarrow \dots \leftarrow \tilde{1}$  (узел  $M_2$  является внутренним узлом 2-й цепочки, а узел  $M_1$  попал ко 2-му подводу); вариант 4 –  $\tilde{1} \rightarrow \dots \rightarrow \tilde{2} \leftarrow \dots \leftarrow \tilde{1}$  (этот случай соответствует «давке» 2-го подвода). В этих условных схемах «тильда» над числами относят чисел номеру подвода.

Эти четыре варианта решения уместны, если заданные давления в подводах достаточны для преодоления силы трения в цепочках. Иначе, возможно, происходит прерывание расчета при вычислениях узловых давлений. В этой связи расчет узловых давлений желательно вести, начав с узла подвода с большим давлением. А результаты расчета  $P_{1,m_1+1}$  и  $P_{2,0}$  следует сравнить с заданным значением  $\tilde{P}_2$ . При нормально течении вычислительного процесса разница между этими величинами будет в рамках машинных округлений. Если хотя бы один из вычисленных значений  $P_{1,m_1+1}$  и  $P_{2,0}$  больше  $\tilde{P}_2$  (разумеется, с учетом машинных округлений), образуется «давка» подвода с меньшим давлением. Если же одно из них меньше  $\tilde{P}_2$ , то давления в подводах не достаточны для преодоления силы трения в цепочках сети.

С учетом данного анализа и с помощью найденных значений расхода первого участка 1-ой цепочки  $Q$ , номеров узлов  $M_1$  и  $M_2$  осуществляется гидравлический расчет сети в следующей последовательности:

- задаются значения  $\zeta_{j,i} = \begin{cases} +1, & \text{при } i \leq M_j, \\ -1, & \text{при } i > M_j; \end{cases}$

- вычисляется расход первого участка второй цепочки  $Q_{2,1} = \tilde{Q}_2 - \bar{Q}_1 + Q$ ;

- вычисляются неизвестные участковые расходы

$$Q_{j,i} = Q_{j,i-1} + \sum_{k=1}^{i-1} \zeta_{j,i} q_{j,i} \quad j = 1, 2; \quad i = 1, 2, \dots, m_j + 1;$$

- если  $Q_{1,m_1+1} > 0$  и  $Q_{2,1} < 0$ , то выдается информация о «давке» второго подвода и происходит прерывание вычислительного процесса;

- вычисляются недостающие узловые давления

$$P_{1,i}^2 = P_{1,i-1}^2 - \zeta_{1,i} b_{1,i} q_{1,i} Q_{1,i}^2 \quad (i = 1, 2, \dots, m_1, m_1 + 1),$$

$$P_{2,i-1}^2 = P_{2,i}^2 + \zeta_{2,i-1} b_{2,i-1} q_{2,i-1} Q_{2,i-1}^2 \quad (i = m_2 + 1, m_2, \dots, 2, 1);$$

- проверяется согласованность значений  $P_{1,m_1+1}$ ,  $P_{2,0}$  и  $\tilde{P}_2$ : если эти значения не согласованы, то выдается соответствующая условия прерывания счета. Если же они согласованы, то выдается полная информация об узловых давлениях и участковых расходах газа.

Если отобранный в узлах газ доставляется до потребителя через отводы, то применяя известные из учебников формулы для лучевой сети и учитывая узловые давления в кольце, вычисляются значения давления в концах отводов и при необходимости вносятся коррективы в структуре и режимных параметров кольцевой сети.

**Выводы.** В качестве основных выводов работы приведем следующие:

- разработан алгоритм точного аналитического расчета кольцевой сети с двумя подводами и несколькими отборами;
- выявлено, что при нормальном функционировании сети каждая цепочка с отборами, заключенная узлами подвода, имеет свой внутренний узел с наименьшим узловым давлением;
- если подводы имеют одинаковые давления, то гидравлический расчет 1-й цепочки сети можно провести по предложенному в [3] алгоритму;
- алгоритм позволяет выявить случаи давки узла подвода с меньшим давлением и нехватки давлений в подводах для преодоления силы трения в цепочках;
- представленный алгоритм позволяет провести экспертизу предполагаемых проектов сети, анализировать действующую сеть, а также оптимизировать диаметры участков, так как в алгоритме относительно значений  $\lambda_{j,i}$  и  $D_{j,i}$  никаких ограничений не предпринимались.

**Примечания:**

1. Меренков А.П., Хасилов В.Я. Теория гидравлических цепей. М.: Наука. 1985. 278 с.
2. Кортаев Ю.П., Ширковский А.И. Добыча, транспорт и подземное хранение газа. М.: Недра, 1997. 487 с.
3. 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.
4. Сеннова Е.В., Сидлер В.Г. Математическое моделирование и оптимизация развивающихся теплоснабжающих систем. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние. 1987. 222 с.

УДК 622.691.4.004

**Алгоритм гидравлического расчета кольцевой сети газопровода  
с двумя узлами подвода и конечным числом узлов отбора**

Бахром Эргашевич Юлдашев

Центр по разработке программных продуктов и аппаратно программных комплексов при  
ТУИТ, Узбекистан  
Старший научный сотрудник  
E-mail: baxrom@rambler.ru

**Аннотация.** Предложен алгоритм гидравлического расчета кольцевой сети с двумя подводами и несколькими концентрированными отборами в узлах, который позволяет получить точное решение или выявить причины несогласованности данных задачи.

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