

УДК 665.276

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ГАЗОВОГО ПОТОКА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ
ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН. ЧАСТЬ 3**
DETERMINATION OF THE GAS STREAM FLOW AT CONDUCTING
HYDRODYNAMIC INVESTIGATION OF WELLS. PART 3

М. С. Рогалев, Н. В. Саранчин, В. Н. Маслов, А. Б. Дерендяев
M. S. Rogalev, N. V. Saranchin, V. N. Maslov, A. B. Derendyaev

ООО «ТюменьНИИГазпрогаз», г. Тюмень

Ключевые слова: газовые скважины; газоконденсатные скважины; гидродинамические исследования скважин; расчет расхода газа; критическое истечение

Key words: gas wells; gas condensate wells; well tests; calculation gas consumption of gas flow; critical expiration

**Предлагаемый способ расчета расхода газового потока
для режима его критического истечения через диафрагму**

Газодинамические исследования газовых и газоконденсатных скважин на установившихся режимах фильтрации являются информационным источником при обосновании оптимальных технологических параметров их работы [1]. Результаты данных исследований используются для контроля процесса разработки газовых и газоконденсатных месторождений, формирования комплекса мероприятий по его совершенствованию и оценке эффективности капитальных ремонтов скважин [1, 2, 3]. Для получения достоверных результатов газодинамических исследований значимую роль имеет корректное определение дебита скважин по газу при проведении данного вида работ [1].

В настоящее время в Российской Федерации определение дебита скважин по газу осуществляется с использованием диафрагменного измерителя критического течения (ДИКТ) [3]. Схематично его типовая конструкция с описанием режима прохождения газового потока приведена на рис. 1, базируясь на основополагающих работах в рассматриваемой области, выполненных Е. Л. Rawlins и М. А. Schelhardt [4], Д. Л. Катцом [2], А. И. Гриценко и З. С. Алиевым [3].

Процесс прохождения потоком газа диафрагмы ДИКТа, графически представленного на рис. 1, осуществляется в режиме критического истечения вследствие разности давлений до и после нее.

Согласно информации, приведенной в основополагающих работах по газо- и гидродинамике [4–7], связанных с изучением режимов течения сред, выражения, используемые при расчете расхода среды при критическом истечении через диафрагму ДИКТа, должны базироваться на балансовых уравнениях:

- неразрывности потока среды

$$G = F_1 \cdot \omega_1 \cdot \rho_1 = f_0 \cdot \omega_0 \cdot \rho_0 = f_2 \cdot \omega_2 \cdot \rho_2 = const ; \quad (1)$$

- первого начала термодинамики

$$dq + d(pv)_{\text{ВНЕШ}} = du + d\left(\frac{\omega^2}{2}\right) + gdh + da_{\text{ТЕХ}} + da_{\text{ТР}} , \quad (2)$$

где G — массовый расход среды; F_1 , f_0 , f_2 — площади соответствующих поперечных сечений; ω_1 , ω_0 , ω_2 — средняя скорость потока в соответствующем сечении; ρ_1 , ρ_0 , ρ_2 — плотность газа в соответствующем сечении; dq — удельное количество теплоты, подведенное к газу на участке между сече-

ниями 1 и 2; $d(p\nu)_{\text{ВНЕШ}}$ — удельная работа внешних сил давления на том же участке; du — изменение удельной внутренней энергии газа на этом участке; $d(\omega^2/2) + gdh$ — приращение удельной кинетической и потенциальной энергии газа на этом участке; $da_{\text{ТЕХ}} + da_{\text{ТР}}$ — совершенная газом техническая работа и работа, по преодолению сил трения отнесенная к единице массы газа на том же участке.

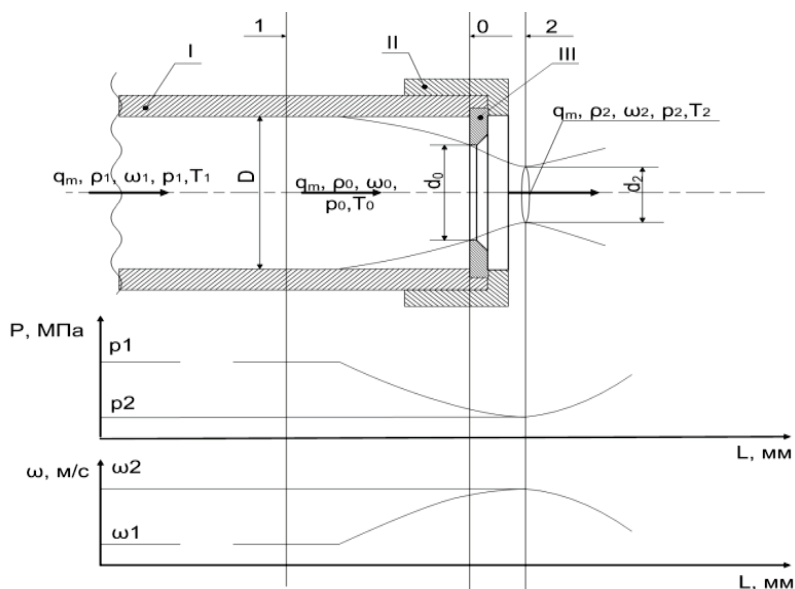


Рис. 1. Графический вид типовой конструкции ДИКТа и описание режима прохождения газового потока через него при критическом течении:

I — прямолинейный участок трубопровода перед сужающим устройством (диафрагмой) или корпус; II — накидная гайка для крепления сужающего устройства к корпусу; III — сужающее устройство — диафрагма; 1 — сечение в прямолинейном участке трубопровода; 0 — сечение, характеризующее режим движения газового потока в месте его входа в отверстие диафрагмы; 2 — сечение наибольшего сужения струи газового потока

С увеличением перепада давления на диафрагме расход газа постепенно увеличивается пропорционально ему [4, 6]. При достижении критического перепада давлений скорость потока газа в месте максимального сужения струи (сечение 2 рис. 1) достигает локальной скорости звука. Расход газа перестает зависеть от противодавления за диафрагмой и определяется термобарическими параметрами среды до нее (сечение 1 рис. 1). Термобарические параметры (противодавление и температура) в сечении 2 рис. 1 согласно [6] определяются выражениями:

$$y_{\text{КР}} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)_{\text{КР}} = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}}, \quad (3)$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{2}{k+1}, \quad (4)$$

где $y_{\text{КР}}$ — критическое отношение давлений потока среды; k — показатель изоэнтропии (адиабаты) газового потока; p_1 и T_1 — давление и температура в сечении 1; p_2 и T_2 — давление и температура в сечении 2 (см. рис.1).

Принципиальный вид зависимости расхода газа при его прохождении через сужающее устройство от перепада давления на нем, описывающей переход от режима докритического истечения к критическому истечению, приведен на рис. 2 в соответствии с информацией, представленной в работе [8].

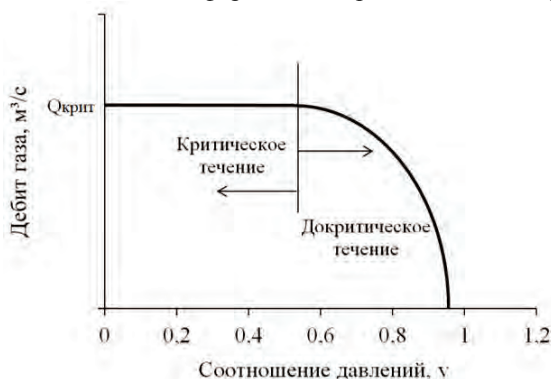


Рис. 2. Принципиальный вид зависимости расхода газа при его прохождении через сужающее устройство от перепада давления на нем, описывающей переход от режима докритического истечения к критическому истечению

Рабочие условия газового потока в сжатом сечении (сечение 2) должны рассчитываться по известным его рабочим условиям перед диафрагмой (сечение 1, см. рис. 1) на основании выражений (3) и (4).

Согласно сведениям, представленным в работах [6, 9, 10], при критическом истечении газового потока через диафрагму площадь его наиболее сжатого сечения за ней (сечение 2) определяется конструкцией сужающего устройства (диафрагмы); теплофизическими свойствами газового потока перед диафрагмой (сечение 1, см. рис. 1).

При проведении газодинамических исследований скважин в ДИКТе обычно используются диафрагмы типовой конструкции, которая представлена на рис. 3.

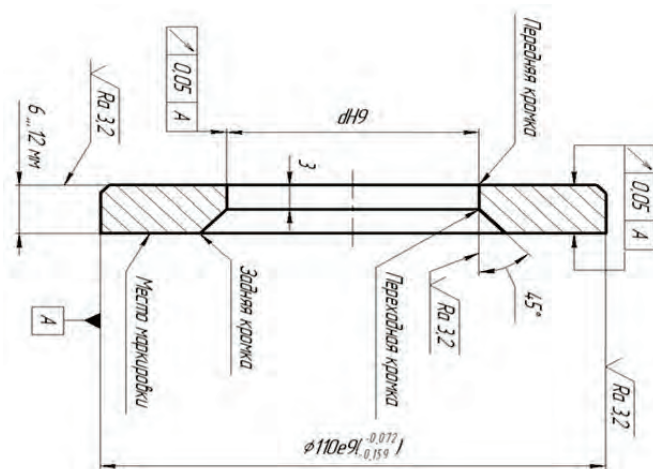


Рис. 3. Графический вид типовой диафрагмы, применяемой в ДИКТе при проведении газодинамических и исследований газовых и газоконденсатных скважин

Применяемая диафрагма в ДИКТе (рис. 3) имеет технические характеристики согласно [1, 4]:

- внешний диаметр 101,6 мм;
- нормированный ряд диаметров внутреннего отверстия от 1,587 до 76,199 мм;
- толщина в диапазоне от 6,0 до 12,0 мм;
- торцевые поверхности плоские и параллельные друг другу с торцевым биением не более 0,1 мм;

- длина цилиндрической части отверстия 3,0 мм;
- уклон задней кромки диафрагмы 45^0 ;
- входная кромка цилиндрической части отверстия острая с радиусом не более 0,05 мм;
- шероховатость поверхности передней торцевой плоскости не более 3,2 мкм.

Основные параметры диафрагмы, влияющие на достоверность результата измерений расхода газа: длина цилиндрической части отверстия; угол задней кромки.

Данные параметры должны строго выдерживаться при изготовлении рассматриваемого сужающего устройства для исключения внесения дополнительной погрешности в результат измерений.

Теплофизические свойства газового потока при рабочих условиях перед диафрагмой (сечение 1) и в сжатом сечении (сечение 2, см. рис. 1) определяются на основании известного его компонентного состава. Их расчет целесообразно осуществлять по стандартизованным методам, изложенным в ГОСТ 30319–96 [11].

Предлагаемые выражения в работах Е. L. Rawlins и М. А. Schelhardt [4], А. И. Гриценко и З. С. Алиева [3], Д. Л. Катца [2] и Дж. П. Брилла и Х. Мухерджи [8] для расчета расхода рассматриваемого газового потока через диафрагму сводятся к следующему общему виду

$$Q_{ст} = C \cdot \frac{P_1}{\sqrt{T_1}}, \quad (5)$$

где $Q_{ст}$ — объемный расход потока углеводородной газовой смеси, приведенный к стандартным условиям; C — коэффициент расхода.

В каждом из выражений делаются допущения при расчете коэффициента расхода.

Авторами в работе [12] представлен детализированный анализ предлагаемых в научно-технической литературе выражений для расчета расхода газового потока в режиме критического истечения через диафрагму.

Тезисно можно выделить, что данные допущения предполагают наличие эмпирической составляющей (коэффициент расхода), которой должна компенсироваться часть теплофизических и гидродинамических характеристик газового потока при описании его критического истечения через диафрагму. Размерности предлагаемых коэффициентов расхода в метрической системе единиц измерения СИ не соответствуют требуемому выражением (5). Во всех выражениях отсутствует учет коэффициента сжатия струи газового потока, выходящего с диафрагмы, который является значимой газодинамической характеристикой рассматриваемого режима истечения.

Результат представленного в работе [12] сопоставления расчетных значений расхода газового потока, проходящего диафрагму ДИКТа в режиме критического истечения, по выражениям, предлагаемым в научно-технической литературе, относительно значений, измеренных методом докритического истечения рассматриваемого потока, изложенным в ГОСТ 8.586–2005 [13], показал наличие систематических отклонений в диапазоне от 5 до 35 %.

Это свидетельствует о неполном учете теплофизических и газодинамических характеристик газового потока, проходящего диафрагму в режиме критического истечения, при расчете его расхода с использованием выражений, предлагаемых в научно-технической литературе.

Для устранения существующего недостатка авторами в работах [12, 14] проведены аналитические исследования по проработке расчетных выражений для определения расхода газового потока, проходящего диафрагму в режиме критического истечения, и коэффициента сжатия струи рассматриваемого потока в сечении 2

рис. 1, которыми наиболее полно будут учитываться теплофизические и газодинамические составляющие системы.

Полученные выражения имеют следующий вид:

- для объемного расхода газового потока, приведенного к стандартным условиям на основании работы [12]

$$Q_{CT} = \varepsilon \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \frac{z_{CT}}{z_1} \cdot \frac{p_1}{p_{CT}} \cdot \sqrt{\frac{R_M}{T_1}} \cdot T_{CT} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \frac{1+z_1 \cdot (k-1)}{k-1} \cdot \left(1 - \frac{2}{k+1} \cdot \frac{1+z_2 \cdot (k-1)}{1+z_1 \cdot (k-1)}\right)}{\left(\frac{k+1}{2}\right)^{\frac{2}{k-1}} - \beta_d^4 \cdot \varepsilon^2}}, \quad (6)$$

где ε — коэффициент сжатия струи газового потока в сечение 2 рис. 1; z_1, z_2 — фактор сжимаемости углеводородной газовой смеси в сечениях 1 и 2 рис. 1; z_{CT} — фактор сжимаемости углеводородной газовой смеси при стандартных условиях; T_{CT}, p_{CT} — температура и давления, соответствующие стандартным условиям; $\beta_d = d_0/D$ — относительный диаметр отверстия диафрагмы ДИКТа.

- для коэффициента сжатия газового потока в сечение 2 рис. 1 в соответствии с работой [14], выведенного на основании материала, приведенного в публикациях С. А. Чаплыгина [10], С. В. Фалькович [15]

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{\beta_d^2} \sqrt{\frac{\tau_1}{\tau_2}} \cdot \frac{8}{\pi} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n \cdot (-1)^{n-1}}{4 \cdot n^2 - 1} x_n(\tau_1)\right), \quad (7)$$

где ε_0 — коэффициент сжатия струи, полученный С. А. Чаплыгиным в работе [10]; τ_1 и τ_2 — параметры, введенные С. А. Чаплыгиным в работе [10]; $x_n(\tau)$ — функциональная зависимость, от параметра τ приведенная в том же труде.

Расчет входящих в выражение (6) теплофизических и газодинамических параметров рабочей среды за исключением коэффициента сжатия струи авторами предлагается осуществлять на основании стандартизованных методик, изложенных в ГОСТ 30319-96 [11] и ГОСТ 8.586-2005 [13].

С целью проверки корректности выполненной аналитической работы по выводу выражений (6) и (7) проведено исследование по сопоставлению рассчитанных с их использованием значений расхода газового потока относительно результатов измерений расхода рассматриваемого потока, определяемого по методике, основанной на режиме докритического истечения, изложенной в ГОСТ 8.586-2005 [13].

Вследствие того, что газодинамические исследования с использованием ДИКТа проводятся для газоконденсатных и газовых скважин, при которых рабочей средой являются газ сепарации и природный газ соответственно, в работе осуществлено раздельное рассмотрение данных потоков. Это связано с различием теплофизических свойств газа сепарации газоконденсатных флюидов и природного газа. Для анализа использованы результаты ряда газодинамических исследований, выполненных на газоконденсатных и газовых скважинах севера Тюменской области. При проведении работ осуществлялась последовательная установка средств измерений расхода газового потока, основанных на докритическом истечении через диафрагму, и ДИКТа на исследовательских линиях обвязки газофакельных установок кустов скважин.

Принципиальная схема расположения измерительных приборов на исследовательском участке трубопровода газофакельной установки кустов скважин при

проведении газодинамических исследований скважин с целью оценки отклонения измеряемых расходов газового потока с использованием ДИКТа относительно получаемых значений с применением средств измерений расхода, основанных на режиме докритического истечения через диафрагму приведена на рис. 4.

При проведении исследований рассмотрен диапазон изменения относительного отверстия диафрагмы ДИКТа от 0,15 до 0,45 и расходов газового потока до 2 раз. Для каждой скважины выполнено по несколько серий исследований с постоянным расходом газового потока через измерительный участок и изменяющимся относительным диаметром отверстия диафрагмы, устанавливаемой в ДИКТе. Постоянство расхода через систему на каждой серии поддерживалось путем его регулирования с помощью клапана-регулятора, установленного на участке между средством измерения расхода, базирующегося на режиме докритического истечения, и ДИК-Том (см. рис. 4).

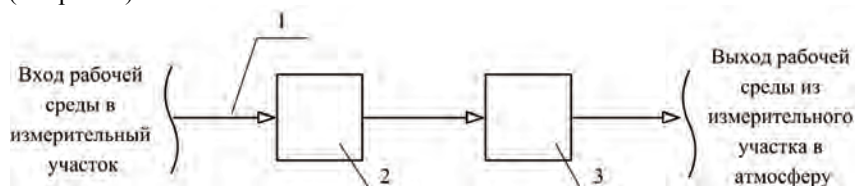


Рис. 4. Принципиальная схема установки исследовательского оборудования на измерительных линиях: 1 — исследуемый участок трубопровода; 2 — средства измерений, основанные на режиме докритического истечения газа через диафрагму; 3 — ДИКТ

Для каждого случая получены зависимости относительных отклонений расхода, рассчитанного по выражению (6) при использовании ДИКТа, относительно значений, определенных с применением прибора, базирующегося на методе докритического истечения. Данные зависимости приведены на рис. 5.

Результаты сопоставительного исследования (см. рис. 5) показывают, что предложенный авторами способ расчета расхода газового потока, проходящего диафрагму ДИКТа в режиме критического истечения при проведении газодинамических исследования газовых скважин, на основании выражения (6) с вычислением коэффициента сжатия струи по формуле (7) дает систематическое отклонение от значения, принятого в качестве истинного. Отклонения рассчитанных значений при постоянном расходе рабочей среды через ДИКТ имеют сопоставимый вид зависимостей, которые показывают наличие систематической ошибки.

Используемые в выражении (6) методики расчета теплофизических свойств рабочей среды и относительного диаметра отверстия диафрагмы, изложенные в ГОСТ 30319-96 [11] и ГОСТ 8.586-2005 [13] имеют длительный период апробации. Следовательно, могут быть исключены из рассмотрения при определении показателей, которые вносят систематическую ошибку в результат расчета расхода газового потока.

В качестве основного показателя вносящего систематическую ошибку в результат расчета по выражению (6) авторами рассмотрено определение коэффициента сжатия струи по выведенной формуле (7).

В работе С. А. Чаплыгина [10] сделано предположение, что на точность расчета коэффициента сжатия струи газового потока при его критическом истечении помимо относительного диаметра отверстия диафрагмы должны оказывать влияния теплофизические свойства рабочей среды.

Для проверки сделанного С. А. Чаплыгиным предположения авторами выполнены корреляционно-регрессионный анализ зависимостей отклонений рассчитываемых коэффициентов сжатия струи по выражению (7) от экспериментально по-

лученных значений; расчетно-параметрическое исследование по выявлению влияющих факторов на получаемые отклонения; разработка предложений по сокращению систематической ошибки расчета коэффициента сжатия струи.

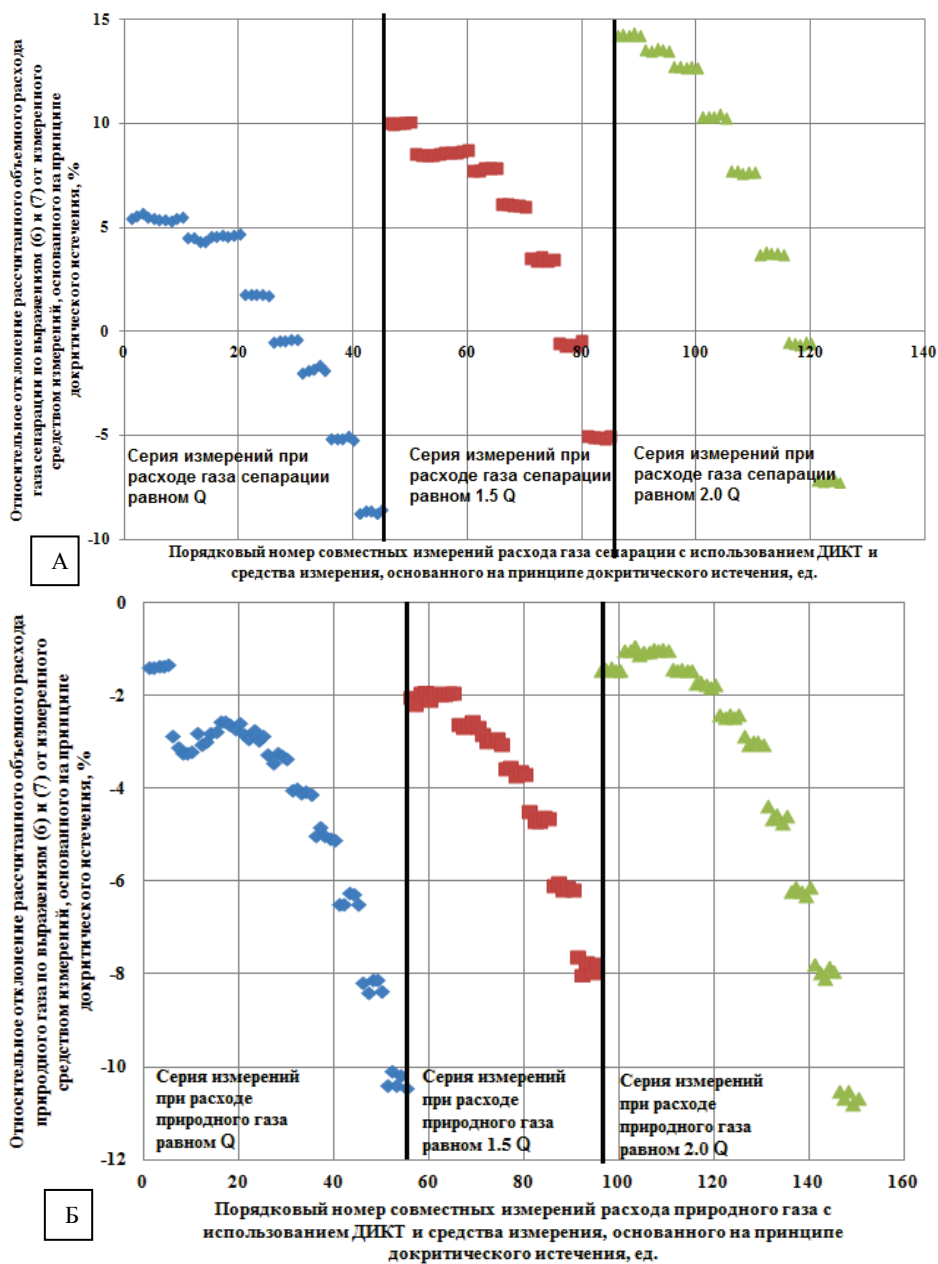


Рис. 5. Обобщенные зависимости отклонений рассчитанного расхода газового:
 А — зависимость для газа сепарации (газоконденсатная скважина);
 Б — зависимость для природного газа (газовая скважина)

На рис. 6 представлен вид зависимостей отклонений рассчитанных коэффициентов сжатия струи по выражению (7) относительно экспериментально определен-

ных при изменении относительного отверстия диафрагмы ДИКТа для серий измерений расхода газа сепарации и природного газа при постоянном его значении.

Данные рис. 6 показывают, что выражение для истинного значения коэффициента сжатия струи относительно, рассчитываемого по выражению (7), должно иметь следующий математический вид:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon \cdot (a \cdot \beta_d^2 - b \cdot \beta_d + c), \quad (8)$$

где ε_1 — истинный коэффициент сжатия струи; a , b и c — коэффициенты аппроксимационных зависимостей.

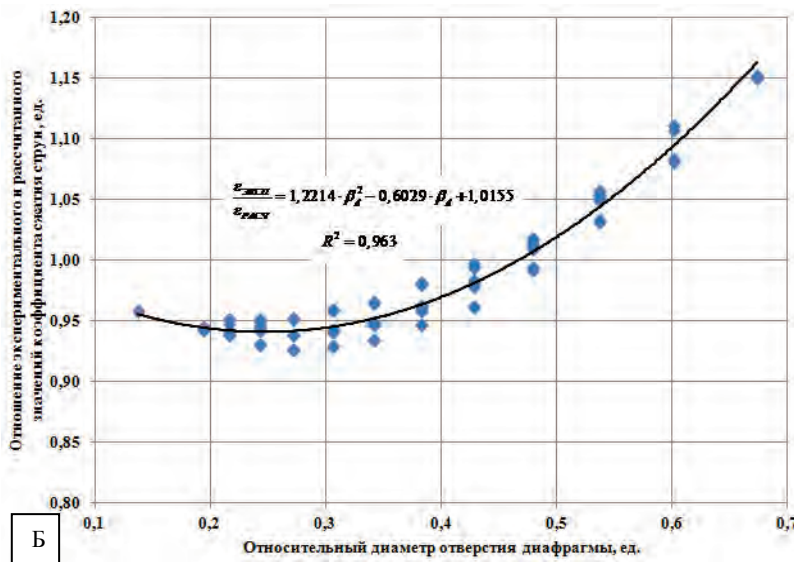
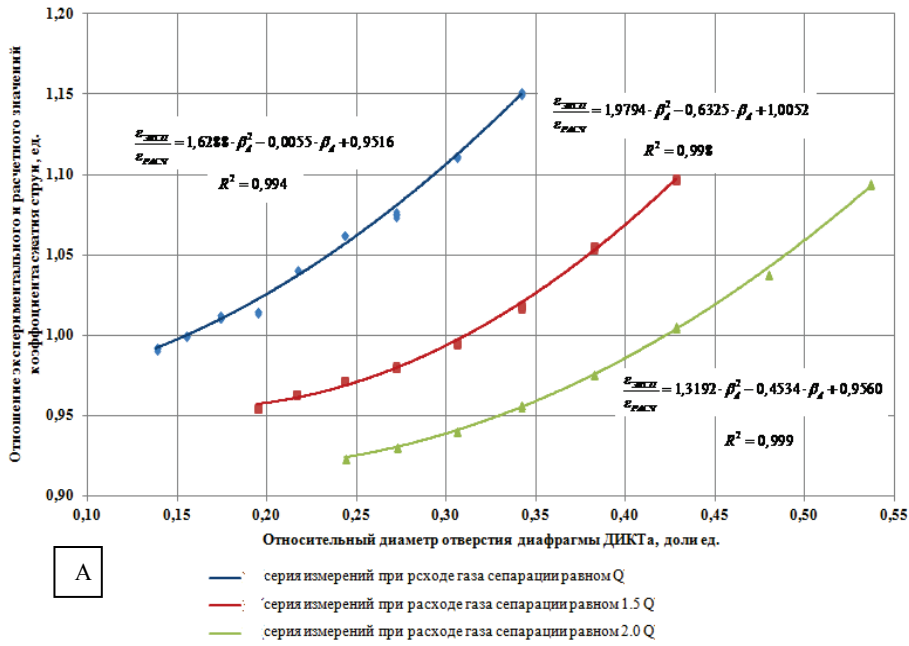


Рис. 6. Зависимости отклонений рассчитанных коэффициентов сжатия струи:

А — зависимость для газа сепарации (газоконденсатная скважина);

Б — зависимость для природного газа (газовая скважина)

Для режима критического истечения газа сепарации через сужающее устройство зависимости отклонений рассчитываемых по выражению (7) коэффициентов сжатия струй относительно экспериментальных значений при изменении относительного диаметра отверстия диафрагмы четко распадаются на три независимых тренда (см. рис. 6 А). Полученные функциональные зависимости, вид которых соответствует выражению (8), для каждой из серий исследований, различающихся значением расхода газового потока, имеют высокую достоверность аппроксимации (R^2) на уровне не менее 0,994.

При использовании в качестве рабочей среды природного газа нет четкого расщепления рассматриваемых зависимостей для каждой серии исследований при изменении относительного диаметра отверстия диафрагмы от 0,15 до 0,45 и увеличении расхода газового потока через диафрагму ДИКТа до 2 раз (рис. 6 Б). По этой причине для всех серий исследований отклонений рассчитанных коэффициентов сжатий струй по выражению (7) относительно их экспериментальных значений построена единая функциональная зависимость, соответствующая формуле (8), которая имеет достоверность аппроксимации 0,963.

На основании анализа информации, приведенной на рисунке 6 Б, можно сделать заключение, что для критического истечения природного газа через диафрагму отклонения рассчитываемых коэффициентов сжатия струй по выражению (7) относительно экспериментальных значений описываются с высокой степенью достоверности аппроксимации единой функциональной зависимостью от изменения относительного отверстия диафрагмы, вид которой представлен формулой (8). При этом отсутствует необходимость введения дополнительной составляющей расчетного выражения (8), которой будут учитываться теплофизические свойства природного газа.

Вид полученных функциональных зависимостей для коэффициента сжатия струи потока газа сепарации, приведенных на рисунке 6 А, подтверждает сделанное предположение С. А. Чаплыгиным в работе [10] о необходимости введения дополнительной составляющей в выражение (8). Данной составляющей должно учитываться влияние теплофизических свойств рабочей среды и устраняться получаемое расщепление между сериями измерений расхода в режиме критического истечения через диафрагму.

Для определения теплофизических свойств газа сепарации, которые влияют на расчет коэффициентов сжатия струи по выражению (8), проведено расчетно-параметрическое исследование. При этом осуществлено рассмотрение изменений фактора сжимаемости; относительной плотности по воздуху; показателя адиабаты; приведенной температуры; приведенного давления.

В результате выявлено, что основным параметром, изменяющимся от серии к серии для газа сепарации является относительная плотность рабочей среды по воздуху (плотность газа сепарации в стандартных условиях отнесенная к плотности воздуха при этих же условиях $\rho_{Отн} = \rho_{ГС}^{СТ} / \rho_{воздуха}^{СТ}$), отсутствие учета которого приводит к расщеплению функциональных зависимостей рисунка (см. 6 А). Авторами предложено введение в выражение (8) расчетных зависимостей для определения коэффициентов аппроксимации a , b и c , имеющих вид

$$a = -2.2617 \cdot \chi^2 + 25.8429 \cdot \chi - 71.8367 \quad (9)$$

$$b = 1,8645 \cdot \chi^2 - 22,0522 \cdot \chi + 64,5325 \quad (10)$$

$$c = -0,2096 \cdot \chi^2 + 2,42 \cdot \chi - 5,981, \quad (11)$$

где $\chi = \rho_{Отн}^{20} \cdot 10^5$ — корреляционный множитель, зависящий от относительной плотности газа сепарации по воздуху, приведенной к стандартным условиям.

Таким образом, расчет коэффициента сжатия струи газового потока, проходящего диафрагму ДИКТа в режиме критического истечения, предлагается осуществлять по выражению (8) с использованием коэффициентов аппроксимации a , b и c :

- для природного газа в форме констант: $a = 1,2414$, $b = -0,6029$ и $c = 1,0155$;
- для газа сепарации, рассчитанных по выражениям (9), (10) и (11), соответственно.

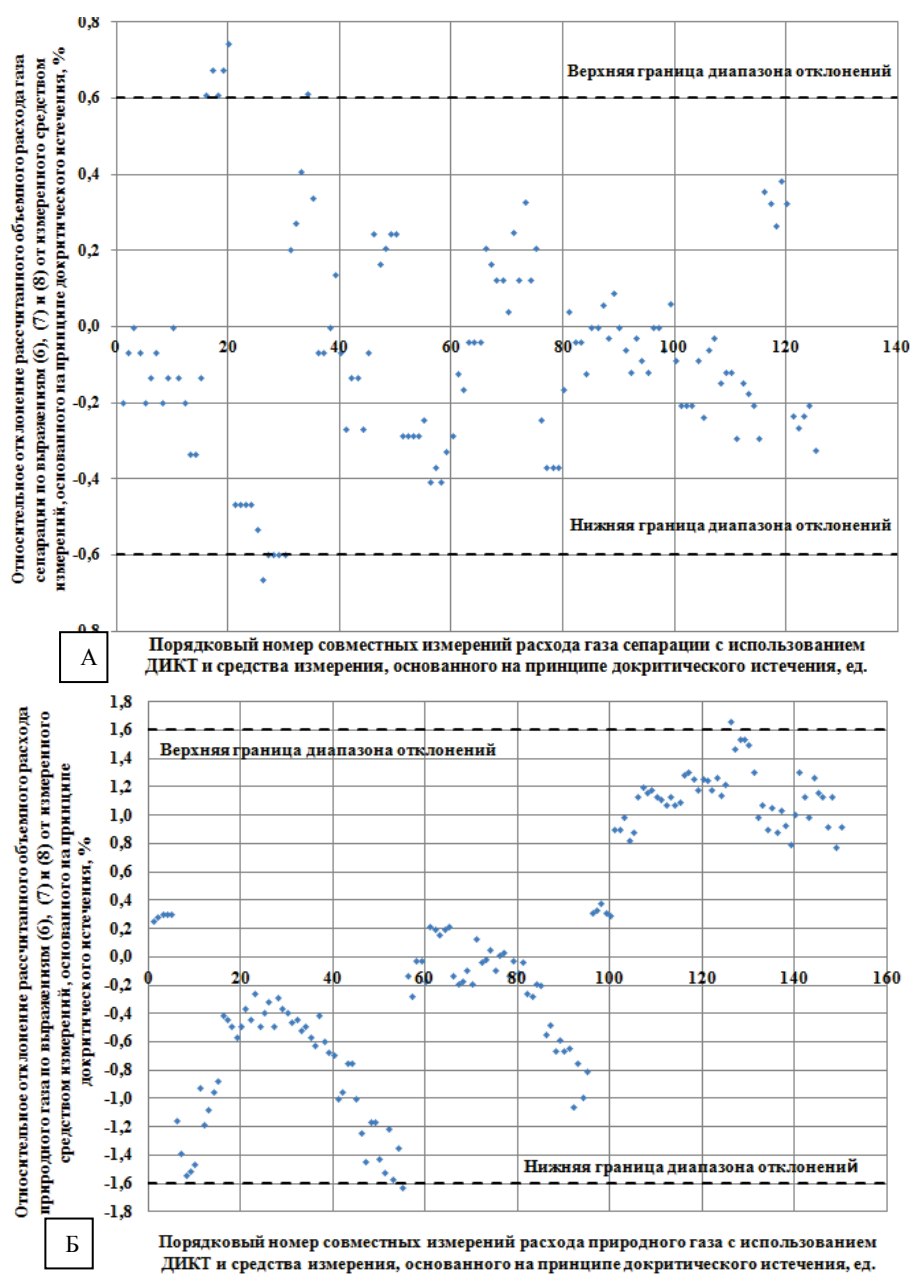


Рис. 7. Сопоставление отклонений расчетных значений расхода газового потока, проходящего диафрагму ДИКТ в режиме критического истечения:
 А – зависимость для газа сепарации (газоконденсатная скважина);
 Б – зависимость для природного газа (газовая скважина)

В завершении работы по разработке способа расчета расхода газового потока, проходящего диафрагму ДИКТ в режиме критического истечения, осуществлено

сопоставление получаемых значений по предлагаемому варианту относительно измеренных с использованием средств измерений, базирующихся на принципе докритического истечения. Предлагаемый способ расчета подразумевает определение расхода газового потока по выражению (6); теплофизических свойств среды на основании методик, изложенных в ГОСТ 30319-96 [11]; относительного диаметра отверстия диафрагмы по методике, описанной в ГОСТ 8.586-2005 [13]; коэффициента сжатия струи по выражению (8).

Результат осуществленного сопоставления приведен на рис. 7, где отдельно рассмотрены варианты использования в качестве рабочей среды газа сепарации и природного газа.

Данные рис. 7 показывают, что получаемые отклонения рассчитываемых и измеренных расходов газового потока не имеют явно выраженных систематических отклонений и с вероятностью 95 % находятся в диапазонах:

- от минус 0,7 до плюс 0,8 при использовании в качестве рабочей среды газа сепарации;
- от минус 1,6 до плюс 1,6 при использовании в качестве рабочей среды природного газа.

Полученные диапазоны отклонений расчетных значений относительно измеренных позволяют рекомендовать представленный способ расчета расхода газового потока, проходящего диафрагму ДИКТа в режиме критического истечения, базирующийся на выражениях (6), (7) и (8) для практического использования при обработке результатов газодинамических исследований газовых и газоконденсатных скважин.

Список литературы

1. Зотов Г. А., Алиев З. С., Инструкция по комплексному исследованию газовых и газоконденсатных пластов и скважин. – М.: Недра, 1980, – 300 с.
2. Катц Д. Л. Руководство по добыче, транспорту и переработке природного газа. – М.: Недра, 1965. – 677 с.
3. Гриценко А. И., Алиев З. С., Ермилов О. М., Ремизов В. В., Зотов Г. А. Руководство по исследованию скважин. – М.: Наука, 1995. – 523 с.
4. Rawlins E. L. and Schelhardt M. A. Back-Pressure Data on Natural-Gas and Their Application to Production Practices, U.S. Bureau of Mines, Monograph 7, 1936.
5. Ламб Г. Гидродинамика. – М.: Гостехиздат, 1947.
6. Альтшуль А. Д. Гидравлика и аэродинамика. – М.: Стройиздат, 1987. – 414 с.
7. Robert C. Johnson Real-Gas Effects in Critical-Flow-Through Nozzles and Tabulated Thermodynamic Properties, Lewis Research Center, Cleveland, Ohio, 1965, 131 с.
8. Брилл Дж. П., Мукерджи Х. Многофазный поток в скважинах. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2006. – 384 с.
9. Жуковский Н. Е. Избранные сочинения. – М.: Гостехиздат, 1948.
10. Чаплыгин С. А. Избранные труды. – М.: Наука, 1976.
11. ГОСТ 30319-96. Газ природный. Методы расчета физических свойств.
12. Рогалев М. С., Саранчин Н. В., Маслов В. Н., Дерендяев А. В. Определение расхода газового потока при проведении гидродинамических исследований скважин. Часть 1 // Известия вузов. Нефть и газ. – 2014. – № 6. – С. 50-58.
13. ГОСТ 8.586-2005. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств.
14. Рогалев М. С., Саранчин Н. В., Маслов В. Н., Дерендяев А. В. Определение расхода газового потока при проведении гидродинамических исследований скважин. Часть 2 // Известия вузов. Нефть и газ. – 2015. – № 1. – С. 43-54.
15. Фалькович С. В. К теории газовых струй. – М.: ПММ, 1957, т. XXI, вып. 4.

Сведения об авторах

Рогалев Максим Сергеевич, к. т. н., заместитель директора Тюменского регионального научно-исследовательского центра по изучению ядра и пластовых флюидов, ООО «ТюменНИИ-Гипрогаз», тел. 8(3452)286032, e-mail: rogalevms@tngg.ru

Information about the authors

Rogalev M. S., Candidate of Science in Engineering, Deputy Director of Tyumen regional research center for core analysis and reservoir fluids study, «TyumenNIIGiprogaz, LLC.», phone: 8(3452)286032, e-mail: rogalevms@tngg.ru

Саранчин Николай Викторович, к. ф.-м. н., ведущий научный сотрудник Тюменского регионального научно-исследовательского центра по изучению керна и пластовых флюидов, «ТюменНИИгипрогаз», тел. 8(3452)286195, e-mail: tu1487@mail.ru

Маслов Владимир Николаевич, д. т. н., первый заместитель генерального директора по науке, ООО «ТюменНИИгипрогаз», тел. 8(3452)286027

Дерендяев Алексей Борисович, заведующий сектором Тюменского регионального научно-исследовательского центра по изучению керна и пластовых флюидов, «ТюменНИИгипрогаз», тел. 8(3452)286032, e-mail: derendyaevab@tngg.ru

Saranchin N. V., Candidate of Science in Physics and Mathematics, leading scientific worker of the Tyumen regional research center for core analysis and reservoir fluids study, «TyumenNIIGiprogaz, LLC.», phone: 8(3452)286032, e-mail: tu1487@mail.ru

Maslov V. N., Doctor of Engineering, First Deputy General Director for science of «TyumenNIIGiprogaz, LLC.», phone: 8(3452)286027

Derendyaev A. B., head of sector of the Tyumen regional research center for core analysis and reservoir fluids study, «TyumenNIIGiprogaz, LLC.», phone: 8(3452)286032, e-mail: derendyaevab@tngg.ru