

# Снижение вредных выбросов в атмосферу на нефтегазоконденсатных месторождениях за счет применения струйных аппаратов

**В.С. Спиридонов**, доцент, канд. техн. наук<sup>1</sup>,

**М.В. Акимов**, научный сотрудник<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана.

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт энергетического машиностроения Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана.

e-mail: 6732062@mail.ru

## Ключевые слова:

загрязнение атмосферы, факельные газы, утилизация, струйные аппараты, двухфазный активный поток.

Показана актуальность защиты воздушного бассейна от загрязнения низконапорными (факельными) газами, а также возможность решения данной задачи с помощью жидкостно-газовых струйных аппаратов с активным двухфазным потоком. Приведены результаты экспериментальных исследований эжекторов с активным двухфазным потоком при массовой доле газа в активном потоке более 0,003. Отмечена значительная погрешность результатов расчета по методике, не учитывающей взаимодействие активного газа и жидкости на начальном участке камеры смешения. Показано, что использование уравнения сохранения импульса для потоков жидкости и газа на начальном участке камеры смешения позволяет учесть влияние энергии активного газа и получить удовлетворительное согласование расчета с экспериментом при массовой доле газа в активном потоке более 0,003. Полученные результаты использованы при проектировании жидкостно-газовых струйных аппаратов с активным двухфазным потоком для утилизации низконапорных (факельных) газов на нефтегазоконденсатном месторождении «Кокдумалак».

## 1. Введение в проблему

Предприятия нефтегазового комплекса относятся к крупнейшим загрязнителям атмосферы Земли. По разным оценкам [1], в атмосферу нашей планеты ежегодно выбрасывается от 40 до 90 млн т различных углеводородов. Основными компонентами этих выбросов являются легкие углеводороды метанового ряда  $C_1...C_5$  и сероводород  $H_2S$ , присутствующий в нефти в значительном количестве. При этом наибольший объем выбросов (более 20 млн т/год) приходится на метан  $CH_4$ . Углеводороды оказывают негативное воздействие на все живые организмы, а метан приводит к усилению парникового эффекта на нашей планете. Так, согласно [2], вклад  $CH_4$  в усиление парникового эффекта в настоящее время составляет

около 18% и по этому показателю он уступает только углекислому газу.

Как известно, загрязнение атмосферы происходит при добыче, транспортировании, хранении и переработке углеводородного сырья, однако наибольшая доля этих выбросов образуется в процессе извлечения нефти и конденсата из недр Земли на нефтегазоконденсатных месторождениях. Резкое падение давления в жидких углеводородах, извлекаемых из нефтеносных пластов на поверхность, ведет к их интенсивной дегазации с выделением значительного количества низконапорных газов, загрязняющих атмосферный воздух. Обычно для защиты атмосферы от загрязнения углеводородами выбрасываемые газы подвергают термическому обезвреживанию путем их сжигания

на факельных установках [3]. В процессе окисления атмосферным кислородом углеводороды трансформируются в безвредные продукты — пары  $H_2O$  и углекислый газ  $CO_2$ , а сероводород окисляется до диоксида серы  $SO_2$ , менее токсичный для окружающей среды газ по сравнению с сероводородом. Так, для диоксида серы ПДК в воздухе населенных мест составляет  $0,05 \text{ мг/м}^3$ , а для сероводорода —  $0,008 \text{ мг/м}^3$  [4].

Однако при всей своей технической простоте термический метод обезвреживания углеводородных выбросов в атмосферу имеет ряд существенных недостатков. Во-первых, сжигание на факельных установках ценного углеводородного сырья существенно снижает экономическую эффективность нефтегазодобывающих предприятий, во-вторых, образующиеся при этом продукты сгорания оказывают негативное воздействие на биосферу Земли. Так, как уже отмечалось выше, диоксид углерода является основным газом, вызывающим усиление парникового эффекта на нашей планете, а диоксид серы отрицательно воздействует на все животные и растительные организмы и приводит к возникновению кислотных дождей. По расчетам [5], увеличение годового объема выбросов диоксида серы в атмосферу до 600 млн т приведет к гибели всей растительности на Земле. В связи с этим принято решение сократить долю сжигаемых низконапорных газов до 5% за счет разработки и внедрения различных промышленных технологий их утилизации.

Одним из решений поставленной задачи может быть сжатие низконапорных газов до давления 5,8 МПа непосредственно на месторождениях и транспортировка их по газопроводам к местам использования и переработки. Существуют различные методы компримирования газов, однако в условиях нефтегазоконденсатных месторождений наибольший эффект дает применение струйных компрессоров (эжекторов), в которых сжатие газа происходит за счет энергии струи нефти или газового конденсата, извлекаемых на поверхность под пластовым давлением, превышающим давление в магистральных газопроводах. Эти устройства не требуют дополнительных источников энергии и поэтому характеризуются высокой экономичностью, не вызывают дополнительного загрязнения окружающей среды.

Так, на нефтегазоконденсатных месторождениях (НГКМ) для сжатия низконапорных (факельных) углеводородных газов с давления 0,1–1,6 МПа до давления 5,8 МПа могут применяться жидкостно-газовые струйные аппараты (ЖГСА), которые используют для сжатия газа энергию пластового давления жидкости (нефти, газового конденсата). Однако, как показали проведенные расчеты, в условиях работы ЖГСА

на НГКМ при ускорении активного потока в сопле эжектора из жидкости могут выделяться растворенные в ней углеводородные газы. В результате в камеру смешения (КС) струйного аппарата (СА) поступает высокоскоростная газожидкостная смесь с массовой долей газа до 0,05–0,1, которая и является эжектирующим (активным) потоком. Двухфазность активного потока не позволяет использовать для расчета и проектирования таких СА известные методики расчета, разработанные для ЖГСА (например, [6] и др.).

## 2. Состояние вопроса

Проведенные экспериментальные исследования ЖГСА с активным двухфазным потоком [7, 9] показали, что их рабочие характеристики отличаются от характеристик ЖГСА, в которых активным потоком является жидкость. В связи с этим представляется актуальной разработка методики расчета таких аппаратов.

В [7–9] представлены результаты экспериментальных исследований ЖГСА с активным двухфазным потоком, проведенных в широком диапазоне режимных и геометрических параметров, а в [6] предложена методика их расчета. Удовлетворительное согласование результатов эксперимента и расчета по методике, предложенной в [6], наблюдается в диапазоне  $0,1 \cdot 10^{-3} < q_{га} < 0,003$ , где  $q_{га}$  — массовая доля газа в активном двухфазном потоке.

В данной работе показано, что для расчета ЖГСА с активным двухфазным потоком при относительно большом количестве активного газа ( $q_{га} > 0,003$ ) необходимо учитывать энергию этого потока, а также получены необходимые уравнения. Полученные результаты позволили обеспечить удовлетворительное согласование расчета и эксперимента, а также использовались при проектировании ЖГСА с активным двухфазным потоком для утилизации низконапорных газов на НГКМ. На рис. 1–4 приведены экспериментальные дроссельные характеристики ЖГСА с активным двухфазным потоком, которые получены при  $q_{га} > 0,003$ . На рис. 1–4 (кривые 1, 2) так же нанесены результаты расчета по методике из [6]. На этих рисунках использованы следующие обозначения:

$\alpha$  — основной геометрический параметр СА, равный отношению площадей пассивного и активного потоков во входном сечении КС;

$\bar{l}_{кс}$  — относительная длина КС, равная отношению длины КС к минимальному диаметру сопла активного потока  $d_0$ ;

$P_{ж0}^*$ ,  $P_{г0}^*$  — полное давление активного и пассивного потоков на входе в эжектор;

$T_{\text{ж}0}^*, T_{\text{г}0}^*$  — температура торможения активного и пассивного потоков на входе в аппарат;

$q_{\text{га}}$  — массовая доля газа в активном потоке;

$K$  — коэффициент эжекции, равный отношению массовых расходов пассивного газа и жидкости;

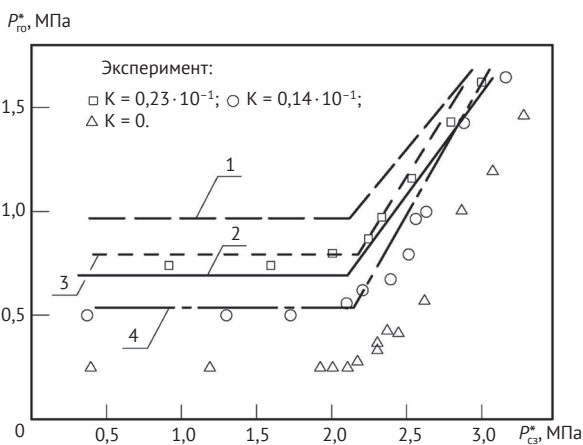
$P_{\text{с}3}^*$  — полное давление на выходе из эжектора.

Рабочие компоненты: активный поток — смесь воды и воздуха; пассивный поток — воздух. Описание экспериментальной установки и методика проведения эксперимента приведены в [6–7].

Экспериментальная дроссельная характеристика ЖГСА с активным двухфазным потоком (см. рис. 1–4) имеет два основных участка: участок критических режимов, на котором давление пассивного

газа  $P_{\text{г}0}^*$  не зависит от давления после эжектора  $P_{\text{с}3}^*$ , и участок докритических режимов, где величина  $P_{\text{г}0}^*$  зависит от  $P_{\text{с}3}^*$ . В результате подробного анализа дроссельных характеристик, проведенного в [6–8], установлено, что наиболее выгоден критический режим работы ЖГСА с активным двухфазным потоком, как и для эжекторов других типов. Кроме того, было показано, что максимальное значение коэффициента полезного действия (КПД) у ЖГСА с активным двухфазным потоком заданной геометрии реализуется в точках, близких к началу докритических режимов.

Как видно из рисунков 1–4, на критических режимах имеется значительное рассогласование ре-

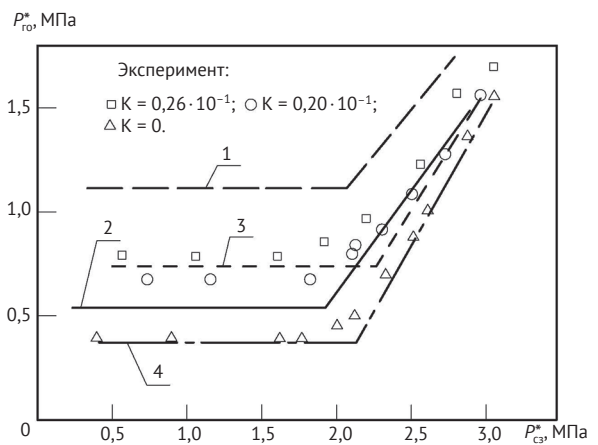


**Рис. 1.** Дроссельная характеристика ЖГСА с активным двухфазным потоком:

$\alpha = 2,078$ ,  $\bar{i}_{\text{к}с} = 35,1$ ,  $d_0 = 5,7$  мм,  $P_{\text{ж}0}^* = 5,7$  МПа,  $q_{\text{га}} = 0,13 \cdot 10^{-1}$ ,  $T_{\text{ж}0}^* = 290$  К,  $T_{\text{г}0}^* = 290$  К.

Расчет по [3]: 1 — при  $K = 0,23 \cdot 10^{-1}$ ; 2 — при  $K = 0,14 \cdot 10^{-1}$ .

Расчет по [3] с учетом (5): 3 — при  $K = 0,23 \cdot 10^{-1}$ ; 4 — при  $K = 0,14 \cdot 10^{-1}$ .

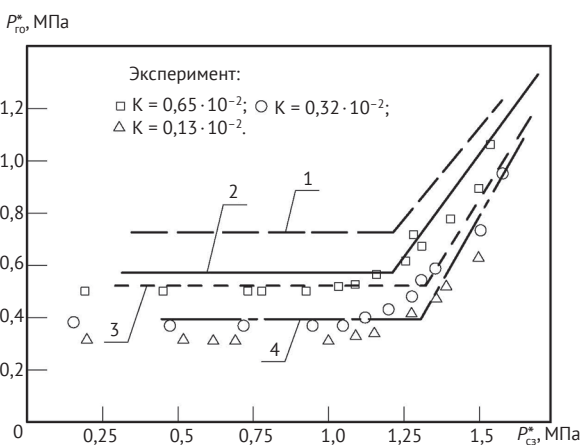


**Рис. 2.** Дроссельная характеристика ЖГСА с активным двухфазным потоком:

$\alpha = 2,078$ ,  $\bar{i}_{\text{к}с} = 35,1$ ,  $d_0 = 5,7$  мм,  $P_{\text{ж}0}^* = 5,7$  МПа,  $q_{\text{га}} = 0,46 \cdot 10^{-1}$ ,  $T_{\text{ж}0}^* = 290$  К,  $T_{\text{г}0}^* = 290$  К.

Расчет по [3]: 1 — при  $K = 0,26 \cdot 10^{-1}$ ; 2 — при  $K = 0$ .

Расчет по [3] с учетом (5): 3 — при  $K = 0,26 \cdot 10^{-1}$ ; 4 — при  $K = 0$ .

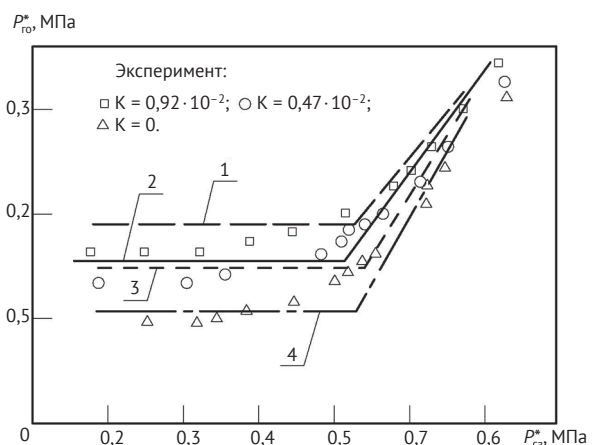


**Рис. 3.** Дроссельная характеристика ЖГСА с активным двухфазным потоком:

$\alpha = 1,195$ ,  $\bar{i}_{\text{к}с} = 28$ ,  $d_0 = 6,76$  мм,  $P_{\text{ж}0}^* = 2,5$  МПа,  $q_{\text{га}} = 0,14 \cdot 10^{-1}$ ,  $T_{\text{ж}0}^* = 290$  К,  $T_{\text{г}0}^* = 290$  К.

Расчет по [3]: 1 — при  $K = 0,65 \cdot 10^{-2}$ ; 2 — при  $K = 0,13 \cdot 10^{-2}$ .

Расчет по [3] с учетом (5): 3 — при  $K = 0,65 \cdot 10^{-2}$ ; 4 — при  $K = 0,13 \cdot 10^{-2}$ .



**Рис. 4.** Дроссельная характеристика ЖГСА с активным двухфазным потоком:

$\alpha = 6,51$ ,  $\bar{i}_{\text{к}с} = 91,8$ ,  $d_0 = 7,3$  мм,  $P_{\text{ж}0}^* = 3,0$  МПа,  $q_{\text{га}} = 0,18 \cdot 10^{-1}$ ,  $T_{\text{ж}0}^* = 290$  К,  $T_{\text{г}0}^* = 290$  К.

Расчет по [3]: 1 — при  $K = 0,92 \cdot 10^{-2}$ ; 2 — при  $K = 0,47 \cdot 10^{-2}$ .

Расчет по [3] с учетом (5): 3 — при  $K = 0,26 \cdot 10^{-1}$ ; 4 — при  $K = 0$ .

зультатов эксперимента и расчета при  $q_{га} > 0,01$ : экспериментальное значение  $P_{го}^*$  меньше расчетного, причем погрешность растет с увеличением массовой доли активного газа (при прочих равных условиях). Например, как видно из рис. 1–2 (кривые 1, 2), на критическом режиме при  $q_{га} = 0,013$  и  $K = 0,023$  экспериментальное значение  $P_{го}^*$  равно 0,7 МПа, расчетное — 0,95 МПа, а при  $q_{га} = 0,046$  и  $K = 0,026$  величина  $P_{го}^*$  равна 0,75 и 1,1 МПа, соответственно. При этом величина противодействия  $P_{св}^*$  в точках начала докритических режимов рассчитывается с удовлетворительной точностью.

Отличие результатов расчета и эксперимента при  $q_{га} > 0,01$  можно объяснить следующим. При расчете ЖГСА с активным двухфазным потоком по методике [6] используется допущение о том, что в сопле и на начальном участке КС происходит раздельное течение активного газа и жидкости, которое не сопровождается обменом энергией между потоками. В случае относительно небольшого расхода активного газа (малых значениях  $q_{га}$ ) данное допущение не вносит существенной погрешности, о чем свидетельствует удовлетворительное согласование результатов расчета с экспериментом при  $q_{га} < 0,003$  (см. [6–8]). Однако с ростом количества активного газа (увеличении  $q_{га}$ ) его энергия возрастает, что приводит к увеличению погрешности расчета.

### 3. Аналитический расчет

На рис. 5 приведена картина течения в сопле и на начальном участке камеры смешения ЖГСА с активным двухфазным потоком, которая отличается от используемой в [6] тем, что на участке (4–5) камеры смешения раздельное течение газового и жидкостного потоков сопровождается обменом энергией. Необходимо отметить, что в рассматриваемом диапазоне режимных параметров скорость активного газа в сечении (4–4) значительно больше скорости жидкости, поэтому жидкость будет ускоряться и, следовательно,  $F_{ж4} > F_{ж5}$ .

Для решения поставленной задачи запишем уравнение сохранения импульса для участка (4–5) цилиндрической КС.

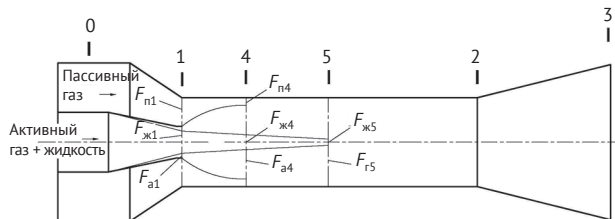


Рис. 5. Течение потоков на начальном участке камеры смешения ЖГСА с активным двухфазным потоком

дрической КС. При этом принимаем следующие допущения:

- 1) раздельное течение газа и жидкости происходит при постоянном давлении;
- 2) трение о стенки КС отсутствует;
- 3) фазовые переходы отсутствуют;
- 4) скорости активного и пассивного газов в сечении (5–5) равны.

Допущение 1 подтверждается результатами экспериментальных исследований, во время проведения которых получено распределение статического давления по длине проточной части аппарата [7]: при критических режимах работы эжектора статическое давление на начальном участке КС остается постоянным. Допущение 4 следует из результатов исследований газо-газовых эжекторов, в соответствии с которыми выравнивание скоростей смешиваемых газов происходит при длине КС не более 6–10 ее диаметров [10]. Во всех рассматриваемых случаях длина КС была больше.

С учетом допущений 1–4 уравнение сохранения импульса в проекции на ось КС может быть записано в виде:

$$G_{ж}(W_{ж5} - W_{ж4}) + G_{га}(W_{га5} - W_{га4}) + G_{гп}(W_{га5} - W_{гп4}), (1)$$

где:  $G$  — массовый расход компонента,  $W$  — скорость; индексы: «ж» — жидкость, «га» — активный газ, «гп» — откачиваемый пассивный газ.

После простых преобразований получаем выражение для расчета скорости жидкости в сечении (5–5):

$$W_{ж5} = W_{ж4} - q_{га}(W_{га5} - W_{га4}) - K(W_{га5} - W_{гп4}). (2)$$

Совместно с уравнением сохранения массы и условием постоянства проходной площади цилиндрической КС выражение (2) позволяет найти скорость жидкости  $W_{ж5}$  в сечении (5–5) при известных параметрах потоков в сечении (4–4) и заданной скорости газа в сечении (5–5).

На рис. 6 для ЖГСА с активным двухфазным потоком, основные геометрические и режимные параметры которого указаны на рис. 1 и 2, приведены результаты расчета скорости жидкости  $W_{ж5}$  в зависимости от скорости активного газа  $W_{га5}$  при различных значениях  $q_{га}$ . Из физических соображений значение скорости активного газа в сечении (5–5) лежит в диапазоне:

$$W_{ж5} \leq W_{га5} \leq W_{га4}. (3)$$

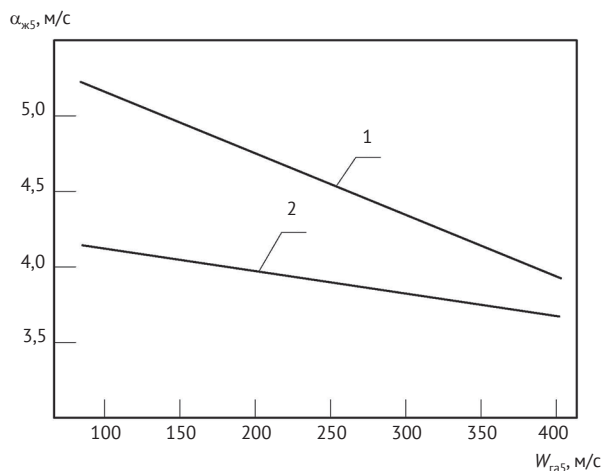
Как видно из рис. 6 (кривые 1, 2), заметное влияние энергии активного газа (величины  $q_{га}$ ) на скорость жидкости  $W_{ж5}$  в сечении (5–5) начинается при

$q_{га} > 0,003-0,05$ . В противном случае изменение этой скорости относительно мало.

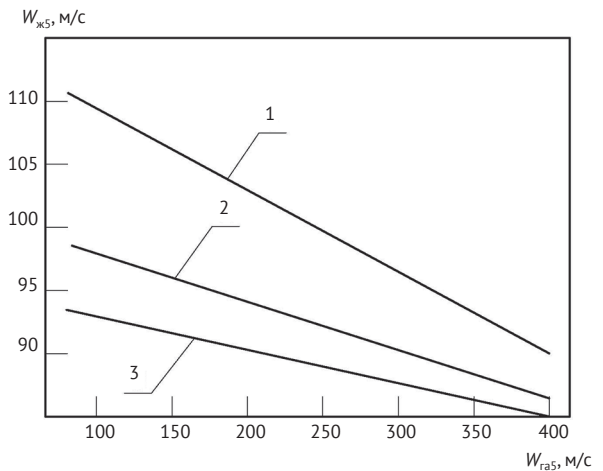
Для оценки влияния энергии активного газа были проведены расчеты некоторых промежуточных параметров ЖГСА с активным двухфазным потоком: а) давления после эжектора  $P_{сз}^*$  в точке начала докритических режимов; б) геометрического параметра жидкостной ступени эжектора  $\alpha_{ж5}$ , который равен отношению площадей, занимаемых газом и жидкостью в сечении (5-5), и является определяющим для работы жидкостно-газовой ступени аппарата [6, 7].

Результаты расчетов, проведенные для нескольких значений  $q_{га}$ , представлены на рис. 7 и 8. Как видно из этих рисунков, увеличение скорости жидкости  $W_{ж5}$  (при этом скорость  $W_{га5}$  уменьшается) приводит к небольшому росту величины  $P_{сз}^*$ , хотя при этом значение  $\alpha_{ж5}$  также растет. Таким образом, в рассматриваемом случае увеличение энергии жидкости за счет ее разгона активным газом компенсирует потери давления, вызванные ростом геометрического параметра  $\alpha_{ж5}$ .

Однако выражение (2) не позволяет определить скорость жидкости в сечении (5-5) при заданной величине  $q_{га}$ , так как в него входят два неизвестных —  $W_{ж5}$  и  $W_{га5}$ . Для определения соотношения между скоростями жидкости  $W_{ж5}$  и газа  $W_{га5}$  в сечении (5-5) поступим следующим образом: задаваясь значением скорости активного газа  $W_{га5}$ , из уравнения (2) находим скорость жидкости  $W_{ж5}$ , которую используем для расчета ЖГСА с активным двухфазным потоком по методике [6]. Как показали проведенные расчеты, в исследованном диапазоне параметров минималь-



**Рис. 7.** Основной геометрический параметр жидкостной ступени ЖГСА с активным двухфазным потоком:  
 $\alpha = 2,078$ ,  $\bar{i}_{кс} = 35,1$ ,  $d_0 = 5,7$  мм,  $P_{ж0}^* = 5,7$  МПа,  $T_{ж0}^* = 290$  К,  $T_{г0}^* = 290$  К,  $K = 0,23 \cdot 10^{-1}$ .  
1 — при  $q_{га} = 0,46 \cdot 10^{-1}$ ; 2 — при  $q_{га} = 0,33 \cdot 10^{-2}$ .



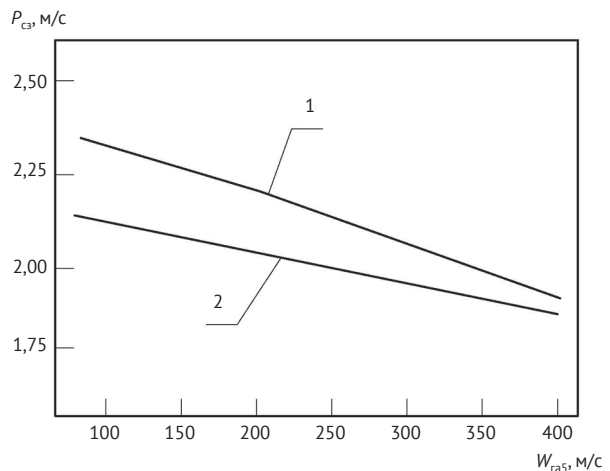
**Рис. 6.** Расчетная скорость жидкости в сечении (5-5) струйного аппарата с активным двухфазным потоком:  
 $\alpha = 2,078$ ,  $\bar{i}_{кс} = 35,1$ ,  $d_0 = 5,7$  мм,  $P_{ж0}^* = 5,7$  МПа,  $T_{ж0}^* = 290$  К,  $T_{г0}^* = 290$  К,  $K = 0,23 \cdot 10^{-1}$ .  
1 — при  $q_{га} = 0,46 \cdot 10^{-1}$ ; 2 — при  $q_{га} = 0,13 \cdot 10^{-1}$ ; 3 — при  $q_{га} = 0,33 \cdot 10^{-2}$ .

ная погрешность результатов расчета и эксперимента достигается при соблюдении следующего условия:

$$W_{ж5} = W_{га5}, \quad (4)$$

т.е. когда в сечении (5-5) газожидкостная смесь механически равновесна.

Выражения (4) и (2), с учетом условия (3), позволяют получить зависимость для расчета скорости жидкости  $W_{ж5}$  в сечении (5-5), которая учитывает взаи-



**Рис. 8.** Основной геометрический параметр жидкостной ступени ЖГСА с активным двухфазным потоком:  
 $\alpha = 2,078$ ,  $\bar{i}_{кс} = 35,1$ ,  $d_0 = 5,7$  мм,  $P_{ж0}^* = 5,7$  МПа,  $T_{ж0}^* = 290$  К,  $T_{г0}^* = 290$  К,  $K = 0,23 \cdot 10^{-1}$ .  
1 — при  $q_{га} = 0,46 \cdot 10^{-1}$ ; 2 — при  $q_{га} = 0,33 \cdot 10^{-2}$ .

модействие активного газа и жидкости на начальном участке КС:

$$W_{ж5} = \frac{W_{ж4} + q_{га} \cdot W_{га4} + K \cdot W_{га4}}{1 + q_{га} + K} \quad (5)$$

#### 4. Результаты и их обсуждение

На рис. 1, 2, 3, 4 (кривые 3, 4) нанесены результаты расчета ЖГСА с активным двухфазным потоком, проведенные по методике из [6], дополненной выражением (5). Из этих рисунков видно, что взаимодействие активного газа и жидкости на начальном участке КС приводит к снижению расчетного значения  $P_{го}^*$  на критических режимах работы и позволяет получить удовлетворительное согласование с результатами эксперимента. Таким образом, расчет ЖГСА с активным двухфазным потоком при  $q_{га} > 0,003-0,005$  необходимо проводить с учетом энергии активного газа. Погрешность результатов расчета, выполненных с использованием выражения (5), и эксперимента при  $q_{га} > 0,003$  можно объяснить более сложной картиной течения в сопле активного потока и на начальном участке КС по сравнению с рассмотренной в настоящей работе.

На основании проведенных расчетов и экспериментальных исследований разработаны ЖГСА с активным двухфазным потоком, которые были внедрены на НГКМ «Кокдумалак» (Узбекистан). Принципиаль-

ная схема подключения эжекторов на установках подготовки нефти и конденсата приведена в [6]. В качестве рабочей жидкости в струйных аппаратах использовались углеводородный конденсат и нефть. Технические характеристики некоторых ЖГСА с активным двухфазным потоком приведены в таблице.

Таблица  
Технические характеристики ЖГСА с активным двухфазным потоком, разработанных для НГКМ «Кокдумалак»

№	Рабочая жидкость	Давление активного потока, МПа	Давление сжимаемого потока, МПа	Давление на выходе, МПа
1	Конденсат	12,3	2,7	5,8
2	Конденсат	5,8	1,6	2,7
3	Конденсат	2,7	0,6	1,6

Применение в технологическом процессе подготовки газа, нефти и конденсата НГКМ «Кокдумалак» жидкостно-газовых струйных аппаратов с активным двухфазным потоком позволило утилизировать значительное количество низконапорных (факельных) газов за счет использования потенциальной энергии высоконапорных жидкостных потоков, тем самым снизив загрязнение окружающей среды за счет воздействия продуктов сгорания газов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Антропогенное загрязнение атмосферы и экосистемы Земли: уч. пособие по курсу «Биоэкология» / С.В. Белов, Г.П. Павлихин, В.С. Спиридонов. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. — 52 с.
2. Введение в экологическую химию: Учебное пособие / Ю.И. Скурлатов, Г.Г. Дука, А. Мизити. — М.: Высш.шк., 1994. — 400 с.
3. Коршак А.А., Шаммазов А.М. Основы нефтегазового дела: учебник. — Уфа: ООО ДизайнПолиграфСервис, 2001. — 544 с.
4. Рудин М.Г. Карманный справочник нефтепереработчика. — Л.: Химия, 1989. — 464 с.
5. Горелик Д.О., Конопелько Л.А. Мониторинг загрязнения атмосферы и источников выбросов. Аэроаналитические измерения. — М.: Изд-во стандартов, 1992. — 432 с.
6. Цегельский В.Г. Двухфазные струйные аппараты. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. — 408 с.
7. Акимов М.В., Цегельский В.Г. Экспериментальное исследование жидкостно-газовых струйных аппаратов с активным двухфазным потоком // Изв. вузов. Машиностроение. — 2002. — № 5. — С. 21–34.
8. Акимов М.В. Утилизация низконапорных факельных газов на предприятиях энергетического комплекса с помощью жидкостно-газовых струйных аппаратов с двухфазным активным потоком // Безопасность жизнедеятельности. — 2005. — № 11. С. 21–25.
9. Yin Hai Zhu, Wenjian Cai, Changyun Wen, Yanzhong Li. Numerical investigation of geometry parameters for design of high performance ejectors// journal Applied Thermal Engineering, May 2008.
10. Васильев Ю.Н. К теории газового эжектора // Сборник работ по исследованию сверхзвуковых газовых эжекторов. — М., 1961. — С. 48–79.

#### REFERENCES

1. Belov S.V., Pavlikhin G.P., Spiridonov V.S. Anthropogenic pollution of the atmosphere and the Earth's ecosystem: Ouch. manual for the course "Bioecology". Moscow, Publishing House of the MSTU, 2000, 52 p. (in Russian)
2. Skurlatov Y.I., Duca G.G., Miziti A. Introduction to Environmental Chemistry. Moscow, Vyssh.shk. Publ., 1994, 400 p. (in Russian)
3. Korshak A.A. Shammazov A.M. Fundamentals of the oil and gas business: a textbook. Ufa LLC «DizaynPoligrafServis» Publ., 2001, 544 p. (in Russian)



- Rudin M.G. Pocket Guide refiner. Leningrad, Chemistry Publ., 1989, 464 p.
- Gorelik D.O., Konopelko L.A. Monitoring of air pollution and emission sources. Aeroanaliticheskie measurement. Moscow, Publishing House of Standards.1992, 432 p. (in Russian)
- Tsegelsky V.G. Two-phase jet apparatus. Moscow, Publishing house of Bauman MSTU, 2003, 408 p. (in Russian)
- Akimov M.V., Tsegelsky V.G. Experimental study of the liquid-gas jet apparatus with an active two-phase flow. *Math. universities. Mashinostroenie*. [Math. universities. Mashinostroenie]. 2002, I. 5, pp. 21–34. (in Russian)
- Akimov M. Utilization of low pressure flare gases at the enterprises of the energy complex using liquid-gas jet apparatus with a two-phase flow of active safety. *Zhiznedeyatelnosti*. [Zhiznedeyatelnosti]. 2005, I. 11, pp. 21–25. (in Russian)
- Yinhai Zhu, Wenjian Cai, Changyun Wen, Yanzhong Li. Numerical investigation of geometry parameters for design of high performance ejectors. *Journal Applied Thermal Engineering*. May 2008.
- Vasiliev Y.N. On the theory of gas ejector. The collection of studies on supersonic gas ezhektorov. Moscow, 1961, pp. 48–79. (in Russian)

## Decrease of Harmful Atmospheric Emission at Oil And Gas Condensate Fields Owing to Application of Jet Devices

**V.S. Spiridonov**, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Bauman Moscow State Technical University  
**M.V. Akimov**, Researcher, Power Engineering Research Institute of the Bauman Moscow State Technical University

*Actuality of atmosphere protection from pollution by low-pressure flare gas as well as possibility of solving of this problem owing to application of liquid-gas jet devices with two-phase active flow are shown. Results of experimental investigations of ejectors with active two-phase flow at mass fraction of gas in active flow more than 0.003 are presented. Significant error of calculation results using approach which does not take into consideration interaction of active gas and liquid at mixing chamber initial zone is observed. It is shown that use of momentum conservation equation for liquid and gas flows at mixing chamber initial zone enables to take into account influence of active gas energy and to obtain satisfactory agreement of calculation and experimental data at mass fraction of gas in active flow more than 0.003. The obtained results were used for designing of liquid-gas jet devices with active two-phase flow for low-pressure flare gas utilization at Kokdumalak oil and gas condensate field.*

**Keywords:** atmosphere pollution, flare gas, utilization, jet devices, two-phase active flow.

### Установлена катастрофическая потеря атмосферой Земли кислорода

Ученые выяснили, что атмосфера Земли теряет кислород — уровень необходимого для жизни газа снизился за последние 800 тысяч лет на 0,7%. Свои выводы исследователи представили в статье, опубликованной в журнале Science.

До зарождения жизни на Земле в атмосфере нашей планеты кислород отсутствовал. После появления цианобактерий его концентрация начала расти. В течение последних нескольких сотен миллионов лет содержание газов в воздушной оболочке планеты оставалось на стабильном уровне.

Исследователи проверили уровень концентрации кислорода в атмосфере за последние несколько сотен тысяч лет, проанализировав ледяные керны — образцы льда, добытые в Гренландии и Антарктиде. В них содержатся пузырьки, которые хранят информацию о составе

воздуха в прошлом. Ученые определили соотношения изотопов кислорода и азота и выяснили, что количество необходимого для жизни газа уменьшилось почти на один процент.

Ученые дают несколько объяснений этому процессу. Во-первых, увеличение скорости эрозии почвы могло усилить окислительные процессы. Во-вторых, если не рассматривать антропогенное изменение климата, то за последние миллионы лет средняя температура гидросферы уменьшилась, в результате чего океаны оказались способны растворить в себе больше кислорода.

Можно также предположить, что загрязнение окружающей среды в результате человеческой деятельности увеличивает затраты кислорода, затрачиваемого для самоочищения природы за счет окислительных процессов.