

П. М. Клепацкий канд. техн. наук; В. Н. Фарафонов, канд. техн. наук;  
Т. Ф. Шкарупа, канд. техн. наук

### РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПОТЕРЬ СЖИЖЕННОГО УГЛЕВОДОРОДНОГО ГАЗА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ГАЗОЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ

The structure of the losses of liquefied hydrocarbon gases for car fluid station are considered. The methodology and software package of the calculation of the losses of liquefied hydrocarbon gases at working car fluid station are designed.

Основой для проведения анализа потерь сжиженных углеводородных газов (СУГ) за отчетный период времени и рационального планирования потерь СУГ на планируемый период является нормирование потерь СУГ.

Целью планирования потерь СУГ по АГЗС (автомобильная газозаправочная станция) является расчет их необходимого объема с учетом:

- оптимального режима работы АГЗС;
- выполнения нормативных удельных потерь СУГ, отнесенных к утвержденным единицам измерения выполненной работы;
- фактического технического состояния основного и вспомогательного оборудования объектов АГЗС.

Исходной информацией для планирования потерь СУГ на работу основного технологического оборудования АГЗС, выполняющего поставки СУГ потребителю являются:

- плановые объемы поставки СУГ предприятием на планируемый период времени с разбивкой по АГЗС;
- тип используемого оборудования, его технические характеристики по данным заводов-изготовителей;
- нормативные и фактические показатели технического состояния основного технологического оборудования.

В качестве оптимального режима принимается такой режим работы АГЗС, при котором потери СУГ, при выполнении объема поставок СУГ потребителям, будут минимальными.

Задача будет выполнена при работе оборудования АГЗС в номинальных, установленных заводами-изготовителями, условиях и рабочих параметрах максимально приближенных к проектным величинам.

В качестве основного базового показателя объема производства сети АГЗС предприятия принято 1000 кг реализованного СУГ.

Структура потерь СУГ объектами АГЗС состоит:

- из потерь СУГ при сливноналивных работах (заполнении резервуаров СУГ АГЗС из автомобильных цистерн; сливе СУГ из резервуаров в автомобильные цистерны и т. д.);

- потерь СУГ при техническом обслуживании (опорожнении резервуара СУГ для проведения технического освидетельствования либо ремонта, т. е. стравливания с предельно низкого уровня и давления СУГ); продувке резервуара СУГ при первичном пуске в работу либо после технического освидетельствования на свечу или иное технологическое отверстие до допустимой концентрации кислорода в газе; сливе тяжелых остатков из подземных резервуаров СУГ; ревизии, замене предохранительных клапанов АГЗС;

- потерь СУГ при ремонте (замене или чистке фильтра АГЗС; замене или ревизии запорной и предохранительной арматуры АГЗС; замене или ремонте насоса АГЗС; замене или чистке фильтра ТРК (топливораздаточная колонка); ревизии или ремонте ТРК; замене запорного шланга и т. д.);

- потерь СУГ при проверке работоспособности, освидетельствовании оборудования и КИП, в том числе при отборе проб для определения параметров газа; проверке работоспособности манометра – посадке на «ноль»; поверке на дозу ТРК; госповерке ТРК;

- иных потерь, в том числе аварийных потерь СУГ, при эксплуатации АГЗС; утечек СУГ через фланцевое, резьбовое соединения и т. д.; потерь СУГ при срабатывании клапанов (клапана перелива по жидкой фазе и предохранительного клапана (ПК) по паровой фазе).

Потери СУГ при сливноналивных работах определяются объемом сливноналивных шлангов. Для паровой фазы расчет проводится по уравнению

$$\Delta m_{п.ф} = \rho_{п.ф}(P, T) \frac{\pi d^2}{4} l_{шл} n_{шл,п.ф}, \quad (1)$$

для жидкой фазы:

$$\Delta m_{ж.ф} = \rho_{ж.ф}(P, T) \frac{\pi d^2}{4} l_{шл} n_{шл,ж.ф}, \quad (2)$$

где  $\Delta m_{п.ф}$  и  $\Delta m_{ж.ф}$  – потери СУГ при выпуске паровой и жидкой фаз из шлангов, кг/слив;  $d_{шл}$  – внутренний диаметр сливных шлангов, м;  $\rho_{п.ф}(P, T)$  и  $\rho_{ж.ф}(P, T)$  – плотности СУГ в паровой и жидкой фазах при расчетных  $P$  и  $T$ , кг/м<sup>3</sup>;  $l_{шл}$  – длина сливных шлангов, м;  $n_{шл,п.ф}$  и  $n_{шл,ж.ф}$  – число

сливных шлангов по паровой и жидкой фазам, шт.

Расчет потерь СУГ для проведения контрольных операций по определению степени опорожнения автоцистерны; степени наполнения резервуара; по проверке исправности рычажного предохранительно-сбросного клапана (РПСК); для продувки резервуаров при первичном пуске в работу или после технического освидетельствования; на срабатывание предохранительных и переливных клапанов, на продувку участков; при аварийном нарушении герметичности связан с истечением газа или жидкости через отверстия и проводился по уравнениям:

а) для паровой фазы

$$\Delta m^{п.ф} = \tau K_{п.ф} \mu_{отв}^{п.ф} F k_p \frac{p_s}{\sqrt{T}} \varepsilon^{1/k} \sqrt{1 - \varepsilon^{k-1}}, \quad (3)$$

где

$$\varepsilon = \frac{p_s}{p_a}; \quad K_{п.ф} = \sqrt{\frac{2k}{(k-1)R}}$$

б) для жидкой фазы

$$\Delta m^{ж.ф} = \mu_{отв}^{ж.ф} w \rho_{ж.ф} k_p \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_{ж.ф}}} \tau. \quad (4)$$

где  $F$  и  $w$  – площади сечения отверстия по паровой и жидкой фазам, мм<sup>2</sup>;  $\mu_{отв}^{п.ф}$  и  $\mu_{отв}^{ж.ф}$  – коэффициенты расхода по паровой и жидкой фазам;  $T$  – температура СУГ, если значение ее неизвестно, то температура принималась равной температуре окружающей среды, К;  $\tau$  – время истечения, связанное с потерей паровой или жидкой фаз СУГ, с;  $k$  – показатель адиабаты при нормальных условиях;  $R$  – удельная газовая постоянная, Дж/(кг·К);  $p_s$  – упругость паров СУГ при температуре  $T$ , МПа;  $p_a$  – атмосферное давление, МПа;  $k_p$  – степень раскрытия клапана;  $\rho_{ж.ф}$  – плотность СУГ в жидкой фазе при заданных  $p$  и  $T$ , кг/м<sup>3</sup>.

Потери СУГ при сливе тяжелых остатков из резервуара проводился по формуле

$$\Delta m_{ж} = \mu_{отв}^{ж.ф} w \rho_{ж.ф} k_p \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_{ж.ф}}} \tau_0, \quad (5)$$

где  $w$  – площадь сечения сливного вентиля, мм<sup>2</sup>;  $\mu_{отв}^{ж.ф}$  – коэффициент расхода сливного вентиля по жидкой фазе;  $\tau_0$  – время истечения СУГ при проведении слива тяжелых остатков, с;  $k_p$  – коэффициент раскрытия вентиля;  $\Delta p$  – расчетный перепад давлений резервуара и

окружающей среды, Па;  $\rho_{ж.ф}$  – плотность жидкой фазы СУГ при давлении упругости пара  $p_s$  и температуре слива  $T$ , кг/м<sup>3</sup>;  $\Delta m_{ж}$  – потери СУГ на один слив, кг.

Потери СУГ при замене или чистке фильтров АГЗС определялись объемом освобожденного участка:

$$\Delta m_{ж} = V \rho_{ж.ф}(p, T) n_1, \quad (6)$$

где  $V$  – объем освобожденного от СУГ участка при замене или очистке фильтра, м<sup>3</sup>;  $n_1$  – число замен или чисток фильтра, шт.;  $p_m$  – давление СУГ в освобождаемом участке, если значение неизвестно, то принять его равным  $p_s$ , МПа;  $T$  – температура СУГ в освобождаемом участке, если значение неизвестно, то принять его равным температуре окружающей среды, К;  $\rho_{ж.ф}$  – плотность жидкой фазы при заданных  $p$  и  $T$ , кг/м<sup>3</sup>;

Потери СУГ на продувку резервуара  $\Delta m_{пр}$ , кг, вычислялись с помощью выражения

$$\Delta m_{пр} = (k_{пр} - 1) V_p \rho_{п.ф}, \quad (7)$$

где  $k_{пр}$  – коэффициент, учитывающий качество продувки;  $\rho_{п.ф}$  – плотность паровой фазы при давлении продувки  $p$ , если значение  $p$  неизвестно, то  $p = p_s$ , МПа, и температуре газа  $T$ , если значение  $T$  неизвестно, то температура газа принималась равной температуре окружающей среды, кг/м<sup>3</sup>;  $V_p$  – геометрический объем продуваемого резервуара, м<sup>3</sup>.

Потери СУГ вследствие негерметичности резервуара за отчетный период рассчитывались по формуле

$$\Delta m_{рез} = \frac{p \Delta P V \mu}{RT} \tau n, \quad (8)$$

где  $p$  – давление СУГ в резервуаре, если значение неизвестно, то принять его равным  $p_s$ , МПа.

Значение  $\Delta P$  – степень герметичности – определяется результатами испытаний резервуара на герметичность:

$$\Delta P = \frac{\Delta p_m}{\tau_{исп}}, \quad (9)$$

где  $\tau$  – время эксплуатации резервуаров, ч;  $p_{исп}$  – манометрическое испытательное давление, МПа.

Величина падения давления в ходе испытаний принималась равной  $\Delta p_m$  – абсолютной погрешности манометра:

$$\Delta p_m = \frac{k p_{max}}{100}, \quad (10)$$

где  $k$  – класс точности манометра;  $p_{max}$  – показание манометра, МПа.

Общие потери СУГ за отчетный период работы АГЗС определялись суммированием следующих потерь:

$\Delta m_{\text{сливн}}$  – потери СУГ при проведении сливноналивных работ;

$\Delta m_{\text{нап,рез}}$  – потери СУГ при проведении контрольных операций по определению степени наполнения резервуаров;

$\Delta m_{\text{т.о}}$  – потери СУГ при сливе тяжелых остатков из резервуаров;

$\Delta m_{\text{ф}}$  – потери при проверке и смене фильтров;

$\Delta m_{\text{о.р}}$  – потери СУГ при опорожнении резервуаров;

$\Delta m_{\text{п.р}}$  – потери СУГ при продувке резервуара;

$\Delta m_{\text{ПК}}$  – потери СУГ при ревизии и замене ПК;

$\Delta m_{\text{РПСК}}$  – потери паровой фазы СУГ при проведении проверок РПСК;

$\Delta m_{\text{м}}$  – потери СУГ при проверке работоспособности манометров или их замене;

$\Delta m_{\text{ТРК}}$  – потери СУГ при проверке на дозу ТРК;

$\Delta m_{\text{г.ТРК}}$  – потери СУГ на госповерку ТРК;

$\Delta m_{\text{о.п}}$  – потери СУГ на отбор проб для определения параметров газа;

$\Delta m_{\text{с.ПК}}$  – потери СУГ при срабатывании ПК;

$\Delta m_{\text{с.пер.к}}$  – потери СУГ на срабатывание переливных клапанов;

$\Delta m_{\text{о.в}}$  – потери СУГ на опорожнение аварийных участков;

$\Delta m_{\text{пр.в}}$  – потери СУГ при продувке участков;

$\Delta m_{\text{рез}}$  – потери СУГ вследствие негерметичности резервуаров;

$\Delta m_{\text{а}}$  – потери СУГ при авариях.

Плотности СУГ в жидкой фазе были описаны аналитическими функциями от состава и температуры. Эти зависимости получены для трех марок СУГ. Они использовались для расчетов значений плотности СУГ в жидкой фазе.

Плотности СУГ в паровой фазе при заданных  $p$  и  $T$  рассчитывались по формуле

$$\rho_{\text{п.ф}} = (w_1 \rho_{01} + w_2 \rho_{02}) \frac{p}{p_0} \frac{T_0}{T}, \text{ кг/м}^3, \quad (11)$$

где  $p_0$  и  $p$  – нормальное и абсолютное давления СУГ, МПа;  $T_0$  и  $T$  – нормальная и абсолютная температуры СУГ, К;  $w_1$  и  $\rho_{01}$  – массовая доля и плотность при нормальных условиях пропана,  $w_2$  и  $\rho_{02}$  – бутана.

На основе приведенной методики создан пакет программ, позволяющих рассчитывать потери СУГ по всем статьям потерь, и проведены расчеты потерь СУГ для одной из АГЗС. Разработанная методика расчета потерь СУГ при эксплуатации АГЗС, принята в качестве стандарта предприятия ИП «Лукойл – Белоруссия».