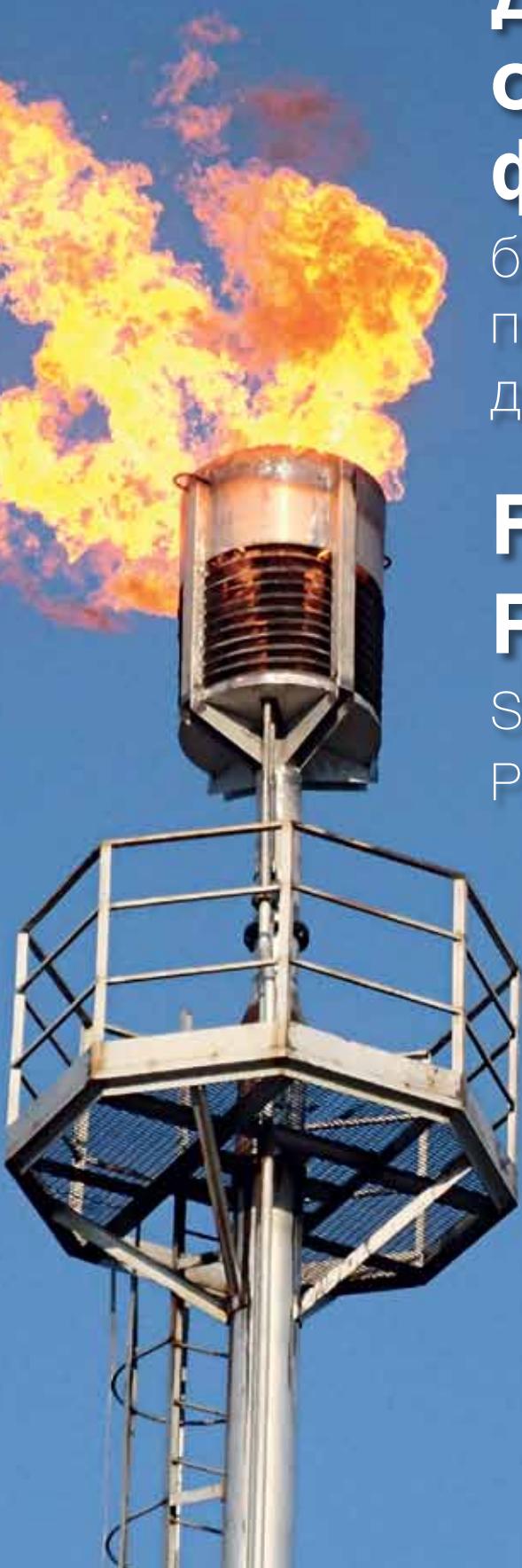


# Расчет диаметра оголовка факела:

бессажевое горение  
при падающей  
добыче ПНГ

## Flare Tip Right-Sizing:

Soot-Free Flaring as APG  
Production Declines



В ООО «ТНК-Уват» разработан метод, позволяющий в условиях падающей добычи нефти – а значит, и попутного нефтяного газа (ПНГ) – достичь бессажевого сжигания ПНГ на факелах. Это позволило сократить массу вредных выбросов и снизить платежи за негативное воздействие на окружающую среду. Проект стал победителем Премии Председателя Совета директоров ТНК-ВР за достижения в области ОТ, ПБ и ООС по итогам 2012 года.

Использовать весь объем ПНГ, добываемого на Верх-Тарском и Кальчинском месторождениях ООО «ТНК-Уват», не представляется возможным в экономический расчет по определению возможных вариантов утилизации ПНГ на этих месторождениях, проведенный в 2010-2012 годах, показал, что в настоящее время соответствующие технологии с положительной экономической эффективностью отсутствуют. Поэтому в сложившихся экономических и правовых условиях принят вариант модернизации факельных установок и оптимизированного сжигания ПНГ.

Если при горении попутного газа выделяется сажа, это свидетельствует о существенном недожоге углеводородов, что подтверждено

расчетами по утвержденной методике и согласовано Росприроднадзором в проекте нормативов предельно допустимых выбросов. Установлено, что причиной сажевого горения является несоответствие диаметров сопел действующих факельных установок фактическим объемам сжигания ПНГ. Сопла были рассчитаны на большие объемы газа, однако падение добычи на месторождениях приводит к снижению скорости истечения газа из сопла факела – а для режима горения это критично. При скорости истечения газа менее 0,2 от скорости звука горение переходит в сажевый режим, выбросы оксида углерода увеличиваются в 12,5 раз, бензопирена в четыре раза, сажи на 100%.

Таким образом, сжигание ПНГ на факелах в существующем режиме горения приводит к большому количеству выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и, соответственно, большим платежам за негативное воздействие на окружающую среду.

Для снижения массы выбросов загрязняющих веществ и уменьшения размера платы за загрязнение атмосферного воздуха выбросами от сжигания ПНГ в ООО «ТНК-Уват» было принято решение

TNK-Uvat has devised a methodology to achieve soot-free flaring of associated petroleum gas (APG) as its production declines. This has significantly reduced harmful atmospheric pollution and slashed the charges payable for APG flaring. The project won the TNK-BP Chairman's Award for HSE 2012.

The entire amount of APG produced at the Verkh-Tarskoye and Kalchinskoye fields of TNK-Uvat cannot be put to good use for economic and logistical reasons. Feasibility estimates completed in 2010-2011 to identify potential alternatives to APG utilization at those fields have shown the absence, at this point in time, of appropriate technologies that would be economically viable. Therefore, given the prevailing economic and legal environment, the APG flaring option has been selected.

If soot is discharged when flaring associated gas, it points to substantially incomplete combustion of hydrocarbons, as borne out by statutory estimates of maximum permitted emissions. The sooty combustion mode has been found to result from an inconsistency between the existing flare tip diameters and the actual amount of APG flaring. Originally, the flare tips had

been sized for a large volume of gas; however, as field production declines, the velocity of gas leaving the flare tip decreases,

critically affecting the combustion mode. At gas velocities of less than 0.2 Mach, the sooty combustion mode kicks in, discharge increases by a factor of 12.5, benzopyrene discharge quadruples, and soot emission rises 100 percent.

Therefore, APG flaring in the prevailing combustion mode results in an excessive discharge of atmospheric pollutants and, consequently, in greater charges payable for adverse environmental impact.

In order to reduce pollutant emissions and slash the APG flaring charges, TNK-Uvat resolved to upgrade the flare systems in the Verkh-Tarskoye and Kalchinskoye fields. The project called for replacing flare tip at existing flare units to achieve soot-free APG combustion across a broad flow range.

### New Approach to an Old Problem

To begin with, the type and parameters of new flare tips have been identified in order to achieve soot-free APG flaring across a broad flow range using existing flares.

To enable development of the required technical concepts, the Environmental Section of TNK-Uvat relied

modernize flame systems at the Verkh-Tarskoye and Kalychevskoye fields. The project involved reconstruction of flame tips for existing flame systems to achieve a soot-free combustion mode of natural gas at a wide range of flow rates.

### Новый подход к застаревшей проблеме

Для начала были определены тип и параметры новых фланцевых головок, которые позволили бы получить бессажевый режим горения ПНГ в широком диапазоне расходов на существующих фланцевых установках. Для подготовки необходимых технических решений специалисты отдела охраны окружающей среды ООО «ТНК-Уват» по итогам учета сжигания ПНГ и расчетов количества выбросов, их параметров и условий провели анализ и моделирование режимов горения действующих факелов.

Исследования показали, что основным параметром, обеспечивающим бессажевый режим горения, является высокая скорость истечения ПНГ: чем выше скорость (в диапазоне от 0,2 от скорости звука до 120 м/с), тем меньше выбросов выделяется при сгорании ПНГ на факеле. А самым малозатратным способом увеличения скорости истечения является уменьшение диаметрального сечения факельного оголовка.

В случае падающих объемов сжигания ПНГ подбор выполняется проведением расчетов:

- » по достижению верхнего предела «бессажевого» режима (120 м/с);
- » по определению временного диапазона «бессажевого» режима – до нижнего предела (скорость истечения ПНГ – 0,2 от скорости распространения звука в данном газе).

В случае, если объемы сжигания ПНГ растут, подбор выполняется проведением расчетов:

- » по достижению нижнего предела «бессажевого» режима (0,2 от скорости звука);
- » по определению временного обеспечения «бессажевого режима» – до верхнего предела.

### Позитивный эффект

На Верх-Тарском месторождении оголовки факелов прямоточного типа диаметрами 0,3 м и 0,2 м в феврале 2012 года были заменены на струйные, площадь сечений которых эквивалентна диаметральным сечениям 0,102 м и 0,035 м. На Кальчинском месторождении совмещенный оголовок с наружным и внутренним диаметрами 0,2 м и 0,1 м заменен в конце декабря 2012 года на струйный с эквивалентными диаметрами 0,085 м и 0,025 м соответственно.



Факел высокого давления ЦПС Верх-Тарского нефтяного месторождения до модернизации. Горение с выделением сажи.

A high-pressure flare at the Verkh-Tarskoye CPF prior to the upgrade. Flaring produces soot.

on APG flaring records, as well as quantitative pollution measurements in terms of compliance with maximum permitted discharge levels, to painstakingly analyze the combustion mode of existing flares.

According to this research, high-velocity APG flow is the key parameter to ensure soot-free combustion mode. The higher the gas velocity (between 0.2 Mach to 120 m/sec), the less soot is generated by APG flaring. The most affordable method to increase the exit velocity calls for flare tip diameter downsizing.

In case of a decline in APG flaring volumes, flare tip sizing relies on the following calculations:

- » upper bound velocity for the soot-free mode (120 m/sec)
- » temporal range of the soot-free mode, down to the lower bound

In case of an increase in APG flaring volumes, flare tip sizing relies on the following calculations:

- » lower bound velocity for the soot-free mode (0.2 Mach)
- » temporary support for the soot-free mode, up to the upper bound

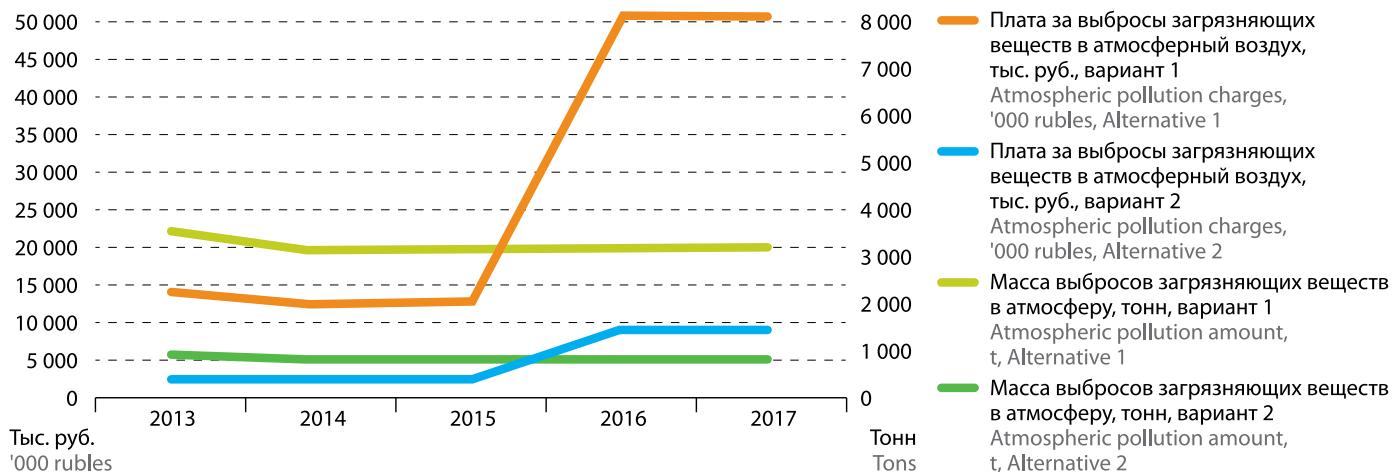
### Benefits

At the Verkh-Tarskoye field, the flare tips were replaced in February 2012, whereas Kalchinskoye flare tips were replaced in late December 2012.

Project implementation costs at the Verkh-Tarskoye field add up to 1.4 million rubles. As a result, over two quarters of 2012, pollutant emissions dropped by 8,300 t (-57.8 percent), and environmental pollution charges decreased by 36.3 million rubles (-60.7 percent).

Затраты на реализацию проекта на Верх-Тарском месторождении составили 1,4 млн рублей. В результате выбросы загрязняющих веществ за два квартала 2012 года сократились на 8,3 тыс. т (-57,8%), размер платежей уменьшился на 36,3 млн рублей (-60,7%).

Given that the project implementation costs at the Kalchinskoye field are budgeted at 4 million rubles, the expectation is for harmful pollution from the existing flares to decline by 11,600 t (-73.5 percent) over 2013-2017, to produce 114.6 million rubles in savings (disregarding perspective changes in environmental laws) (Fig. 1).



Показатель Indicator	2013	2014	2015	2016	2017	Всего 2013-2017 Total, 2013-2017
Сжигание ПНГ на факелях, млн м <sup>3</sup> APG flaring, mmcm	12.83	11.51	11.51	11.51	11.51	58.57
<b>Вариант 1. Без изменения факельных оголовков (горение с выделением сажи)</b> APG flaring, mmcm						
Масса выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, тонн Atmospheric pollution amount, t	3 486.72	3 079.14	3 079.14	3 079.14	3 079.14	15 785.26
<b>Плата за выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, тыс. руб. Atmospheric pollution charges, '000 rubles</b>						
Вариант 2. С модернизированными факельными оголовками (бездымное горение) Alternative 2. Upgraded flare tips (soot-free combustion)	14 139.95	12 533.21	12 533.21	50 166.79	50 166.79	139 539.96
Масса выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, тонн Atmospheric pollution amount, t	911.46	817.8	817.8	817.8	817.8	4 182.67
Плата за выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, тыс. руб. Atmospheric pollution charges, '000 rubles	2 524.68	2 241.37	2 241.37	8 957.27	8 957.27	24 921.96

**Рис. 1** Расчет платы за негативное воздействие на окружающую среду от сжигания ПНГ на Кальчинском месторождении

**Fig. 1** Calculation of charges payable for adverse environmental impact of APG flaring at the Kalchinskoye field

При фактических затратах на реализацию проекта на Кальчинском месторождении в размере 4 млн рублей ожидается, что в 2013-2017 годах вредные выбросы на существующих факелях снизятся на 11,6 тыс. т (-73,5%), экономия составит около 114,6 млн рублей (без учета перспектив изменения природоохранного законодательства) (Рис. 1).

### Replication Opportunities

In fact, the experience of TNK-Uvat is applicable to any oil and gas producing enterprises facing a lack of gas infrastructure, such as gas processing plants, or gas transportation systems (in-field or trunk pipelines), stricter environmental legislation, and greater charges for harmful emissions associated with APG flaring.



Факела ЦПС и УПСВ Верх-Тарского нефтяного месторождения после модернизации. Бессажевое горение.

Flares at Verkh-Tarskoye CPF and free water knockout station after the upgrade. Soot-free combustion.

### Возможности тиражирования

Отметим, что метод, разработанный и подтвержденный опытным путем в ООО «ТНК-Уват», является простым, малозатратным, экономически эффективным. Он применим для любых нефтегазодобывающих предприятий в условиях отсутствия инфраструктуры газовых производств – в частности, газоперерабатывающих заводов, систем транспорта газа (промышленных и магистральных газопроводов), и чрезвычайно актуален в условиях ужесточения природоохранного законодательства и увеличения платы за вредные выбросы при сжигании ПНГ.

ООО «ТНК-Уват» уже использует полученную методику при проектировании факельных систем центральных пунктов сбора (ЦПС) Усть-Тегусского (III очередь) и Тымкинского (I очередь) месторождений.

TNK-Uvat has already put the resultant methodology to good use in designing Central Processing Facility (CPF) flare systems for the Ust-Tegusskoye field (Train III) and the Tyamkinskoye field (Train I). In addition, recently, the project was successfully adapted for use at the Kamennoye field of TNK-Nyagan. Following

“ Реконструкция факельных систем позволила сократить выбросы на 57% The flaring system reconstruction allowed us to reduce pollutant emissions by 57 percent ”

its implementation, the field also achieved soot-free combustion mode against the backdrop of declining oil production and a gas turbine power plant recently put on stream.

*Спасибо компании TNK-BP и журналу «Новатор» за предоставление материалов.*

*Published with thanks to TNK-BP and Innovator Magazine*

Оптимизация процессов.  
Повышение производительности.

# МАКСИМАЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ.

На всех этапах эксплуатации  
месторождения.

Компания FMC Technologies предоставляет полный спектр услуг, позволяющих оптимизировать разработку подводных месторождений на всех этапах эксплуатации. Наши технологии поддержания пластового давления и промыслового мониторинга повышают добычу, а технологические системы подводной комплексной подготовки добываемого продукта и сервисные услуги при проведении внутристекажинных работ увеличивают извлекаемость запасов даже из самых сложных пластов подводных месторождений. Где бы ни находилось месторождение, какой бы сложной ни была задача, мы всегда будем рядом на всех этапах эксплуатации месторождения.

Авторское право © FMC Technologies, Inc. Все права защищены.

[www.fmctechnologies.com](http://www.fmctechnologies.com)

**FMC** Technologies



С нами Вы—лидер!  
Всегда и во всем.