

Прогнозирование суммарных объемов факельного сжигания попутного газа на нефтедобывающей территории

DOI 10.24411/2076-6785-2019-10021

Г.А. Кочергинк.т.н., руководитель центра космических услуг¹
Kocheringa@urjit.ru**М.А. Куприянов**магистр, главный специалист центра космических услуг¹
Kupriyanovma@urjit.ru**Ю.М. Полищук**д.ф.-м.н., главный научный сотрудник центра космических услуг^{1,2}
yupolishchuk@gmail.com¹АУ «Югорский НИИ информационных технологий», Ханты-Мансийск, Россия²Институт химии нефти СО РАН, Томск, Россия

Проведен анализ временного ряда квартальных объемов факельного сжигания попутного нефтяного газа (далее — ПНГ) на территории Ханты-Мансийского автономного округа (далее — ХМАО) за период 2012–2016 гг. Установлено, что тренд снижения объемов сжигаемого газа за указанный период описывается экспоненциальным уравнением. Показано, что наряду с экспоненциальным трендом наблюдаются циклические сезонные вариации объема сжигаемого газа. Предложена модель прогноза объема сжигаемого газа в виде суммы двух слагаемых, первое из которых представлено уравнением экспоненциального тренда, а второе слагаемое предназначено для учета сезонных колебаний объемов сжигания газа. Приведен пример прогноза объемов сжигания ПНГ на период 2017–2020 гг. для территории ХМАО.

Материалы и методы

Материалы отчетов Департамента недропользования и природных ресурсов ХМАО, данные об объемах нефтедобычи в ХМАО. Для выполнения исследования был использован метод анализа временных рядов, позволивший разработать модель прогноза динамики объемов сжигаемого газа на нефтедобывающей территории.

Ключевые слова

парниковый эффект, попутный нефтяной газ, прогноз объемов сжигания газа, факельные установки, факельное сжигание газа на месторождениях, нефтедобывающие регионы

Введение

В связи с очевидными опасностями продолжающегося глобального потепления климата Парижский климатический саммит (2015 г.) принял рекомендацию государствам мира разработать мероприятия по ослаблению парникового эффекта с целью не допустить повышения среднегодовой температуры на Земле к середине нынешнего столетия более чем на 2°C. Известно, что при сжигании попутного нефтяного газа (ПНГ) в атмосферу нефтедобывающих регионов России выбрасываются большие объемы экологически опасных продуктов сгорания (сажа, оксиды азота, ароматические углеводороды, тяжелые металлы) и углекислого газа, который вносит значительный вклад в парниковый эффект.

По приблизительным оценкам экспертов [1], из ежегодно добываемых в России ПНГ 60 млрд м³ до трети этого объема сжигается в факельных установках на месторождениях, при этом при сжигании 400 м³ газа, в среднем, выделяется в атмосферу около одной тонны CO₂. Поэтому для разработки мероприятий по снижению выбросов углекислого газа в результате факельного сжигания ПНГ на ближайшие годы необходимо иметь достаточно надежные прогнозные оценки суммарных объемов сжигаемого газа в факельных установках на месторождениях на территориях нефтедобывающих регионов. Это вызвало необходимость разработки нового подхода к прогнозированию суммарных объемов факельного сжигания ПНГ путем создания математической модели динамики объемов сожженного газа на основе анализа временных рядов. Это и определило цель данной работы как разработку модели прогноза суммарного объема сжигания газа в нефтедобывающем регионе на примере территории ХМАО.

Данные и методы

В качестве данных о реальных объемах сжигаемого ПНГ были использованы материалы отчетов Департамента недропользования и природных ресурсов ХМАО, размещаемых на официальном сайте [2], содержащих ежеквартальные статистические данные о суммарных объемах сжигаемого ПНГ на всей территории автономного округа. Данные об объемах нефтедобычи в ХМАО были получены с сайта Научно-аналитического центра недропользования им. В. Шпильмана, г. Ханты-Мансийск [3].

Графики временных рядов объемов добываемой нефти и сжигаемого газа в ХМАО, приведены на рис. 1. На графике видно, что показатели проявляют заметную циклическую в годовом ходе. Относительные максимумы годовых ходов приходятся на теплые периоды каждого года (2 и 3 квартал), а относительные минимумы — на холодные (1 и 4 квартал). Такая периодичность в изменении объема сжигаемого газа может быть обусловлена годовой циклическостью добычи нефти.

Графики на рис. 1 позволяют сделать вывод о согласованности (коррелированности) изменений объемов сжигания газа и добываемой нефти в регионе. В связи с этим представляет интерес проведение исследования взаимосвязи между объемом сжигаемого газа и объемом нефтедобычи в рассматриваемом регионе, для этого в нашей работе используется метод линейного регрессионного анализа. Для проведения исследований в качестве обучающей выборки использовались данные о квартальных объемах сожженного газа и добываемой нефти за период с 1-го квартала 2012 г. по 4-й квартал 2015 г. (включительно). На рис. 2 представлен

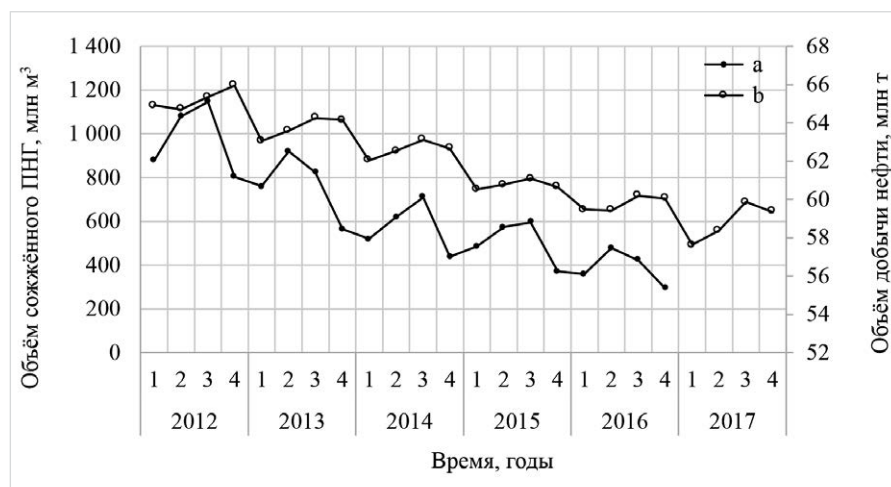


Рис. 1 — Временной ход квартальных объемов сожженного ПНГ и добычи нефти. Номера кварталов указаны внутри каждого года, а — объем сожженного ПНГ, млн м³; б — объем добычи нефти, млн т

Fig. 1 — The time course of quarterly volumes of burnt APG and oil production. Quarter numbers are indicated within each year, a — volume of APG burned, mln m³; b — volume of oil production, mln t

график зависимости объема сожженного ПНГ от объема нефтедобычи. Точками на графике показаны значения величины объема газа, сожженного в соответствующем квартале, и объемов добытой нефти в том же квартале.

Как видно из рис. 2, изменения объемов сожженного ПНГ и объемов нефтедобычи за период исследования демонстрируют наличие взаимосвязи с достаточно высоким уровнем коэффициента детерминации, что является подтверждением указанной выше согласованности в изменениях анализируемых временных рядов. Следовательно, можно принять, что сезонные (внутригодовые) изменения объемов сжигания вызваны сезонной цикличностью добычи нефти в суровых сибирских условиях, обусловленной ее снижением в холодный и ростом в теплый период. Для построения модели динамики объемов сжигания ПНГ далее проведем анализ временного ряда этих значений.

Анализ временного ряда квартальных объемов газа за период 2012–2015 гг. (рис. 3) показал, что с коэффициентом детерминации более 0,7 значения временного ряда допускают аппроксимацию экспоненциальной функцией, вид которой представлен в поле графика (рис. 3). Из графика временного хода также видно, что на график экспоненциального тренда (пунктирная линия на рис. 3) накладываются случайные осцилляции с характерной годовой периодичностью. Установленные на основе анализа временного ряда квартальных объемов сжигаемого газа могут быть методической основой для разработки математической модели прогноза суммарных объемов сжигания газа на территории нефтедобычи.

Построение модели прогноза объемов сжигания газа

В соответствии с выше изложенным модель прогноза может быть определена в виде двух слагаемых, первое из которых представляет экспоненциальную функцию, показанную графически (пунктирная линия) на рис. 3, а второе слагаемое, предназначенное для учета указанных сезонных отклонений, определяется как среднее из внутригодовых отклонений, полученных из эмпирических данных об объемах сжигания за время наблюдений. Исходя из этой идеи модель прогноза объемов сжигаемого ПНГ может быть представлена в виде:

$$V_{п} = (ae^{bt}) \times (1 + \Delta_q) \quad (1),$$

где $V_{п}$ — прогнозный объем сожженного ПНГ, млн м³;

q — порядковый номер квартала (в пределах каждого года);

Δ_q — безразмерная величина, полученная усреднением (за исторический период) средних квартальных значений отклонений объемов сожженного ПНГ от их среднегодовых значений, вычисленных за каждый год;

a, b — безразмерные коэффициенты уравнения, равные $3E+202$ и $-0,228$ соответственно;

t — время, выраженное в виде последовательного ряда чисел, в котором целая часть числа обозначает год, а дробная — квартал, а именно: 2012,00 — 1-й квартал 2012 года; 2012,25 — 2-й квартал 2012 года; 2012,5 — 3-й квартал 2012 года; 2012,75 — 4-й квартал 2012 года.

Коэффициенты a и b в уравнении (1) были определены по фактическим объемам сожженного ПНГ за период с 1-го квартала 2012 г. по 4-й квартал 2015 г. (далее исторический период). Величина Δ_q рассчитывалась по формуле:

$$\Delta_q = \frac{1}{N} \sum_{i=2012}^{2015} \sum_{q=1}^4 \frac{V_{iq} - \bar{V}_{iq}}{\bar{V}_{iq}},$$

где N — общее количество кварталов в историческом периоде;

V_{iq} — фактический объем сожженного ПНГ в q -ом квартале i -го года, млн м³;

\bar{V}_{iq} — средний фактический объем сожженного ПНГ в q -ом квартале i -го года, млн м³, рассчитываемый по формуле:

$$\bar{V}_{iq} = \frac{1}{4} \sum_{q=1}^4 V_{iq}.$$

Проверка адекватности модели

Для проверки адекватности предлагаемой прогнозной модели в таб. 1 приведены результаты расчета оценки погрешности прогноза путем сравнения рассчитанных прогнозных значений $V_{пiq}$ с фактическими данными за контрольный период с 1-го по 4-й квартал 2016 г. (рис. 3).

Оценка погрешности проводилась по формуле:

$$\delta_m = \frac{1}{n} \sum_{q=1}^4 \left| \frac{V_{пiq} - V_{iq}}{V_{iq}} \right|,$$

где δ_m — средняя относительная погрешность прогноза;

$V_{пiq}$ — прогнозный объем сожженного ПНГ в q -ом квартале i -го года, млн м³;

n — количество кварталов в контрольном периоде.

Результаты расчета прогнозных объемов сожженного газа по формуле (1) для контрольного периода 2016 г., представленные в таб. 1, показывают, что средняя относительная погрешность прогноза δ_m составляет 6%. Такую погрешность в условиях отсутствия данных об ожидаемых в ближайшие годы объемах сжигания ПНГ

Год	Квартал	V_{iq} , млн м ³	$V_{пiq}$, млн м ³
2016	1	360,00	388,27
2016	2	479,00	450,34
2016	3	422,00	424,97
2016	4	294,00	266,50

Таб. 1 — Оценки погрешности прогноза объема сжигания газа

Tab. 1 — Estimates of the uncertainty of the forecast gas flaring volume

Годы	Кварталы	Прогнозные значения, млн м ³
2017	1	309,025
	2	358,432
	3	338,241
	4	212,113
2018	1	245,957
	2	285,280
	3	269,210
	4	168,823
2019	1	195,759
	2	227,057
	3	214,267
	4	134,368
2020	1	155,807
	2	180,717
	3	170,537
	4	106,945

Таб. 2 — Результаты прогнозирования объемов сжигания попутного газа в ХМАО
Tab. 2 — Results of forecasting the volume of gas flaring in KhMAA

в нефтедобывающих регионах можно считать практически приемлемой. Для визуализации сопоставления прогнозных и контрольных данных на рис. 3 (период В) прогнозные оценки объемов газа показаны крестиками.

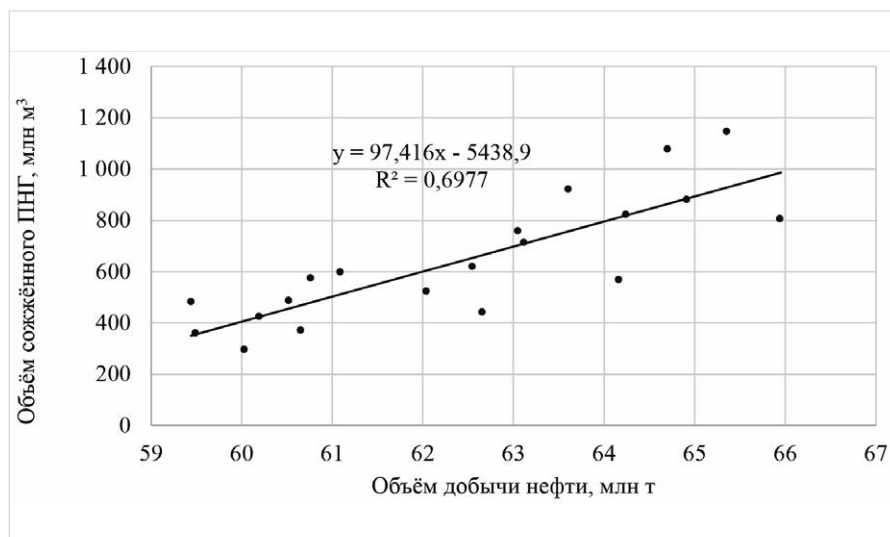


Рис. 2 — Взаимосвязь объемов сожженного ПНГ и объемов нефтедобычи (по данным о квартальных объемах за период 2012–2016 гг.)

Fig. 2 — Interrelation of volumes of burnt APG and volumes of oil production (according to data on quarterly volumes for the period 2012–2016)

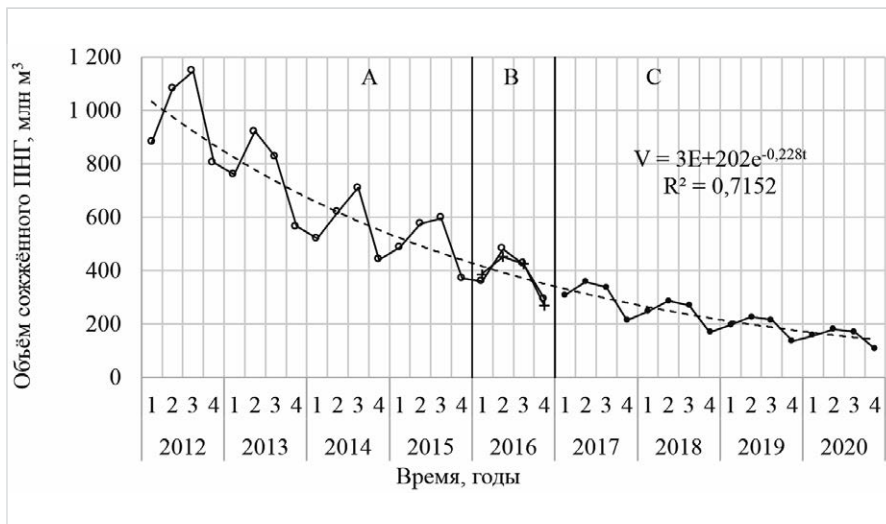


Рис. 3 — Квартальная динамика фактических и прогнозных объемов сожженного ПНГ. Обозначено: А — исторический период, В — контрольный период, С — прогнозный период. Номера кварталов на графике указаны для каждого года

Fig. 3 — Quarterly dynamics of actual and forecast volumes of burned APG. Denoted by: A — the historical period, B — the control period, C — the forecast period. Quarter numbers on the chart are for each year

Пример практического использования модели прогноза

Для иллюстрации практического использования разработанной модели в таб. 2 приведены прогнозные оценки квартальных объемов сжигания газа на период до 2020 гг. на территории ХМАО, рассчитанные по формуле (1). Данные таб. 2 представлены на графике (рис. 3) черными точками (прогнозный период на рис. 3). Графическое сопоставление прогнозируемых объемов сжигания газа, рассчитанных для прогнозного периода, с фактическими объемами в исторический период (рис. 3) приводит к выводу, что характер прогнозного временного ряда на качественном уровне вполне соответствует характерным особенностям временного ряда реальных суммарных объемов сжигания ПНГ на территории нефтедобывающего региона.

Полученная в контрольный период величина ошибки прогноза показывает, что уравнение (1) может быть использовано для прогнозирования суммарного объема сжигания газа в факелах на нефтяных месторождениях.

Итоги

На основе анализа временного ряда квартальных объемов факельного сжигания попутного нефтяного газа на территории ХМАО за 5-летний период установлены экспоненциальный тренд снижения объемов сжигаемого газа и циклические сезонные колебания объема сжигаемого газа, которые накладываются на линию экспоненциального тренда. На основе обнаруженных закономерностей динамики сжигания газа предложена модель прогноза объема сжигаемого газа в виде суммы двух слагаемых, первое из которых

представлено уравнением экспоненциального тренда, а второе слагаемое учитывает сезонные колебания объемов сжигания газа. Параметры модели определялись по данным об объемах сжигаемого газа в период с 2012 по 2015 гг. Для проверки адекватности модели прогноза проведено сравнение с экспериментальными (официальными) данными об объемах сожженного попутного газа на территории ХМАО. С использованием контрольной выборки данных о суммарных объемах сожженного газа в 4-х сезонах 2016 г. установлено, что погрешность прогноза не превышает 6%. Это может служить подтверждением практической приемлемости предложенного метода прогнозирования объемов сжигания попутного нефтяного газа на территориях нефтедобычи. Для иллюстрации предложенного метода прогноза приведен пример расчета прогнозных оценок объемов сжигания газа на следующий пятилетний период.

Выводы

Разработанная модель может быть использована для оперативной оценки прогноза суммарных объемов сжигания попутного газа на месторождениях в других нефтедобывающих регионах со сходными геолого-географическими и природно-климатическими условиями.

Литература

1. Веревкин А.П., Селезнев С.Б. Утилизация попутного нефтяного газа на основе электрогенерации: проблемы и решения // Нефтегазовое дело. 2015. Т. 13. №1. С. 56–62.
2. Итоги деятельности отрасли. Официальные отчеты Департамента недропользования и природных ресурсов Ханты-Мансийского автономного округа — Югры. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.depnedra.admhmao.ru/deyatelnost/itogi-deyatelnosti-otrasli/>
3. Фактическая добыча и бурение в ХМАО — Югре. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.crru.ru/dobicha.html>

Forecasting the total volume of flame gas burning in the oil producing territory

UDC504.06

Authors

Gleb A. Kochergin — Ph.D., head of space service center¹; Kocherginga@uriit.ru

Matvey A. Kupriyanov — master, principal specialist of space service center¹; Kupriyanovma@uriit.ru

Jury M. Polishchuk — Sc.D., principal researcher of space service center^{1,2}; yupolishchuk@gmail.com

¹URIIT, Khanty-Mansiysk, Russian Federation

²Institute of Petroleum Chemistry, SB RAS, Tomsk, Russian Federation

Abstract

The analysis of the time series of quarterly volumes of flaring of associated petroleum gas (APG) in the Khanty-Mansi Autonomous Area (KhMAA) for the period of 2012–2016 was carried out. It is established that the trend of reducing the volume of combustible gas for a specified period is described by an

exponential equation. It is shown that, along with the exponential trend, cyclical seasonal variations in the volume of the combusted gas are observed. A model is proposed for predicting the volume of gas being combusted as a sum of two terms, the first of which is represented by the equation of the exponential trend, and the second term is intended to take

into account seasonal fluctuations in gas flaring volumes. An example of a forecast of APG flaring volumes for the period 2017–2020 is given for the territory of the KhMAA.

Materials and methods

The data of reports of the department of subsoil use and natural resources of

the KhMAA, data on oil production in the KhMAA. To perform the study, a method of time series analysis was used, which made it possible to develop a model for predicting the dynamics of volumes of gas being combusted in an oil-producing territory.

Keywords

greenhouse effect, associated petroleum gas, forecast of gas combustion volumes, flares, flaring of gas in oil-fields, oil producing regions

Results

ased on the analysis of the time series of quarterly volumes of flaring of associated gas in the KhMAA over the 5-year period, an exponential trend of reducing the volume of flared gas and cyclical

seasonal fluctuations of the volume of flared gas that are superimposed on the line of the exponential trend have been established. Based on the detected patterns of gas combustion dynamics, a model for predicting the volume of combusted gas is proposed as the sum of two terms, the first of which is represented by the equation of the exponential trend, and the second term takes into account seasonal fluctuations in the volume of gas flaring. The parameters of the model were determined according to the data on the volumes of combusted gas in the period from 2012 to 2015. To check the adequacy of the forecast model, a comparison was made with experimental (official) data on the volumes of associated gas burned in the KhMAA. Using a control sample of data

on the total volumes of gas burned in 4 seasons of 2016, it was established that the forecast error does not exceed 6%. This can serve as confirmation of the practical acceptability of the proposed method for predicting the volume of gas flaring within the oil production areas. To illustrate the proposed forecasting method, an example is given of calculating forecast estimates of gas flaring volumes for the next five year period.

Conclusions

The developed model can be used for rapid assessment of the forecast of the total volume of gas flaring at fields in other oil-producing regions with similar geological, geographical and climatic conditions.

References

1. Verevkin A.P., Seleznev S.B. *Utilizaciya poputnogo neftyanogo gaza na osnove elektrogeneracii: problemy i resheniya* [Associated petroleum gas utilization based on power generation: problems and solutions] // *Neftegazovoe delo*, 2015, V.13, issue 1, pp. 56–62.

2. *Itogi deyatel'nosti otrasli. Oficial'nye otchety Departamenta nedropol'zovaniya i prirodnyh resursov Hanty-Mansijskogo avtonomnogo okruga — Yugry* [Results of the industry. Official reports of the Department of Subsoil Use and Natural Resources of the

Khanty-Mansiysk Autonomous Area — Ugra]. Available at: <http://www.depnedra.admhmao.ru/deyatelnost/itogi-deyatelnosti-otrasli/>
3. *Fakticheskaya dobycha i burenie v KhMAO — Yugre* [Actual production and drilling in KhMAA — Ugra]. Available at: <http://www.crru.ru/dobicha.html>



Поставка приборов неразрушающего контроля:

- для мониторинга промышленных объектов с помощью акустической эмиссии;
- акустико-эмиссионных систем;
- системы акустического мониторинга трубных протечек котельных агрегатов;
- систем контроля протечек в затворе задвижек

Проведение технической диагностики и НК

Поставка и внедрение программного обеспечения управления состоянием оборудования завода на основе анализа рисков



Тел.: +7(495)789-4549
Факс: +7(495)789-4536
sale@diapac.ru
www.diapac.ru

