

# ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТИРОВКИ ГАЗА НА ПРИМЕРЕ ЭКСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ

УДК 622.691.4

**А.Г. Ишков**, ПАО «Газпром» (Санкт-Петербург, РФ)

**И.А. Яценко**, ПАО «Газпром»

**К.В. Романов**, ПАО «Газпром»

**Н.Б. Пыстина**, ООО «Газпром ВНИИГАЗ» (Москва, РФ)

**Г.А. Хворов**, ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

**Г.С. Аколова**, ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

**М.В. Юмашев**, ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

**Е.В. Косолапова**, ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

**В соответствии с Энергетической стратегией России на период до 2030 года и Федеральным законом от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» приоритетным направлением в деятельности ПАО «Газпром» является реализация высокоэффективных энергосберегающих проектов, обеспечивающих повышение эффективности использования энергоресурсов в транспорте газа по экспортным коридорам Единой системы газоснабжения (ЕСГ) России потребителям Европейского союза. Важным направлением деятельности при этом являются определение и оценка уровня «углеродного следа». В статье представлена методология оценки уровня эффективности функционирования экспортных коридоров ЕСГ России, на основании которой получены практические результаты, свидетельствующие о снижении удельного расхода газа на собственные технологические нужды анализируемых коридоров на 3,4 % в год и подтверждающие сравнимый с европейскими системами «углеродный след» на современном уровне функционирования ГТС.**

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ, ТРАНСПОРТ ГАЗА, ЭКСПОРТНЫЙ КОРИДОР, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, ЕСГ, ПОКАЗАТЕЛЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ, СОБСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ НУЖДЫ.

В соответствии с Энергетической стратегией России на период до 2030 года и Федеральным законом от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» одним из стратегических ориентиров долгосрочной государственной энергетической политики России является повышение энергетической эффективности экономического комплекса страны на основе внедрения экологически чистых и ресурсосберегающих технологий и реализации инновационных высокоэффективных энергосберегающих проектов.

Приоритетным направлением в деятельности ПАО «Газпром» является повышение эффективности использования энергоресурсов (природного газа, электрической и тепловой энергии) во всех видах деятельности – добыче газа, конденсата и нефти, транспортировке и подземном хранении природного газа, переработке углеводородного сырья, распределении газа потребителям.

Целевая направленность на реализацию инновационных высокоэффективных энергосберегающих технологий в компании существовала всегда. Следует упомянуть Приказ ОАО «Газпром» от 9 октября 2000 г. № 77 «Об организации работ по энергосбере-

жению в ОАО «Газпром», затем Концепцию энергосбережения ОАО «Газпром» на период 2001–2010 гг. Современное развитие компании отражено в Концепции энергосбережения и повышения энергетической эффективности в ОАО «Газпром» на период 2011–2020 гг.

В соответствии с Концепцией энергосбережения и повышения энергетической эффективности в ОАО «Газпром» на период 2011–2020 гг. потенциал энергосбережения в ПАО «Газпром» на период до 2020 г. оценен в 28,2 млн т у. т. (от уровня 2010 г.). Целевыми показателями энергоэффективности производственно-технологических процессов в ПАО «Газпром» на период 2010–

**Ishkov A.G.**, Gazprom PJSC (Saint Petersburg, RF)  
**Yatsenko I.A.**, Gazprom PJSC  
**Romanov K.V.**, Gazprom PJSC  
**Pystina N.B.**, Gazprom VNIIGAZ LLC (Moscow, RF)  
**Khvorov G.A.**, Gazprom VNIIGAZ LLC  
**Akopova G.S.**, Gazprom VNIIGAZ LLC  
**Yumashev M.V.**, Gazprom VNIIGAZ LLC  
**Kosolapova E.V.**, Gazprom VNIIGAZ LLC

### Increasing the energy efficiency of gas transportation as exemplified by export corridors

Pursuant to the Energy Strategy of Russia for the period until 2030 and Federal Law as of November 23, 2009 No. 261-FZ "On Energy Saving and Increasing Energy Efficiency and Making Amendments to Certain Legislative Acts of the Russian Federation", Gazprom PJSC's priority is the implementation of high-efficiency energy saving projects that ensure the increase of energy resource transport efficiency via export corridors of the Unified Gas Supply System (UGSS) of Russia to the European Union's consumers. An important aspect of this activity is the establishment and assessment of the carbon foot print level. The articles presents a methodology to assess the performance efficiency of export corridors of the UGSS of Russia, and based upon this methodology, we have received practical results that evidence a decline in the gas flow rate with regard to in-house process needs of the analyzed corridors by 3.4 per annum and that confirm that the carbon foot print at the modern stage of the gas transport network is comparable with European systems.

**KEY WORDS:** ENERGY EFFICIENCY, GAS TRANSPORT, EXPORT CORRIDOR, ENERGY SAVING, UGSS, ENERGY EFFICIENCY INDICATOR, IN-HOUSE PROCESS NEEDS.

2020 гг. являются снижение удельных расходов природного газа на собственные технологические нужды (СТН) и потерь в основных видах деятельности Общества не менее чем на 11,4 %, сокращение выбросов парниковых газов не менее чем на 48,6 млн т CO<sub>2</sub>-эквивалента. Основными задачами энергосберегающей политики компании, определенными Концепцией энергосбережения и повышения энергетической эффективности в ОАО «Газпром» на период 2011–2020 гг., являются повышение энергоэффективности дочерних обществ (ДО) и организаций ПАО «Газпром» на основе применения инновационных технологий и оборудования и снижение техногенной нагрузки на окружающую среду.

Для достижения установленных целевых показателей в ПАО «Газпром» ведется систематическая работа по повышению эффективности расхода топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) за счет внедрения высокоэффективных энергосберегающих технологий во всех видах деятельности Общества. Поскольку наибольшее количество энергоресурсов (примерно 75,6 %)

расходуется в магистральном транспорте газа ПАО «Газпром», приоритетным направлением является повышение энергоэффективности транспортировки газа.

На рис. 1 приведена динамика  $I_{\text{СТН}}$  – индекса удельного расхода газа на СТН магистрального транспорта газа ПАО «Газпром», характеризующего тенденции изменения энергоемкости технологического процесса транспортировки газа за период 2004–2015 гг.

Индекс удельного расхода газа на СТН рассчитывается по формуле:

$$I_{\text{СТН}} = 100 \cdot \frac{E_{\text{СТН}(n+1)}}{E_{\text{СТН}(n)}}, \% \quad (1)$$

где  $E_{\text{СТН}(n+1)}$  – значение показателя удельного расхода газа на СТН за  $(n + 1)$ -й год;  $E_{\text{СТН}(n)}$  – значение показателя удельного расхода газа на СТН за предшествующий  $n$ -й год. В качестве базового года выбран 2004 г., для которого показатель энергоемкости принят за 100 %. За период с 2004 по

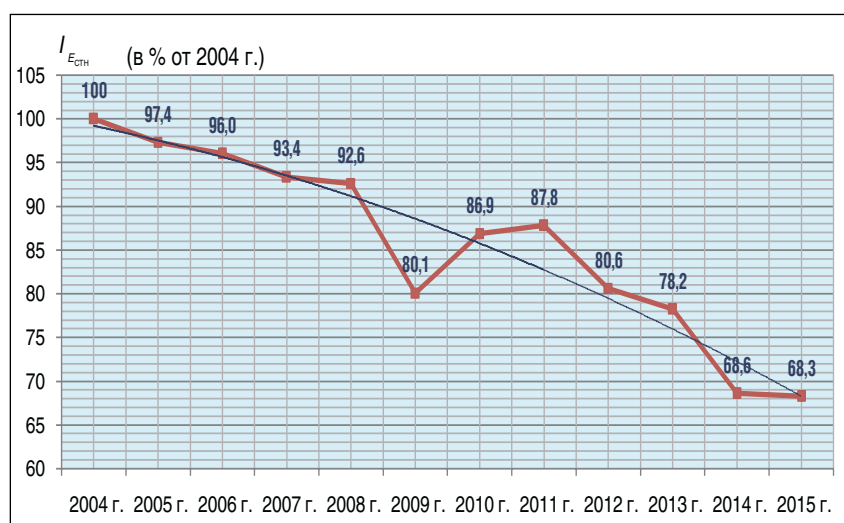


Рис. 1. Динамика индекса удельного расхода газа на СТН магистрального транспорта газа ПАО «Газпром»

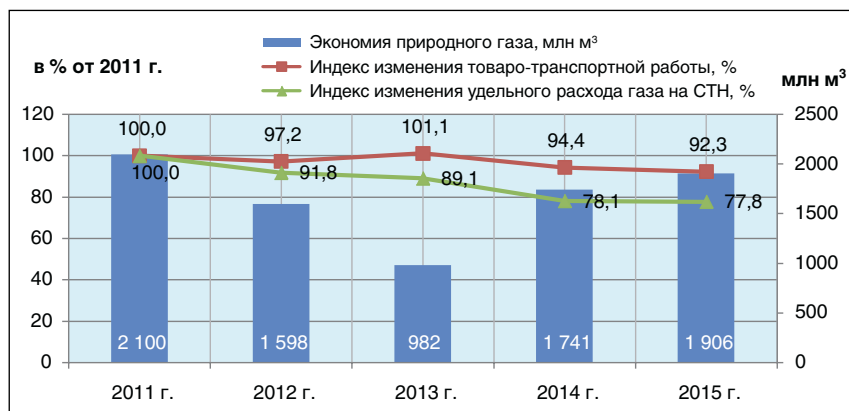


Рис. 2. График индекса изменения удельного расхода газа на СТН газотранспортных организаций ПАО «Газпром»

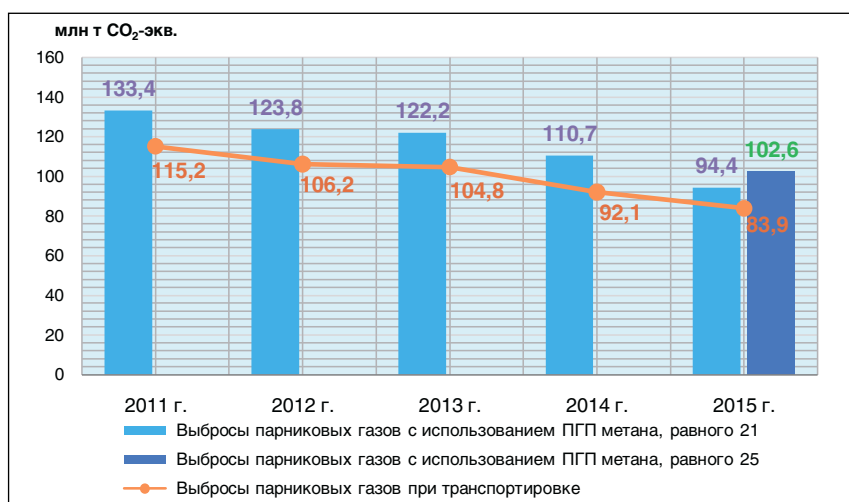


Рис. 3. Динамика валовых выбросов парниковых газов в ПАО «Газпром» в 2011–2015 гг.

2015 г. темпы снижения показателя составили в среднем около 2,9 % в год.

В качестве показателя, характеризующего эффективность расхода газа на транспортировку природного газа газотранспортной системы (ГТС) ЕСГ, в том числе для экспортных коридоров, используется  $E_{СТН}$  – удельный расход газа на СТН:

$$E_{СТН} = 10^3 \frac{Q_{СТН}}{A_{ТТР}}, \text{ м}^3/\text{млн м}^3\cdot\text{км}, \quad (2)$$

$$A_{ТТР} = \sum_{i=1}^n (Q_i L_i), \text{ млрд м}^3\cdot\text{км}, \quad (3)$$

где  $Q_{СТН}$  – расход газа на СТН, млн м<sup>3</sup>;  $A_{ТТР}$  – товаро-транспортная работа (ТТР), млрд м<sup>3</sup>·км;  $Q_i$  – объем газа, транспортируемого по  $i$ -му участку, млрд м<sup>3</sup>;  $L_i$  – длина  $i$ -го участка, км.

Приведенная динамика индекса удельного расхода газа на СТН для магистрального транспорта свидетельствует о наличии тенденции к снижению энергоемкости транспортировки природного газа в ПАО «Газпром» (повышении эффективности использования газа в качестве энергоресурса).

Основными факторами, влияющими на энергоемкость транспортировки природного газа ГТС, являются:

- изменение уровня загрузки газопроводов;
- изменение технического состояния технологического оборудования ГТС, обусловленное износом;
- проведение планово-предупредительных ремонтных работ

на линейной части газопроводов и в компрессорных цехах (КЦ);

- новое строительство газопроводов, реконструкция технологического оборудования компрессорных станций и линейной части газопроводов;
- реализация энергосберегающих мероприятий при эксплуатации технологического оборудования.

На рис. 2 приведен график индекса изменения удельного расхода газа на СТН газотранспортных организаций ПАО «Газпром» за последние пять лет и графики индекса изменения ТТР и величины экономии природного газа за этот период. Из графика видно, что удельный расход газа на СТН снизился (в 2015 г. – на 22,2 %). Основными факторами снижения энергоемкости процесса транспортировки газа являлись уменьшение загрузки газопроводов (в 2015 г. – на 7,7 %) и экономия природного газа (в 2015 г. – 1,9 млрд м<sup>3</sup>).

Повышение энергоэффективности функционирования ЕСГ при выполнении транспортных задач одновременно обеспечивает снижение техногенной нагрузки на окружающую среду, в том числе сокращение «углеродного следа» (выбросов парниковых газов). Динамика изменения величины валовых выбросов парниковых газов при транспортировке природного газа ПАО «Газпром» в 2011–2015 гг. приведена на рис. 3.

Анализ динамики валовых выбросов парниковых газов на объектах ПАО «Газпром» показывает, что диапазон изменения находится в интервале от 133,4 млн т CO<sub>2</sub>-экв. (2011 г.) до 102,6 млн т (2015 г.). При этом в 2015 г. уровень выбросов парниковых газов на 14,7 % ниже показателя 2014 г., и объективно видна тенденция к снижению. Основная доля выбросов парниковых газов (более 80 %) приходится на объекты транспорта газа (рис. 3).

На рис. 4 представлена динамика удельных выбросов CO<sub>2</sub>-экв.

(на ТТР) при транспортировке газа.

Комплексный анализ графиков динамики показателя удельного расхода газа на СТН ГТС (рис. 1) и удельных выбросов парниковых газов в транспорте газа (рис. 4) однозначно подтверждает закономерность корреляции процесса повышения энергоэффективности ГТС с одновременным сокращением валовых выбросов парниковых газов. В 2011–2015 гг. снижение выбросов загрязняющих веществ Группой «Газпром» составило: углеводородов – 60,27 тыс. т, оксида углерода – 153,56 тыс. т, оксидов азота – 86,34 тыс. т, прочих загрязняющих веществ – 60,98 тыс. т [1].

В ходе выполнения контрактных обязательств со стороны ПАО «Газпром» перед Европейским союзом по обеспечению заданного уровня транспортных поставок природного газа по экспортным коридорам в Западную Европу возник вопрос о тенденциях «углеродного следа». Учитывая заинтересованность наших европейских партнеров в стремлении к объективному анализу реальной ситуации с уровнем «углеродного следа» природного газа, экспортируемого ПАО «Газпром» в страны ЕС, были проведены исследования по количественной оценке эмиссии парниковых газов на всех этапах жизненного цикла при транспортировке природного газа (от добычи до газоизмерительных станций на границе).

Целью исследования является оценка величины эмиссии парниковых газов на основе анализа информационных данных по технологическим процессам функционирования экспортных газотранспортных коридоров с последующим проведением оценки уровня их энергоэффективности.

Для выполнения расчетно-аналитической части данного исследования потребовалось оценить:

- объемы природного газа, транспортируемого потребителям

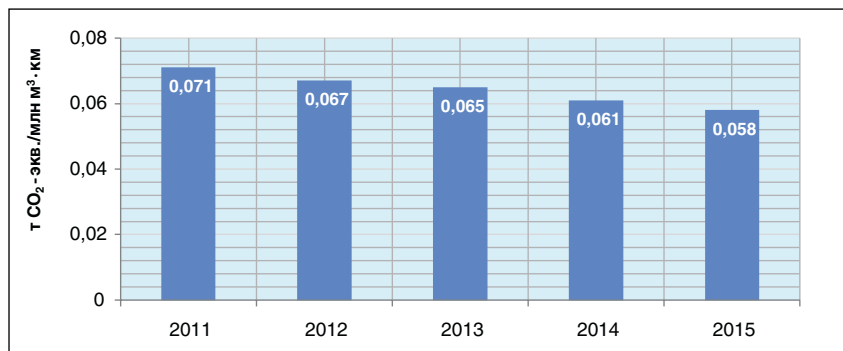


Рис. 4. Динамика удельных выбросов CO<sub>2</sub>-экв. при транспортировке газа

в Западную Европу по экспортным коридорам ЕСГ;

- количество исходного газа в трубопроводе экспортного коридора ЕСГ;

- уровень расхода природного газа на СТН при транспортировке природного газа по экспортным коридорам ЕСГ;

- показатели энергоэффективности технологических процессов и объектов по экспортным коридорам;

- уровень выбросов парниковых газов: метана и диоксида углерода при транспортировке природного газа по экспортным коридорам ЕСГ.

Под эту стохастическую тенденцию подпадают основные экспортные газотранспортные коридоры: через Украину (газоизмерительная станция (ГИС) «Суджа»), Белоруссию (ГИС «Кондратки»), Балтийское море (ГИС «Портовая»).

Оценка количества природного газа, транспортированного по-

ребителям в Западную Европу на заданном временном интервале, осуществлялась на основе показаний ГИС, установленных в соответствующих координатных точках: Суджа, Кондратки, Портовая.

Для определения объема товарного газа, поступающего в трубопровод экспортного коридора ЕСГ от газодобывающих организаций, выбран надежный показатель:  $Q_{\text{ТР}}^{\text{ЭК}}$  – фактические величины объема природного газа, транспортируемого в Европу, по данным ГИС (табл. 1).

Зная расход природного газа на транспортировку, можно оценить объем исходного газа  $\hat{Q}_{\text{ИСК}}^{\text{ЭК}}$  в трубопроводе экспортного коридора ЕСГ:

$$\hat{Q}_{\text{ИСК}}^{\text{ЭК}} = Q_{\text{ТР}}^{\text{ЭК}} + 10^{-3}(\hat{Q}_{\text{СТН}}^{\text{ЭК}} + \hat{Q}_{\text{ТР}}^{\text{ЭК}}),$$

млрд м<sup>3</sup>, (4)

где  $\hat{Q}_{\text{СТН}}^{\text{ЭК}}$  – объем газа, расходуемого на СТН при транспортировке газа по экспортному коридору,







млн м<sup>3</sup>;  $\bar{Q}_{\text{тп}}^{\text{эк}}$  – объем технологических потерь газа по экспортному коридору, млн м<sup>3</sup>.

Функционирование технологических объектов экспортных коридоров ЕСГ осуществляется в составе единой цепочки, состоящей из КЦ, линейной части, газораспределительных станций (ГРС) и ГИС. Статистическая информация, характеризующая режимы функционирования КЦ при транспортировке природного газа, а также затраты энергоресурсов на их функционирование, формируется на основе корпоративной отчетности ПАО «Газпром» на уровне газотранспортных организаций. Данные по экспортным коридорам (кроме  $Q_{\text{тп}}^{\text{эк}}$ )

были рассчитаны на основе выборки фактических данных по газотранспортным организациям, осуществляющим транспортировку газа в Западную Европу.

Для решения конечной задачи по оценке «углеродного следа» природного газа (на всех этапах жизненного цикла от добычи до передачи его через ГИС европейским потребителям) следует из структуры расхода газа на собственные технологические нужды выделить газ, используемый в качестве топлива газоперекачивающих агрегатов (ГПА) с газотурбинными двигателями, в котельных для получения тепла, на электростанциях с газотурбинными двигателями, в других технологических

операциях (например, при подогреве топливного газа в КЦ), и газ для проведения технологических операций на КС, линейной части, ГРС, ГИС и стравливаемый в атмосферу без сжигания:

$$Q_{\text{СТН}} = Q_{\text{топл}} + Q_{\text{выбр}} \quad (5)$$

где  $Q_{\text{топл}}$  – расход природного газа в качестве топлива;  $Q_{\text{выбр}}$  – объем природного газа, стравливаемого в атмосферу при регламентных операциях без сжигания.

Оценка расхода природного газа на СТН при транспортировке товарного газа по экспортным коридорам ЕСГ через Украину (ГИС «Суджа»), Белоруссию (ГИС «Кондратки») и «Северный поток» (ГИС «Портовая») осуществлялась по формуле:

$$\bar{Q}_{\text{СТН}j}^{\text{экс}} = \bar{E}_{\text{СТН}j}^{\text{экс}} \bar{A}_{\text{ТТР}j}^{\text{экс}}, \text{ млн м}^3, \quad (6)$$

где  $\bar{E}_{\text{СТН}j}^{\text{экс}}$  – удельный расход газа на СТН для экспортного коридора Северо-Европейского газопровода в  $j$ -м году, м<sup>3</sup>/млн м<sup>3</sup>·км;  $\bar{A}_{\text{ТТР}j}^{\text{экс}}$  – ТТР для экспортного коридора в  $j$ -м году, млрд м<sup>3</sup>·км.

Для экспортных газотранспортных коридоров при оценке удельного расхода газа на СТН (ГИС «Кондратки», ГИС «Суджа») были использованы фактиче-

Таблица 1. Оценка показателей, характеризующих «углеродный след» по экспортным газотранспортным коридорам в 2012–2015 гг.

Показатель	Газопроводы «Уренгой – Ужгород», «Елец – Кременчуг – Кривой Рог», «Прогресс» (Украина) (ГИС «Суджа»)				Газопровод «Ямал – Европа» (Белоруссия) (ГИС «Кондратки»)				Газопровод «Северо-Европейский» (ГИС «Портовая»)			
	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.
Расход газа на СТН, млн м <sup>3</sup>	6792	6569	3714	3800	3718	4337	3469	3206	881	1581	2259	2447
Объем газа, стравливаемого в атмосферу, млн м <sup>3</sup> , в том числе:	211,6	181,0	124,4	141,7	103,9	149,2	131,0	122,0	21,2	58,7	79,2	69,9
технологические потери, млн м <sup>3</sup>	34,0	33,7	23,2	24,0	15,7	18,7	18,7	18,3	6,4	12,8	19,2	21,1
организованные выбросы, млн м <sup>3</sup>	177,6	147,3	101,3	117,7	88,3	130,5	112,3	103,7	14,8	45,9	60,0	48,8
Выбросы метана от транспортируемого газа по экспортным коридорам, %	0,336	0,290	0,290	0,319	0,358	0,430	0,378	0,359	0,179	0,247	0,223	0,179

Таблица 2. Уровни достижения энергосберегающих и экологических целей в ПАО «Газпром» в 2015 г.

Энергосберегающие и экологические цели	Исполнители	Уровень достижения целей по отношению к базовому 2011 г.
Снижение удельного потребления природного газа на СТН	Газотранспортные организации	На 22,2 %
Снижение выбросов метана в атмосферу при выполнении ремонтных работ на ГТС	Газотранспортные организации	На 5 %
Снижение удельных выбросов оксидов азота при компримировании природного газа в КЦ	Газотранспортные организации	На 15 %
Снижение платы за сверхнормативное воздействие как интегральный показатель негативного воздействия на окружающую среду	Все ДО и организации	На 54,7 %
Снижение сброса загрязненных и недостаточно очищенных сточных вод в поверхностные водные объекты	Все ДО и организации	На 23,9 %
Снижение доли отходов, направляемых на захоронение	Все ДО и организации	На 18 %

ские данные газотранспортных организаций ПАО «Газпром», выполняющих основную часть ТТР по этим коридорам. Показатель удельного расхода ТЭР экспортного коридора от КС «Байдарацкая» до КС «Портовая» в 2015 г. составил 22,47 м<sup>3</sup>/млн м<sup>3</sup>·км, что на 6 % меньше, чем средняя величина по «старым» коридорам. Поскольку этот газопровод работает не на проектом режиме, имеется резерв перевода его энергоэффективности на более высокий уровень. Оценка расхода газа на СТН по экспортным коридорам, рассчитанная по формуле (6), приведена в табл. 1.

Следующим этапом исследования было определение уровня технологических потерь природного газа при его транспортировке по экспортным коридорам ЕСГ, которые включают: срамливание газа при эксплуатации силовых пневмоприводов кранов, при работе пневморегуляторов, пневмоустройств на газе, при проверке работоспособности предохранительных клапанов, при продувке дренажей и импульсных линий отбора газа на датчики давления и перепада давления; потери газа, обусловленные утечками.

Для оценки технологических потерь газа по экспортным газотранспортным коридорам

использовался показатель  $k_{\text{ТП}}$ , рассчитанный по формуле:

$$k_{\text{ТП}} = \frac{Q_{\text{ТП}}^{\Sigma}}{Q_{\text{ТР}}^{\Sigma}}, \quad (7)$$

где  $Q_{\text{ТП}}^{\Sigma}$  – суммарные технологические потери газа в магистральном транспорте газа ПАО «Газпром», млн м<sup>3</sup>;  $Q_{\text{ТР}}^{\Sigma}$  – суммарный объем газа, транспортируемый по ГТС ПАО «Газпром», млн м<sup>3</sup>.

Оценка величины технологических потерь газа на экспортных коридорах  $Q_{\text{ТП}}^{\text{ЭК}}$  с учетом коэффициента  $k_{\text{ТП}}$  выполнена по формуле:

$$\widehat{Q}_{\text{ТП}}^{\text{ЭК}} = 10^{-3} k_{\text{ТП}} Q_{\text{ТР}}^{\text{ЭК}}, \text{ млн м}^3, \quad (8)$$

где  $k_{\text{ТП}}$  принимается равным  $5,4 \cdot 10^{-4}$ .

Оценка объемов выбросов газа (из организованных источников и выбросов загрязняющих веществ, за исключением выбросов, связанных с потерями газа) в атмосферу  $Q_{\text{выбр}}^{\text{ЭК}}$  на экспортных газотранспортных коридорах осуществляется аналогично оценке технологических потерь газа. Для этого рассчитывается показатель  $k_{\text{выбр},i}$  для  $i$ -й газотранспортной организации по формуле:

$$k_{\text{выбр},i} = \frac{Q_{\text{выбр},i}}{Q_{\text{ТР},i}}, \quad (9)$$

где  $Q_{\text{выбр},i}$  – фактические объемы выбросов газа в  $i$ -й газотранспорт-

ной организации ПАО «Газпром», млн м<sup>3</sup>;  $Q_{\text{ТР},i}$  – фактический объем газа, транспортируемый  $i$ -й газотранспортной организацией ПАО «Газпром», млн м<sup>3</sup>.

Оценка количества газа, срамливаемого в атмосферу без сжигания, для экспортного газотранспортного коридора  $Q_{\text{выбр},i}^{\text{ЭК}}$  выполнялась по формуле:

$$\widehat{Q}_{\text{выбр},i}^{\text{ЭК}} = \sum (k_{\text{выбр},i} Q_{\text{ТР},i}^{\text{ЭК}}), \text{ млн м}^3. \quad (10)$$

Данные по количеству газа, срамливаемого в атмосферу без сжигания, для экспортных газотранспортных коридоров также приведены в табл. 1.

Уровни достижения энергосберегающих и экологических целей в ПАО «Газпром» в 2015 г. приведены в табл. 2.

Выполненная оценка уровня энергоэффективности экспортных коридоров ЕСГ России подтверждает, что в ПАО «Газпром» успешно и целенаправленно реализуются политика энергосбережения и экологическая политика, обеспечивающие снижение энергоемкости и выбросов парниковых газов в атмосферу при транспортировке западным потребителям. ■

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Экологический отчет ПАО «Газпром» за 2011, 2012, 2013, 2014, 2015 гг.

#### REFERENCES

1. Environmental Report of Gazprom PJSC for 2011, 2012, 2013, 2014, 2015. (In Russian)