

УДК 622.691.482

**ПОВЫШЕНИЕ ОПЕРАТИВНОСТИ КОНТРОЛЯ УТЕЧЕК ГАЗА
ЧЕРЕЗ НЕГЕРМЕТИЧНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ
СЕТЕЙ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ГАЗОПОТРЕБЛЕНИЯ**

**EFFICIENCY RISE OF GAS LEAKAGE CONTROL THROUGH
FAILURE CONNECTIONS OF GAS DISTRIBUTION AND GAS
CONSUMPTION NETWORK EQUIPMENT**

Зубаилов Г.И.

ОАО «Гипрониигаз», г. Саратов, Российская Федерация

G. I. Zubailov

“Giproniigaz” PLC, Saratov, the Russian Federation

e-mail: adk_gadzi@niigaz.ru

Аннотация. При эксплуатации оборудования сетей газораспределения и газопотребления образование утечек газа через негерметичные соединения практически неизбежно. Природный газ относится к парниковым газам. Попадая в атмосферу, метан концентрируется над поверхностью Земли, что приводит к повышению температуры окружающей среды. Обнаружение утечки газа и количественное определение величины данной утечки является актуальной задачей еще и потому, что влияет на определение норматива технологических потерь газа, транспортируемого по сетям газораспределения и газопотребления, и, в конечном результате, на формирование тарифа при расчетах за газ. Для установления места утечки и определения ее величины традиционно используются газоанализаторы и счетчики газа. Процесс количественного определения величины утечки газа с помощью счетчика газа трудоемкий, так как связан с установкой герметичного чехла определенного объема, полностью закрывающего объект утечки, и последующим наполнением

этого объема природным газом. С целью снижения трудоемкости при определении величины утечки газа разработана методика количественного определения величины утечки газа с помощью лазерного детектора метана. Приведены результаты экспериментального определения объема утечек природного газа различной интенсивности с помощью счетчика газа и лазерного детектора метана по концентрации метана в газовом облаке при различных значениях давления газа в газопроводе и различных ориентациях источника утечки относительно газопровода. Установлены аналитические зависимости для расчета количественных потерь природного газа через негерметичные узлы по параметрам избыточного давления газа в газопроводе и концентрации метана в области утечки с учетом ориентации газового облака в пространстве. Экспериментально определено, что погрешность определения потерь газа с помощью лазерного детектора метана не превышает 10%.

Abstract. Generation of gas leakages through failure connections is inevitable at operation of gas distribution and gas consumption network equipment. Natural gas refers to the greenhouse gases. Methane, penetrating into atmosphere, is concentrated above the surface of the Earth. It brings temperature increasing to environment. Detection of gas leakage place and numerical definition of the leakage size is the actual task even because it influences the establish standard of technological gas losses detection while it is conveying through gas distribution and gas consumption networks and finally on the tariff forming at calculations for gas. Gas analyzers and gas meters are used traditionally for the leakage size determining. The process of the leakage size numerical definition, using a gas meter is laborious as it is connected with setting hermetical cover of definite volume that closes the whole object of leakage and subsequent filling of the volume by natural gas. The numerical definition method of leakage size with the help of laser methane detector has been developed with the aim of laboriousness lowering of defining the leakage size. It has been given the results of experimental defining for different intensity

leakage volume by natural gas meter and by laser methane detector according to methane concentration in a gas cloud at different gas pressure values in a gas pipeline and different orientation of leakage source relative to gas pipeline.

Analytic dependencies for calculation of natural gas loss quantity through non sealed nodes according to excess gas pressure in a gas pipeline and methane concentration in the region of leakage taking into account orientation of gas cloud in space have been established. It has been defined experimentally that definition error of gas loss by laser methane detector not more than 10%.

Ключевые слова: сети газораспределения и газопотребления, газопровод, величина утечки газа, ориентация источника утечки газа, концентрация метана, счетчик газа, газоанализатор, лазерный детектор метана, погрешность определения величины утечки газа.

Key words: gas distribution and gas consumption networks, gas pipeline, gas leakage quantity, gas leakage source, gas leakage source orientation, methane concentration, gas meter, gas analyzer, laser methane detector, gas leakage error.

При эксплуатации сетей газораспределения и газопотребления появляются утечки природного газа в негерметичных разъемных соединениях оборудования, причем образование утечек со временем является практически неизбежным. Утечки природного газа порождают целый ряд проблем, затрагивающих безопасность, рентабельность, экологичность сетей газораспределения и газопотребления [1]. Природный газ по ГОСТ 5542-87 на 98% состоит из метана (CH₄), который относится к парниковым газам. Попадая в атмосферу, метан концентрируется над поверхностью Земли. С одной стороны это приводит к повышению температуры окружающей среды. С другой стороны, потери газа, вызванные утечками, являются упущенной выгодой при реализации газа потребителям [2].

Источниками потерь природного газа при эксплуатации сетей газораспределения и газопотребления являются негерметичные разъемные соединения (резьбовые, муфтовые, фланцевые) оборудования технологических устройств, установленные на линейной части газопроводов, а также негерметичность затворов предохранительных сбросных клапанов (ПСК) и запорной арматуры, установленной перед газоиспользующим оборудованием и на продувочных или сбросных свечах в пунктах редуцирования газа (ПРГ).

Учитывая вышеизложенное, актуальной является задача обнаружения утечки газа на оборудовании сетей газораспределения и газопотребления и количественного определения величины утечки.

Для проведения измерений объемов потерь природного газа, вызванных утечками, в зависимости от параметров, характеризующих вид утечки, была создана экспериментальная установка. В конструкции данной установки был применен металлический кожух, монтируемый на имитатор газопровода с источником утечки газа, имитирующим утечку газа через негерметичное соединение. В качестве источника утечки использовались калиброванные отверстия различных диаметров, через которые газ поступал в атмосферу.

На рисунке 1 приведена принципиальная схема установки для определения объема утечек с помощью газового счетчика.

Для измерений использовался барабанный газовый счетчик с суммирующим роликовым счетным механизмом (газомер с затворной жидкостью) марки Ritter. Погрешность измерения составляет не более $\pm 0,2\%$ при номинальном значении расхода и $\pm 0,5\%$ во всем диапазоне измерений.

На рисунке 2 приведены экспериментально полученные зависимости величины утечек, приведенные к стандартным условиям через отверстия различной площади, имитирующие утечку при различных значениях избыточного давления газа.

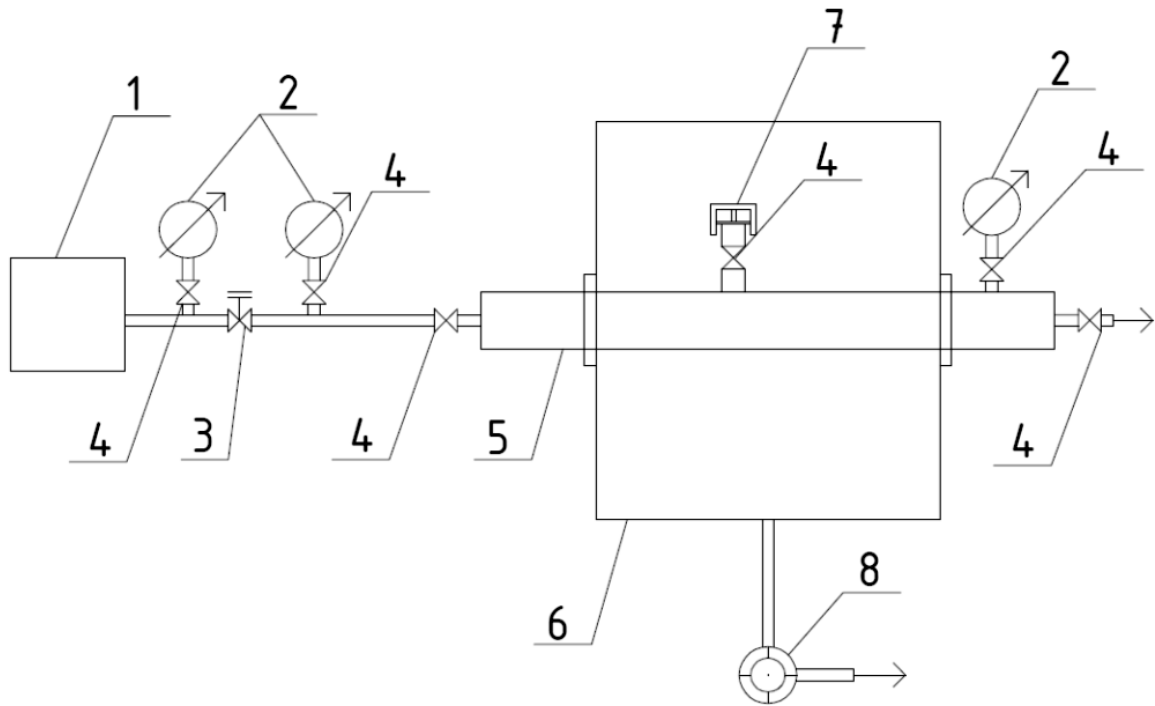


Рисунок 1. Схема принципиальная установки для определения объема утечек с помощью газовых счетчиков:

- 1 – баллон с природным газом; 2 – манометры; 3 – регулятор давления;
 4 – шаровые краны; 5 – имитатор газопровода; 6 – плита;
 7 – источник утечки газа; 8 – газовый счетчик

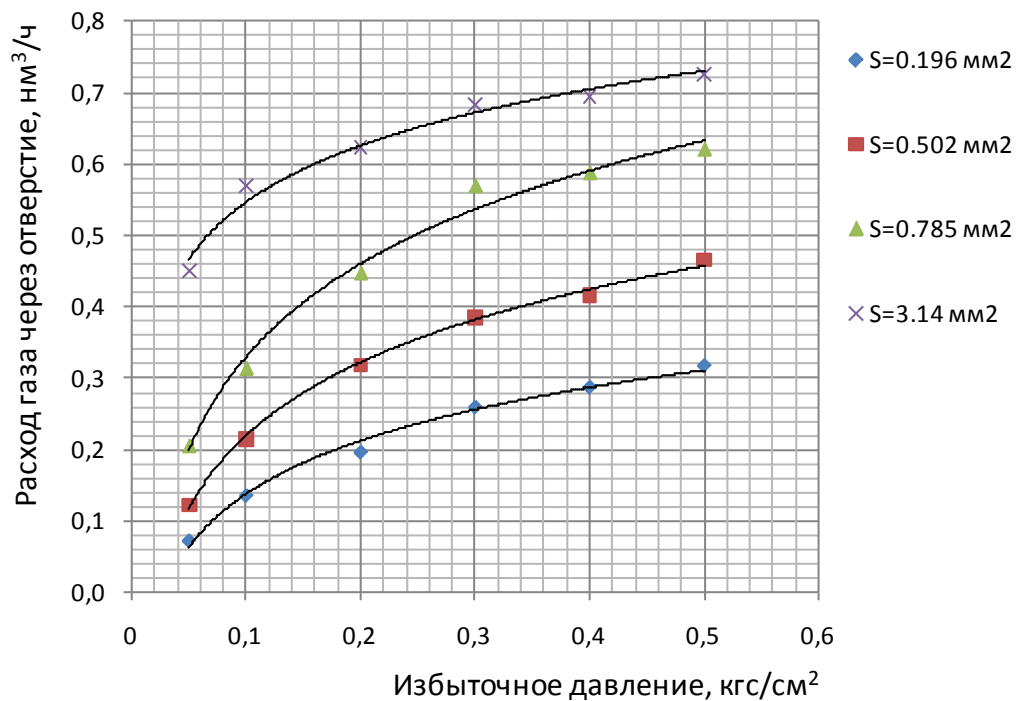


Рисунок 2. Зависимости объема утечек ($Q_{сч}$), приведенные к стандартным условиям, от избыточного давления в имитаторе газопровода ($P_{и}$) при различных значениях площади источника утечки (S)

Полученные графические зависимости могут быть использованы для определения количественного объема потерь природного газа из-за утечки при известных значениях площади источника утечки и избыточном давлении газа в газопроводе.

Однако зависимости (рисунок 2) в графическом виде не очень удобно использовать. Для повышения оперативности и точности расчетов целесообразно применять аналитические модели, которые могут быть получены путем обработки графических характеристик методами теории статистики [3,4].

В настоящей работе проведено моделирование графических характеристик методом асимптотических координат [5]. В результате получена аналитическая зависимость объема потерь газа $Q_{сч}$ от площади утечки S и величины избыточного давления газа в газопроводе P_u :

$$Q_{сч.} = (0,1415 \ln(S) + 0,2627) + (0,4362 \ln(P_u) + 1,3034) \times \\ \times [(0,14851 \ln(S) + 0,585) - (0,1415 \ln(S) + 0,2627)] \quad (1)$$

Сопоставление экспериментальных и расчетных данных показывает, что погрешность расчета по полученной модели не превышает 9%. Аналитическая зависимость (1) может применяться в случаях, когда известны избыточное давление в газопроводе и площадь источника утечки. Определить эту площадь зачастую представляется проблематичным, но при этом почти всегда имеется техническая возможность измерить концентрацию метана в зоне утечки.

Экспериментальное определение объема утечек производилось на испытательной установке, позволяющей имитировать утечки газа различной интенсивности. На рисунке 3 приведена принципиальная схема экспериментальной установки для определения объема утечек газа с помощью лазерного детектора метана.

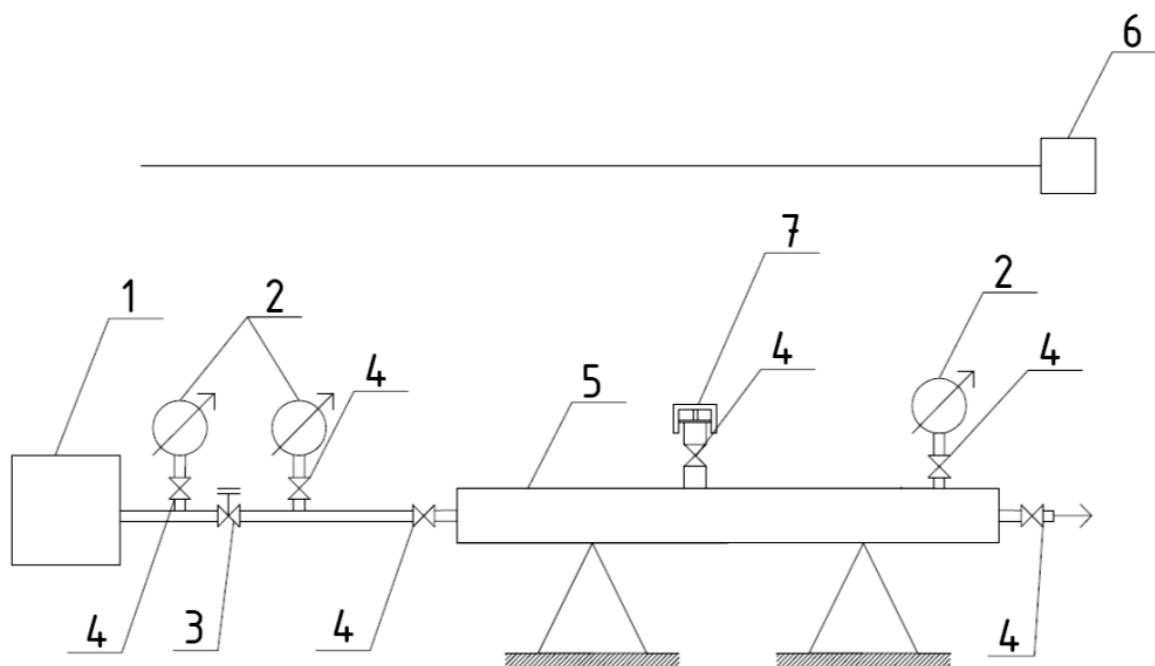


Рисунок 3. Схема принципиальная установки для определения объема утечек газа с помощью лазерного детектора метана:

1 – баллон с природным газом; 2 – манометры; 3 – регулятор давления; 4 – шаровые краны; 5 – имитатор газопровода; 6 – лазерный детектор метана; 7 – источник утечки газа

Работы производились при избыточных давлениях в имитаторе газопровода 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 кгс/см², площадях источника утечки 0,196; 0,785; 3,14 мм² и ориентации источника утечки относительно газопровода на 12 ч; 3 ч; 6 ч.

Для измерений концентрации метана (СН₄) использовался дистанционный детектор метана с лазерным прицеливанием марки Laser Methan mini.

Анализ полученных результатов показывает, что расхождение в экспериментальных данных, полученных с помощью детектора метана и счетчиков газа при ориентации источника утечки относительно газопровода на 12 часов и 3 часа, составляет не более 10%, что находится в пределах погрешности детектора метана. В связи с этим, зависимости для этих двух ориентаций источника утечки относительно газопровода были усреднены и представлены одной зависимостью, что позволило выделить

два случая. При этом различие в уровне концентраций при ориентации источника утечки относительно газопровода на 12, 3 часа и 6 часов составляет 25%.

На рисунке 4 приведены совмещенные характеристики концентрации метана для различных пространственных ориентаций источника утечки относительно газопровода.

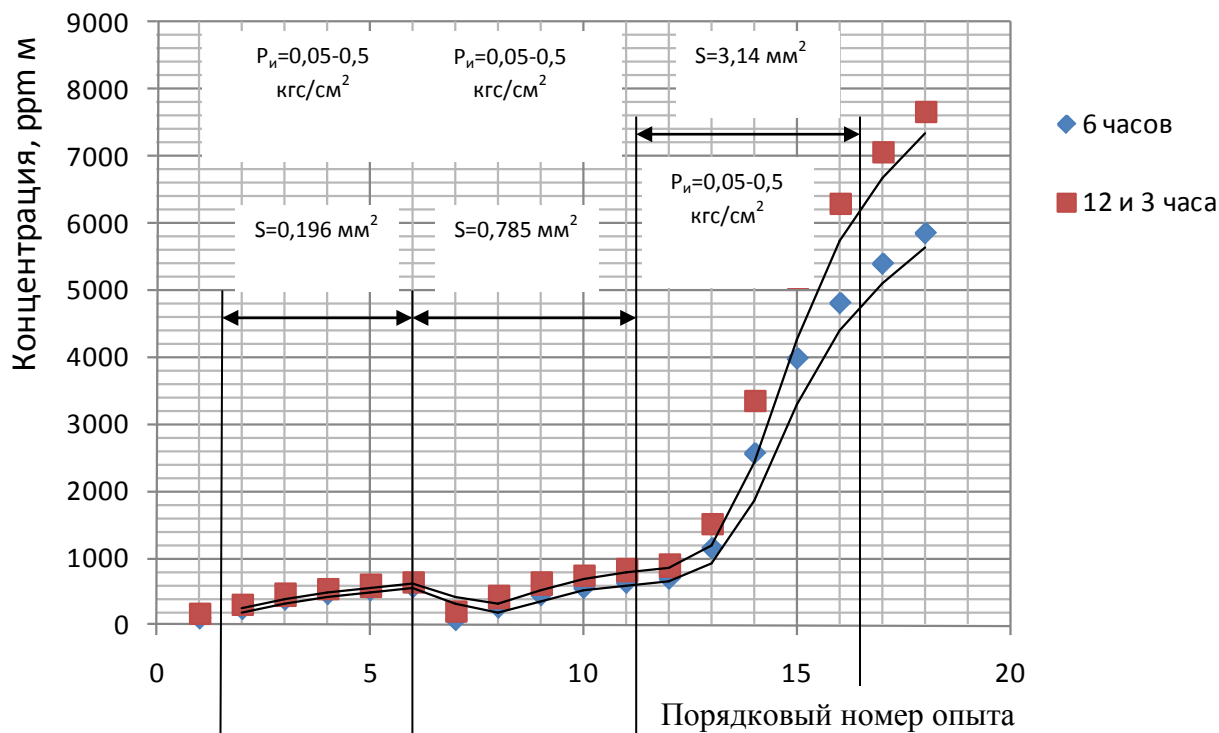


Рисунок 4. Совмещенные зависимости концентрации метана для различных ориентаций источника утечки относительно газопровода

Для обеспечения необходимой точности расчетных моделей зависимость (рисунок 4) разбита на три интервала по концентрации метана $C_{ср.}$ (≤ 600 ; $600 \div 1500$; ≥ 1500 ppm·м), соответствующих различным площадям источника утечек.

Установлено, что экспериментальные данные лучше всего описываются формулами вида:

$$Q_p = A_0 + A_1 \cdot P_u + A_2 \cdot \left(\frac{C_{ср.}}{10000} \right), \quad (2)$$

или, при отсутствии информации о величине давления в трубе, по формуле:

$$Q_p = B_0 + B_1 \cdot \left(\frac{C_{cp.}}{10000} \right). \quad (3)$$

где Q_p – количественные потери газа, м³/час;

A_0, A_1, A_2, B_0, B_1 - постоянные коэффициенты;

$P_{и}$ – избыточное давление в газопроводе, кгс/см²;

$C_{cp.}$ – концентрация метана в месте утечки, ppm·м.

Подбор коэффициентов A_0, A_1, A_2, B_0, B_1 в формулах (2) и (3) производится с помощью стандартного приложения Excel «Поиск решения».

В таблицах 1, 2 приведены коэффициенты в формулах (2) и (3) при ориентации утечки на 12-3 часа и 6 часов.

Таблица 1. Коэффициенты моделей при ориентации источника утечки относительно газопровода на 12-3 часа

Концентрация метана (C_{cp}), ppm·м	Коэффициент				
	A_0	A_1	A_2	B_0	B_1
≤ 600	-0,006679	4,059971	0,142303	-0,03033	5,413206
$600 \div 1500$	0,061800	6,590125	-0,036876	0,066768	6,354748
≥ 1500	0,383912	0,553065	-0,178122	0,403119	0,427108

В таблице 2 приведены коэффициенты моделей при ориентации источника утечки относительно газопровода на 6 часов.

Таблица 2. Коэффициенты моделей при ориентации утечки на 6 часов

Концентрация метана (C_{cp}), ppm·м	Коэффициент				
	A_0	A_1	A_2	B_0	B_1
≤ 600	0,021697	3,980041	0,142293	0,007508	5,306499
$600 \div 1500$	0,139764	7,284800	-0,036892	0,141949	7,024497
≥ 1500	0,383265	0,723140	-0,178121	0,402619	0,558451

Сопоставление результатов моделирования показывает, что отклонение расчетных данных от экспериментальных составляет при расчете потерь газа Q_p по двум параметрам C_{cp} и $P_{и}$ не более 5%, при расчете по величине C_{cp} – не более 10%. Отклонение в 10% не превышает погрешность лазерного детектора метана, поэтому расчетная модель с использованием одного параметра - концентрации метана в зоне утечки (C_{cp}) может также использоваться для определения потерь газа через негерметичный узел.

На основе проведенных исследований могут быть сформулированы следующие **выводы**:

1. В работе выполнено экспериментальное определение объема утечек различной интенсивности с помощью объемного счетчика, произведено аналитическое моделирование зависимостей потерь газа при утечках различной интенсивности при известной площади источника утечек и давлении газа в газопроводе. Погрешность полученных результатов не превышает 9%.

2. Проведены экспериментальные исследования концентрации метана в воздухе в области утечек с помощью лазерного детектора метана в зависимости от давления газа в газопроводе и площади источника утечки. Установлено, что при ориентации источника утечки относительно газопровода на 12 и 3 часа концентрация метана над негерметичным узлом различается несущественно. Различие составляет не более 10%, что находится в пределах погрешности детектора метана. Различие в показаниях детектора метана при ориентации источника утечки относительно газопровода на 12-3 часа и 6 часов составляет 25%, что необходимо учитывать при оценке объема утечек через негерметичные узлы.

3. С использованием экспериментальных данных получен метод и аналитические зависимости для расчета количественных потерь природного газа через негерметичные узлы сетей газораспределения и газопотребления по параметрам избыточного давления газа и

концентрации метана в области утечки с учетом ориентации газового облака в пространстве. Погрешность определения количественных потерь газа по концентрации метана в области утечки, измеренной с помощью лазерного детектора метана, не превышает 10%.

Список используемых источников

- 1 Борьба с утечками: мировой опыт// Газ России, Спб: 2010. № 3. С. 48–50.
- 2 СТО Газпром 027-2006. Типовая программа оценки эмиссии природного газа на объектах ОАО «Газпром»: утвержден и введен в действие распоряжением ОАО «Газпром» от 19 июля 2006 г. № 154. М.: 2006. 38 с.
- 3 Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: 9-е изд., М.: Высшая школа, 2003. 479 с.
- 4 Вентцель Е.С. Исследование операций. Задачи, принцип, методология: 3-е изд, М.: Дрофа, 2004. 208 с.
- 5 Моделирование технологических процессов трубопроводного транспорта нефти и газа/ Байков И.Р. [и др.]. Уфа: УНИ, 1994. 127 с.

References

- 1 Bor'ba s utechkami: mirovoj opyt// Gaz Rossii, 2010. № 3. S. 48–50. [in Russian].
- 2 STO Gazprom 027-2006. Tipovaja programma ocenki jemissii prirodного gaza na ob'ektah ОАО «Gazprom»: utverzhden i vveden v dejstvie rasporyazheniem ОАО «Gazprom» ot 19 ijulja 2006 g. № 154. M., 2006. 38 s. [in Russian].
- 3 Gmurman V.E. Teorija verojatnostej i matematicheskaja statistika: 9-e izd., M.: Vysshaja shkola, 2003. 479 s. [in Russian].

4 Ventcel' E.S. Issledovanie operacij. Zadachi, princip, metodologija: 3-e izd, M.: Drofa, 2004. 208 s. [in Russian].

5 Modelirovanie tehnologicheskikh processov truboprovodnogo transporta nefi i gaza/I.R. Bajkov [i dr.]. Ufa: UNI, 1994. 127 s. [in Russian].

Сведения об авторе

About the author

Зубаилов Г.И., канд. техн. наук, заместитель генерального директора - главный технолог ОАО «Гипрониигаз», г. Саратов, Российская Федерация

G.I. Zubailov, Candidate of Engineering Sciences Leading Research and Planning Institute on gas distribution and use Giproniigaz PLC, Saratov, the Russian Federation

e-mail: adk_gadzi@niigaz.ru