

УДК 004-021

DOI: [10.26102/2310-6018/2021.34.3.013](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2021.34.3.013)

## Подход к решению задачи контроля баланса газа на основе регрессионного анализа величины запаса газа

Н.В. Лашманова, А.К. Петрова, А.М. Синица

*Санкт-Петербургский государственный  
электротехнический университет,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация.*

**Резюме.** В работе рассматривается технологический процесс учета расхода газа в газотранспортной системе. Одной из проблем системы учета является небаланс газа, возникающий вследствие влияния множества изменяющихся величин, в том числе таких, как нелинейно зависимые характеристики рабочей среды (природного газа), оборудования, трубопровода и окружающей среды. Одной из составляющих небаланса является величина запаса газа в магистральном трубопроводе, на которую, в числе прочих факторов, влияет температура грунта на глубине заложения газопровода, обновляющаяся ежемесячно по статистическим данным. В работе предложен подход к расчету величины запаса на основе значений температуры грунта, обновляющихся в режиме реального времени, а также предложено прогнозирование величины запаса газа в трубопроводе с применением регрессионного анализа; использованы различные методы машинного обучения с использованием среды Matlab, осуществлено сравнение результатов регрессии на основе применения этих методов, выявлены наиболее значимые при расчете запаса газа параметры, применена кластеризация для определения знака величины запаса газа в трубопроводе. Современный математический аппарат и вычислительные средства могут быть использованы с целью разработки программного обеспечения и последующей интеграцией в комплексных вычислительных системах.

**Ключевые слова:** баланс газа, запас, температура грунта, газотранспортная система, регрессионная модель, алгоритм

**Для цитирования:** Лашманова Н.В., Петрова А.К., Синица А.М. Подход к решению задачи контроля баланса газа на основе регрессионного анализа величины запаса газа. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2021;9(3). Доступно по: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=972> DOI: 10.26102/2310-6018/2021.34.3.013

## Gas stock amount regression analysis based approach to solving the gas balance problem

N.V. Lashmanova, A.K. Petrova, A.M. Sinitsa  
*Saint Petersburg State Electrotechnical University,  
St. Petersburg, Russian Federation*

**Abstract:** This paper is concerned with the technological process of accounting for gas consumption in the gas transmission system. Among the problems of the metering system is the gas imbalance (imbalance) arising from the influence of many changing quantities such as nonlinearly dependent characteristics of the working medium (natural gas), equipment, pipelines and the environment. One of the imbalance components is the amount of gas in the main pipeline, which, among other factors, is influenced by the soil temperature at the depth of the gas pipeline, which is updated monthly according to statistical data. The paper proposes an approach to calculating the value of the reserve based on the soil temperature, which is updated daily, and also proposes forecasting the value of the gas reserve in the pipeline using

regression analysis; various machine learning methods were utilized using the Matlab environment, the regression results were compared based on the application of these methods, the most significant parameters in calculating the gas reserve were identified, clustering was applied to determine the sign of the gas reserve in the pipeline. Modern mathematical apparatus and computing facilities can be used for software development and with subsequent integration into complex computing systems.

**Keywords:** gas balance, gas reserve, soil temperature, gas transmission system, regression model, algorithm

**For citation:** Lashmanova N.V., Petrova A.K., Sinitca A.M. Gas stock amount regression analysis based approach to solving the gas balance problem. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2021;9(3). Available from: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=972> DOI: 10.26102/2310-6018/2021.34.3.013(In Russ).

## Введение

Технологические процессы в газораспределительной системе Российской Федерации носят установившийся характер, однако, действия различных факторов могут привести к существенным отклонениям технологического процесса учета расхода газа от установившихся норм и режимов. В качестве примера таких факторов можно привести, во-первых, изменение глобальных климатических условий, вследствие чего происходит повышение средних температур воздуха и почвы, в которых проходят трубы; влагосодержания среды, давления газа и т. п. Во-вторых, устаревающее оборудование и человеческий фактор. В-третьих, наличие населенных пунктов и влияние теплотрасс в них на течение физических процессов в газопроводах, а также других факторов. Перечисленные выше факторы очевидным образом влияют на баланс газа в сети и обуславливают необходимость разработки современных концептуальных и математических моделей этих процессов, учитывающих множество изменяющихся величин, в том числе таких, как нелинейно зависимые характеристики рабочей среды (природного газа), оборудования, трубопровода и окружающей среды [1-7].

В рамках работы предлагается усовершенствованная методика расчета баланса газа с учетом факторов, которые в настоящее время не учитываются или учитываются некорректно (температура грунта), с применением современного математического аппарата и вычислительных средств.

## Материалы и методы

Сведение баланса – распределение небаланса между участниками коммерческого учета в устойчивой структуре газораспределения за сутки или за отчетный период, в результате которого значение объема в стандартных условиях, поданного поставщиком, в точности равно сумме объемов потребителей с учетом норм бесприборного потребления газа в сутки или за отчетный период [8].

Одной из основных проблем при распределении природного газа является небаланс – разница между количеством вещества, поступившим в трубопроводную сеть устойчивой структуры газораспределения, и отобранным из нее участниками коммерческого учета за сутки или за отчетный период. К наиболее часто встречающимся причинам небаланса относятся погрешность измерений, технологические потери, несанкционированный отбор, аварийные ситуации, несовершенство системы учета газа, потребляемого конечным пользователем и пр.

Основными документами, регулируемыми рыночные отношения составления баланса газа в системе поставки и потребления, являются «Правила учета газа», утвержденные Минэнерго России с изменениями от 2014 г. [9], типовая методика выполнения измерений объемов природного газа в реальных условиях эксплуатации при взаимных расчетах между поставщиком и потребителями [10], методика определения расходов газа на технологические нужды предприятий газового хозяйства и потерь в системах распределения газа (утв. Приказом Минэнерго России от 01.08.2001 № 231 [11], методика оценки энергоэффективности газотранспортных объектов и систем СТО Газпром 2-3.5-113-2007 [12], методика определения запаса газа газотранспортных предприятий ОАО «Газпром» от 15.09.1999 г. [13] от 25.09.1999 и другие нормативные документы.

В соответствии с этими документами, а также в соответствии с [14, 15] величина небаланса  $Q_{\text{неб}}$  определяется как:

$$Q_{\text{неб}} = Q_{\text{потр}} - Q_{\text{пост}}, \quad (1)$$

где  $Q_{\text{пост}}$  и  $Q_{\text{потр}}$  – объемы поставленного и потребленного газа. Однако в ряде исследований [16] при определении баланса газа магистрального газопровода была выявлена необходимость учета мгновенного запаса газа. В таком случае формула (1) приобретает вид:

$$Q_{\text{неб}} = Q_{\text{потр}} - Q_{\text{пост}} + Q_{\text{запас}}, \quad (2)$$

где  $Q_{\text{запас}}$  – запас газа на рассматриваемом участке.

Согласно [8,13], для оценки запаса газа в трубопроводах в пределах газотранспортного предприятия используется формула:

$$Q = \sum_{j=1}^J Q_j, \quad (3)$$

где  $J$  – число расчетных участков.

Запас газа на участке многониточной системы магистрального газопровода при стандартных условиях определяется по формуле:

$$Q_j = \sum_{i=1}^n \frac{V_i \cdot P_{\text{ср}} \cdot 293.15}{1.033 \cdot z_{\text{ср}} \cdot 10^6 (T_{\text{ср}} + 273.15)}, \quad (4)$$

где  $V_i$  – геометрический объем нитки газопровода,  $\text{м}^3$ ;

$P_{\text{ср}}$  – среднее давление нитки газопровода,  $\text{кгс}/\text{см}^2$ ;

$n$  – число ниток магистрального газопровода;

$z_{\text{ср}}$  – средний коэффициент сжимаемости нитки газопровода;

$T_{\text{ср}}$  – средняя температура газа нитки газопровода,  $^{\circ}\text{C}$ .

Геометрический объем трубы на участке вычисляется по формуле:

$$V_i = \frac{D_{\text{вн}}^2 L}{4}, \quad (5)$$

где  $L$ ,  $D_{\text{вн}}$  – соответственно длина и внутренний диаметр нитки магистрального газопровода.

Среднее давление нитки магистрального газопровода,  $P_{\text{ср}}$ ,  $\text{кгс}/\text{см}^2$ , определяется по формуле:

$$P_{\text{ср}} = \frac{2}{3} \cdot \left( P_{\text{н}} + \frac{P_{\text{к}}^2}{P_{\text{н}} + P_{\text{к}}} \right), \quad (6)$$

где  $P_{\text{н}}$  – абсолютное давление газа в начале участка газопровода,  $\text{кгс}/\text{см}^2$ ;

$P_{\text{к}}$  – абсолютное давление газа в конце участка газопровода,  $\text{кгс}/\text{см}^2$ .

Средняя температура нитки магистрального газопровода,  $T_{\text{ср}}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ , определяется по формуле:

$$T_{\text{ср}} = T_0 + \frac{T_{\text{н}} - T_0}{aL} (1 - e^{-aL}) - D_i \frac{P_{\text{н}}^2 - P_{\text{к}}^2}{2aLP_{\text{ср}}} \left( 1 - \frac{1}{aL} (1 - e^{-aL}) \right), \quad (7)$$

где  $T_{\text{н}}$  – температура газа в начале нитки газопровода,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$T_o$  – температура окружающей среды, в случае пролегания трубопровода в грунте –  $T_{гр}$ , температура грунта на глубине заложения газопровода, обновляется ежемесячно по статистическим данным;

$a$  – расчетный коэффициент.

Усредненное значение коэффициента сжимаемости определяется по формуле:

$$z_{icp} = 1 - 0.0907 \cdot P_{icp} \cdot \left(\frac{T_{icp}}{200}\right)^{-3.668} \quad (8)$$

При анализе математических выражений видно, что учет реальной температуры грунта, зависящей от температуры окружающей среды, может оказать влияние и на расчетную величину небаланса. Однако в настоящее время в качестве температуры грунта рассматриваются нормативные величины. При этом, на основании анализа среднегодовой температуры воздуха, полученного из источников [17, 18], на примере Уфы (Рисунок 1) виден положительный тренд, что приводит к прогреванию почв. Как следствие, рекомендуемые значения в существующих методиках уже значительно отличаются от реальных вследствие изменения климата, что отрицательно влияет на достоверность учета и определения величины небаланса.

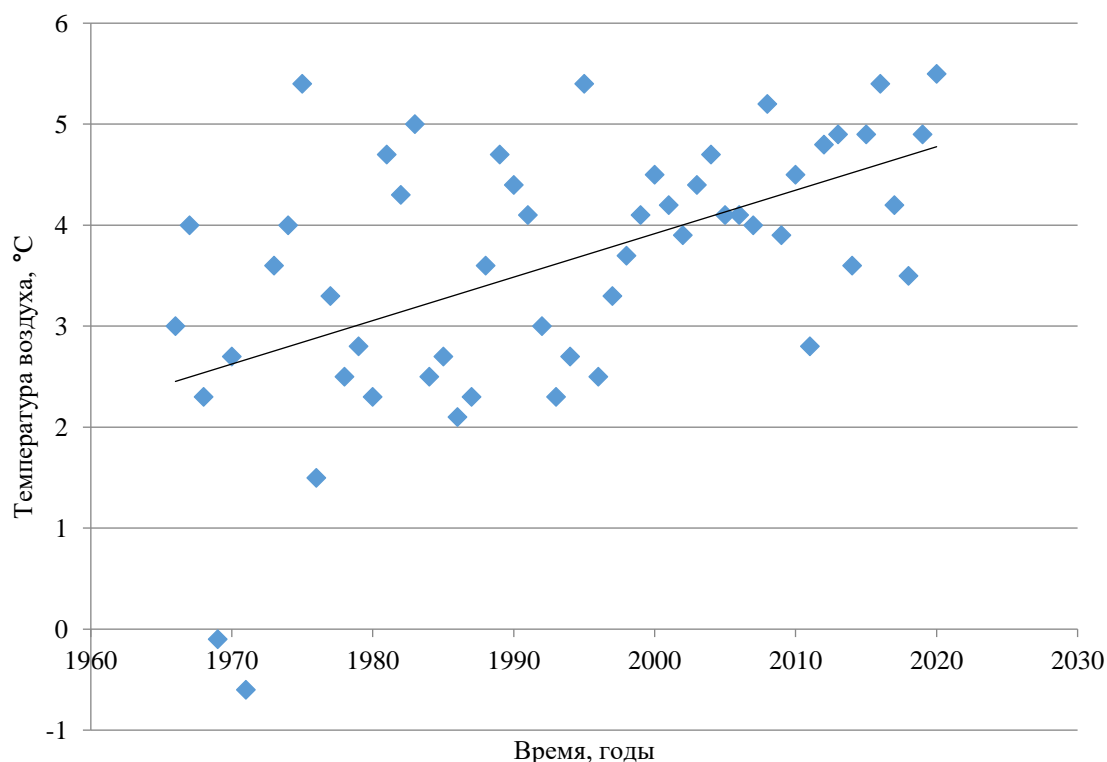


Рисунок 1 – Среднегодовая температура воздуха в Уфе за 60 лет  
 Figure 1 – Average annual air temperature in Ufa for 60 years

Для сравнения, на основе статистических данных за декабрь 2004 года по учету расхода газа участка региональной газораспределительной сети был осуществлен перерасчет величины запаса газа при усредненной за месяц  $T_{гр\text{уср}}$  и реальной  $T_{гр\text{реал}}$ , с применением данных по температурам воздуха и грунта, полученных из [17, 18]. Оказалось, что всего за 1 месяц на участке, включающем всего 3 газораспределительные станции (в рассматриваемом регионе их количество более 150), разница составила 8.44 тыс. м<sup>3</sup>. При стоимости 1 кубометра газа, равной порядка 5 рублей, в денежном

выражении годовая ошибка в сведении баланса, даже на таком малом участке, может составить около полумиллиона рублей.

Часть данных представлена в Таблице 1.

Объем трубы на участке ( $\text{м}^3$ )  $V = 224440,73 \text{ м}^3$

Таблица 1 – Данные по расходу газа на участке газораспределительной сети

Table 1 – Data on gas consumption at the section of the gas distribution network

Дата	$P_{\text{ср.абс}}$ (кгс/см <sup>2</sup> ) трубы	$T_{\text{ср}}$ газа в трубе: °C	$Z_{\text{ср}}$	$T_{\text{гр.уср}}$ , °C	Изменение запаса газа, с учетом $T_{\text{гр.уср}}$ , $Q_{\text{запас}}$ , тыс.м <sup>3</sup>	$T_{\text{гр.реал}}$ °C	Изменение запаса газа, с учетом $T_{\text{гр.реал}}$ , $Q_{\text{запас.реал}}$ , тыс.м <sup>3</sup>
1.12	61,72	19,15	0,89	5,20	261,91	4,05	259,35
2.12	63,44	20,49	0,89	5,20	359,46	3,95	355,69
3.12	64,15	20,82	0,89	5,20	164,36	3,90	163,00
4.12	64,31	20,60	0,89	5,20	60,72	3,80	60,27
5.12	64,54	19,67	0,89	5,20	138,29	3,70	139,71
6.12	64,77	19,19	0,89	5,20	102,00	3,60	102,48
...	...	...	...				
27.12	53,00	20,38	0,91	5,20	177,27	1,95	176,85
28.12	53,67	20,24	0,91	5,20	183,17	1,85	182,85
29.12	54,34	20,23	0,90	5,20	175,95	1,80	175,39
30.12	55,00	19,18	0,90	5,20	243,15	1,75	246,84
31.12	55,67	18,80	0,90	5,20	202,11	1,70	203,17

### Результаты исследований и обсуждение

С применением регрессионного анализа к статистическим данным по учету расхода газа участка региональной газораспределительной сети, были построены модели прогнозирования величины запаса газа в трубопроводе. Регрессионный анализ – набор статистических методов исследования влияния одной или нескольких независимых переменных, предикторов, на зависимую переменную, который может быть реализован с помощью таких инструментов, как линейная регрессия, деревья решений, машина опорных векторов, нейронные сети и др. [20, 24],

Рассмотрены данные по расходу газа на участке газораспределительной трубы со следующими параметрами:

- 1) дата, дни;
- 2) абсолютное давление в трубопроводе  $P_{\text{ср.абс}}$  (кгс/см<sup>2</sup>);
- 3) средняя температура в трубопроводе  $T_{\text{ср}}$ , °C;
- 4) средний коэффициент сжимаемости газа в трубопроводе  $Z_{\text{ср}}$ ;
- 5) реальная ежедневная температура грунта  $T_{\text{гр.реал}}$ , °C;
- 6) изменение запаса газа в трубопроводе,  $Q_{\text{запас.реал}}$ , тыс. м<sup>3</sup> при  $T_{\text{гр.реал}}$ ;
- 7) расход газа на рассматриваемом участке трубопровода,  $Q$  (млн. м<sup>3</sup>).

Последний параметр инвариантен к температуре грунта, однако его удобно использовать для контроля результатов.

С использованием среды Matlab [19] к данным были применены различные методы регрессии, наилучшие результаты показаны в Таблице 2. Представленные методы можно кратко описать следующим образом:

– SVM (машина опорных векторов, support vector machine [21]) – набор схожих алгоритмов обучения с учителем, использующихся для задач классификации и регрессионного анализа. Особым свойством метода опорных векторов является непрерывное уменьшение эмпирической ошибки классификации и увеличение зазора, поэтому метод также известен как метод классификатора с максимальным зазором. Основная идея метода – перевод исходных векторов в пространство более высокой размерности и поиск разделяющей гиперплоскости с наибольшим зазором в этом пространстве [20].

– GP Gaussian [22] – непараметрический, байесовский подход к регрессии в области машинного обучения. GPG имеет несколько преимуществ: он хорошо работает с небольшими наборами данных и способен обеспечивать измерения в условиях неопределенности прогнозов.

– Нейронная сеть (искусственная нейронная сеть, ИНС) – математическая модель, а также ее программное или аппаратное воплощение, построенная по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей – сетей нервных клеток живого организма [23, 24]. Нейросетевая регрессия имеет преимущество нелинейности (в дополнение к сложности), которую можно ввести с сигмоидной и другими нелинейными функциями активации.

Для оценки качества модели была применена кросс-валидация – метод формирования обучающего и тестового множеств для обучения аналитической модели в условиях недостаточности исходных данных или неравномерного представления классов [25].

Кросс-валидация имеет два основных преимущества по сравнению с применением одного множества для обучения и одного – для тестирования модели:

1. Распределение классов оказывается более равномерным, что улучшает качество обучения.

2. Если при каждом цикле обучения оценить выходную ошибку модели и усреднить ее, то полученная оценка будет более достоверной [25].

Для оценки качества моделей выбраны следующие величины:

1. Средняя квадратическая ошибка RMSE (Root Mean Square Error) – это среднее значение расстояния от каждой точки (тестовой выборки) до прогнозируемой регрессионной модели [22] (Рисунок 2);

2. Коэффициент детерминации R-Squared – доля дисперсии зависимой переменной, объясняемая рассматриваемой моделью зависимости [22].

В Таблице 2 представлены параметры точности исследованных моделей.

Оценить относительную величину ошибки можно, разделив RMSE на медиану ряда значений запаса газа из выборки, относительная ошибка составит  $21.601 / 160 \approx 13\%$ .

На графике отклика [19] можно увидеть результаты обучения регрессионной модели зависимости величины запаса газа от входных факторов: абсолютного давления и средней температуры газа в трубопроводе, среднего коэффициента сжимаемости, температуры грунта и расхода газа. Прогнозируемый отклик отображается в сравнении с номером записи на основе отложенных (тестовых) наблюдений. График показывает высокую точность предсказаний (Рисунок 2). Вертикальной чертой указана ошибка предсказаний.



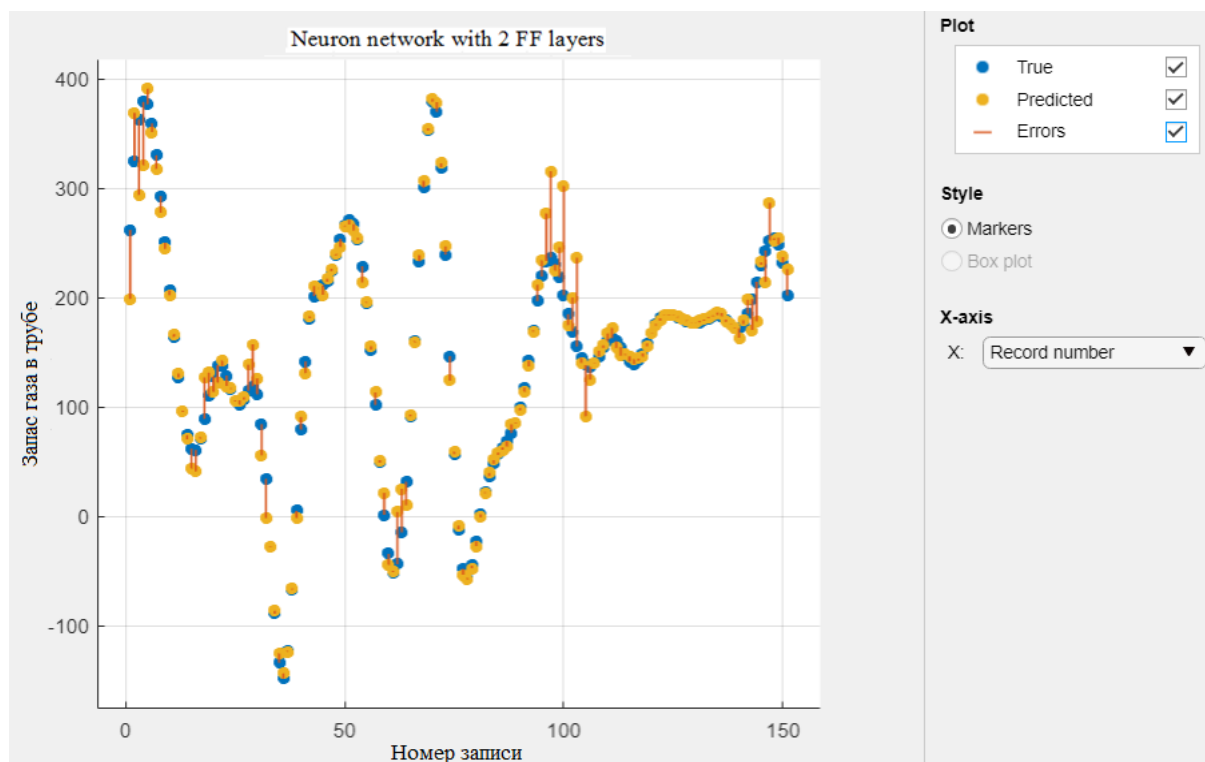


Рисунок 2 – Результаты обучения регрессионной модели, прогнозируемый отклик  
Figure 2 – The results of training the regression model, the predicted response

Для проверки качества работы модели построен график ошибок (residuals) [19]. График ошибок отображает разницу между предсказанным и истинным ответами. Обычно в хорошей модели остатки примерно симметрично разбросаны вокруг нуля. Если видны какие-либо четкие закономерности в остатках, вероятно, можно улучшить модель: изменить гиперпараметры в модели регрессии или использовать больше данных.

Это могут быть следующие закономерности:

- остатки не распределяются симметрично вокруг 0;
- остатки значительно изменяются в размере слева направо на графике;
- возникают выбросы, то есть остатки, которые намного больше остальных остатков;
- в невязках (ошибках) появляется четкая нелинейная картина.

По представленному на Рисунке 3 графику можно сделать предположение, что модель работает хорошо, однако можно убрать отдельные выбросы путем подстройки гиперпараметров алгоритма.

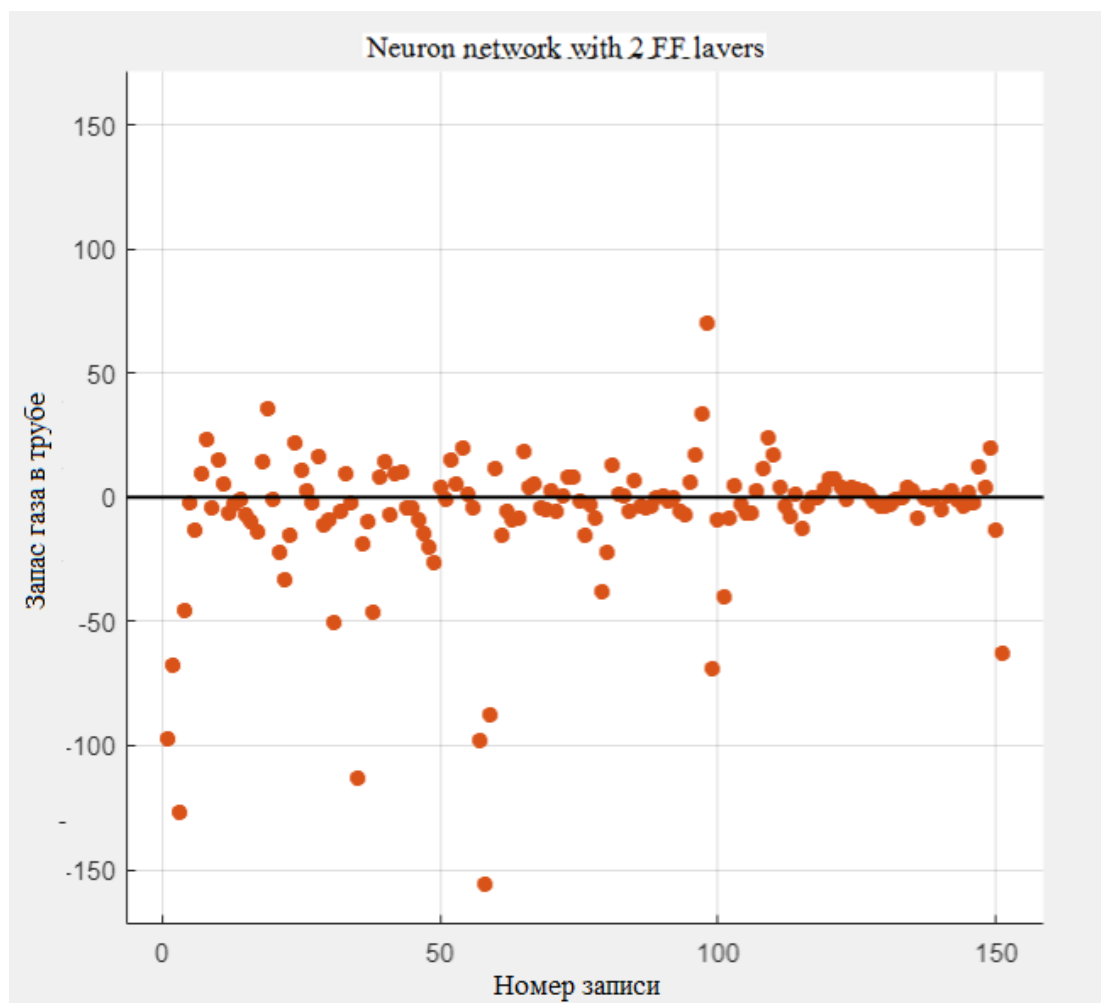


Рисунок 3 – График ошибок модели  
Figure 3 – Model error graph

Далее величина запаса газа учитывается в определении баланса газа по формуле (2).

Таблица 2 – Параметры точности исследованных моделей  
Table 2 - Parameters of accuracy of the investigated models

Модель	Ошибка RMSE (Validation)	R-Squared (Validation)
SVM	27.601	0.965
GP Gaussian	26.889	0.965
Нейронная сеть с тремя полносвязными слоями	31.601	0.97
<b>Нейронная сеть с двумя полносвязными слоями</b>	<b>21.601</b>	<b>0.96</b>
Нейронная сеть с одним полносвязным слоем	22.344	0.96

Модель контроля баланса газа тогда может выглядеть таким образом (Рисунок 4):



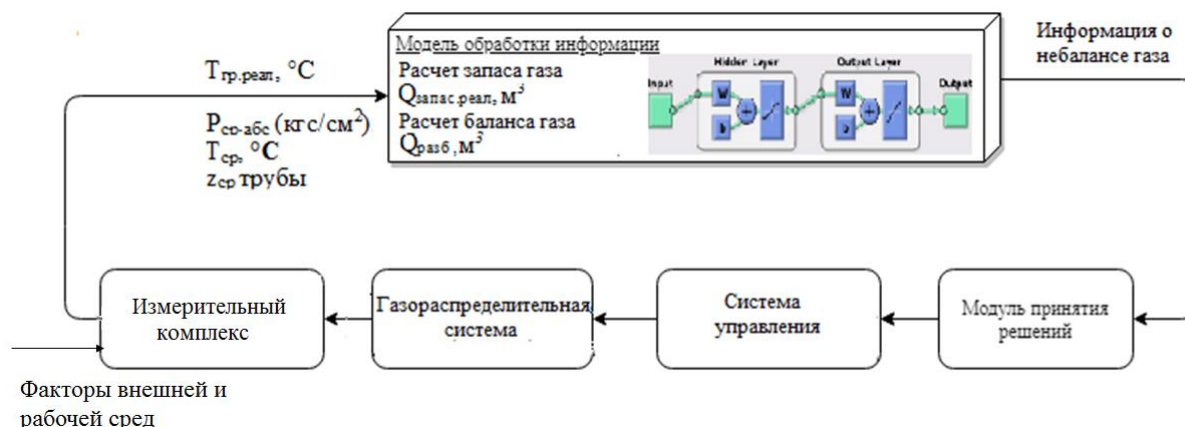


Рисунок 4 – Модель контроля баланса газа на основе регрессионного анализа запаса газа  
Figure 4 – Gas stock regression analysis-based gas balance control model

Следующим этапом в среде Matlab исследованы наиболее значимые признаки, определено количество использований регрессионной моделью различных входных параметров при расчетах. Для рассматриваемых регрессионных моделей такими параметрами оказались абсолютное давление в трубопроводе, температура грунта и расход газа на участке (Рисунок 5, по вертикальной оси – количество использований).

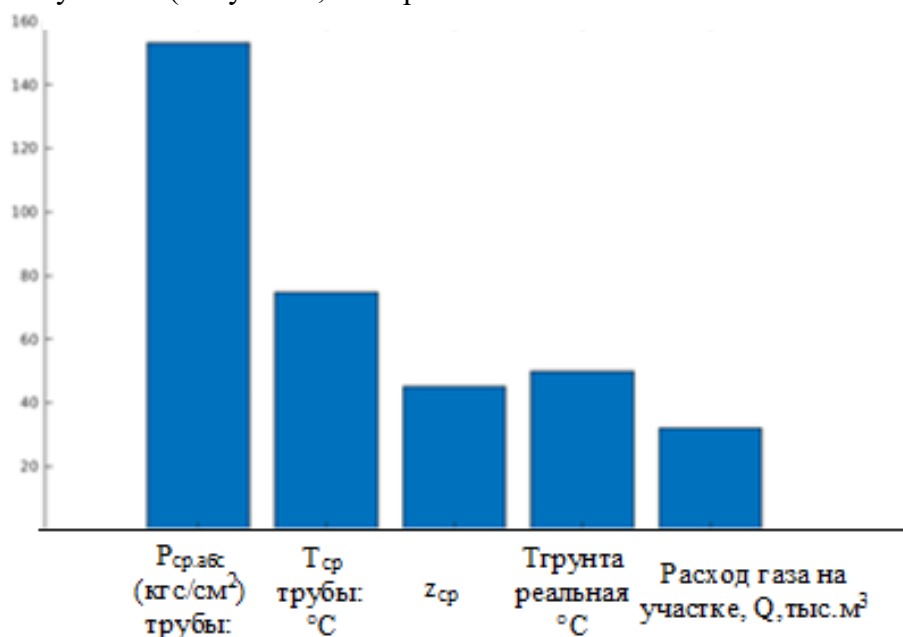


Рисунок 5 – Количество использований моделью входных параметров  
Figure 5 – The number of uses of the input parameters by the model

Кроме того, в целях обеспечения баланса важно знать знак величины запаса в трубопроводе. Для этого исследована возможность кластеризации данных. Применены методы K-средних, Gmdistribution, Linkage, показавшие одинаковое число явно выраженных кластеров (два), которые можно интерпретировать как положительную и отрицательную разницу в запасе газа в газопроводе. Графики исходных параметров, результирующей величины запаса газа и кластеров представлены на Рисунке 6, нижний график показывает знак динамики запаса газа (0 – отрицательный, 1 – положительный).

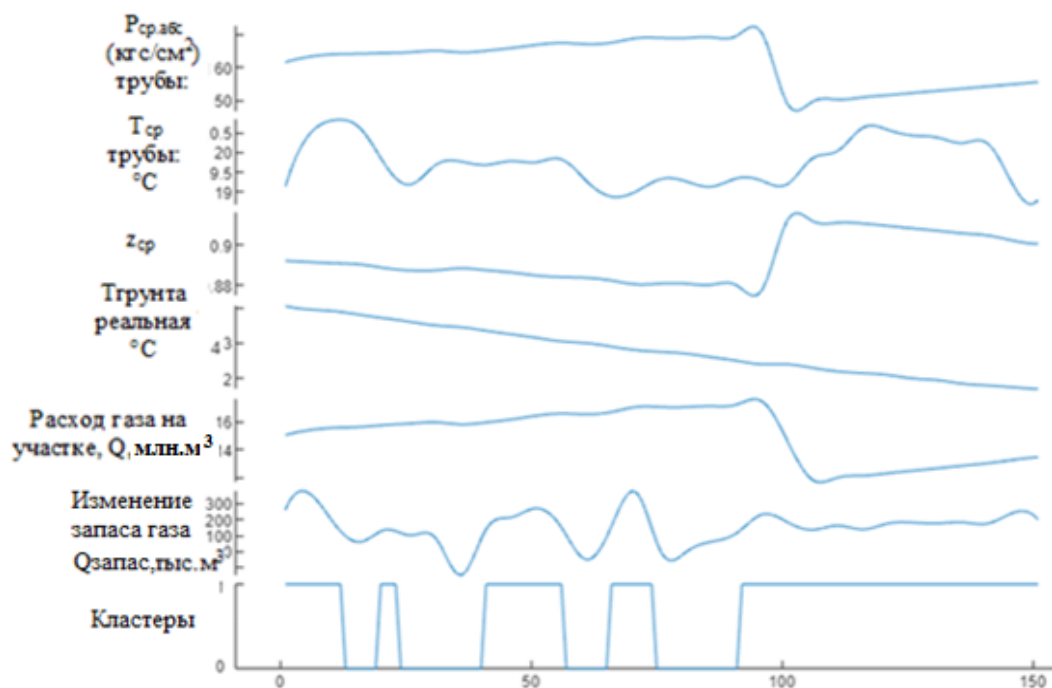


Рисунок 6 – Входные параметры, результирующая величина запаса газа и кластеры  
Figure 6 – Input parameters, resulting gas stock and clusters

На основе вышеизложенных результатов предлагается следующий алгоритм контроля запаса газа:

1. Старт:
2. Рабочий цикл:
  - 2.1. Расчет значения запаса газа на основе текущих показаний средств измерений объема газа и усредненных значений температуры грунта.
  - 2.2. Расчет значения запаса газа с помощью регрессионной модели и реальных значений температуры.
  - 2.3. Сравнение текущих показаний определения баланса газа с данными регрессионной модели с учетом текущих значений температуры грунта.
  - 2.4. Если показания соответствуют расчетам регрессионной модели, данные передаются более высокому по иерархии объекту управления в рамках стандартного протокола.
  - 2.5. Если показания не соответствуют расчетам регрессионной модели, данные передаются более высокому по иерархии объекту управления в рамках нештатного или аварийного протокола.
  - 2.6. Устранение причины несоответствия данных.
  - 2.7. Завершение соединения.
3. Завершение цикла
  - 3.1. Штатно: выполняется управляющим центром по завершении сеанса обмена данными с объектом управления.
  - 3.2. Принудительно: выполняется при обнаружении ошибок.
4. Новый рабочий цикл.

В ходе дальнейших исследований могут быть построены регрессионные модели с уточненными гиперпараметрами, а также рассмотрен вывод уточненного аналитического выражения для определения величины запаса газа.

## Заключение

В рамках работы проведено исследование возможности расчета величины запаса газа в зависимости от реальной температуры грунта в задаче учета газа, предложено решение задачи прогнозирования с помощью регрессионных моделей, осуществлена кластеризация данных по запасу газа для дальнейшей классификации знака запаса газа. Результаты исследования могут получить развитие с целью разработки программного обеспечения и последующей интеграции в комплексных вычислительных системах.

В перспективе возможно повышение качества предсказания за счет использования более сложных моделей и расширения обучающей выборки. Кроме того, в дальнейшем планируется расширение номенклатуры предсказываемых параметров.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Хворов Г.А., Козлов С.И., Акопова Г.С., Евстифеев А.А. Сокращение потерь природного газа при транспортировке по магистральным газопроводам ОАО «Газпром». *Газовая промышленность*.2013;12:66–9
2. Горбунов С.С., Констандян А.В., Дубинин В.А., Констандян В.А. Построение системы идентификации источников и причин небаланса газа в газотранспортной системе, *Газовая Промышленность* 2019;2:68-76
3. Николаев В.П., Филиппов А.Д., Минченко А.В. Совершенствование оперативного учета газа, *Газовая Промышленность*2018;2:64-71
4. Тухбатуллин Ф.Г., Семейченков Д.С., Тухбатуллин Т.Ф. Метрологический фактор наличия разбаланса в системе «ГРС – Потребитель»; *Труды РГУ Нефти и Газа (НИУ) им. И.М. Губкина*, 2017;4:86-94
5. Тухбатуллин Ф.Г., Семейченков Д.С. О причинах разбаланса природного газа в системе газораспределения и методах прогнозирования его величины; *Территория «НЕФТЕГАЗ»* 2017;6:14–20
6. Крымский В. Г., Жалбеков И. М., Имильбаев Р. Р., Юнусов А. Р. Автоматизация управления технологическими процессами в газораспределительных сетях: проблемы, тенденции и перспективы / *Электротехнические и информационные комплексы и системы*.2013;9(2):70-79
7. Скорнякова П.Ю., Земенкова М.Ю. Организация и оценка эксплуатационной надежности и технического состояния газораспределительных сетей на основе систем контроля и мониторинга в режиме реального времени. Материалы Международной научно-технической конференции «Транспорт и хранение углеводородного сырья» 2019;4:285-93.
8. СТО ГАЗПРОМ 2-3.5-051-2006 Нормы технологического проектирования магистральных газопроводов.
9. Правила учета газа, Министерство Энергетики Российской Федерации, Приказ от 30 декабря 2013 года N 961 «Об утверждении Правил учета газа» (с изменениями на 26 декабря 2014 года).
10. ПР 50. Количество природного газа. Типовая методика выполнения измерений объемов природного газа в реальных условиях эксплуатации при взаимных расчетах между поставщиком и потребителями, ФГУП ВНИИМС, Москва 2003.
11. РД 153-39.4-079-01 «Методика определения расходов газа на технологические нужды предприятий газового хозяйства и потерь в системах распределения газа» (утв. Приказом Минэнерго России от 01.08.2001 №231.
12. СТО Газпром 2-3.5-113-2007 Методика оценки энергоэффективности газотранспортных объектов и систем.

13. Методика определения запаса газа газотранспортных предприятий ОАО «Газпром» от 15.09.1999.
14. Перчик, А.И. Краткий словарь-справочник по экономике нефтегазодобывающей промышленности. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Недра, 1976.
15. Бренц А.Д. *Организация, планирование и управление на предприятиях транспорта и хранения нефти и газа* : учебник для вузов / [и др.] М. : Недра, 1980.
16. Глухов Д.О.; Глухова Т.М.; Андриевский А.П.; Янушонок А.Н. Баланс газа в системе взаимосвязанных магистральных газопроводов в рамках неизотермической стационарной модели транспортировки газа. *Строительство. Прикладные науки. Инженерные сети*. 2018;16:107-109.
17. База данных Международной Метеорологической организации (WMO) Доступно по: <https://www7.ncdc.noaa.gov/CDO/dataproduct>.
18. Госфонды Гидрометеоцентра. Доступно по: <http://meteo.ru/>.
19. Дьяконов В.П., Круглов В.В. *MATLAB 6.5 SP1/7/7 SP1/7 SP2 + Simulink 5/6. Инструменты искусственного интеллекта и биоинформации*. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2006.
20. Шашков В.Б. *Прикладной регрессионный анализ. Многофакторная регрессия: Учебное пособие*.- Оренбург: ГОУ ВПО ОГУ.
21. Vladimir N. Vapnik. *The Nature of Statistical. Learning Theory*. Second Edition. Springer Verlag NY, 2005.
22. Rasmussen C. E. & Williams C. K. I., *Gaussian Processes for Machine Learning*, Massachusetts Institute of Technology, 2006.
23. Хайкин С. *Нейронные сети. Полный курс*. Вильямс, 2018.
24. Сообщество IT специалистов. Доступно по: <https://habr.com/ru/company/mailru/blog/513842/>
25. Andrew NG: AI for Everyone; DeepLearning.AI. Доступно по: [www.coursera.org/learn/ai-for-everyone](http://www.coursera.org/learn/ai-for-everyone)

## REFERENCES

1. Khvorov G.A., Kozlov S.I., Akopova G.S., Evstifeev A.A. Reduction of natural gas losses during transportation through the main gas pipelines of OAO Gazprom. *Gas industry*. 2013;12:66–9
2. Gorbunov S.S., Konstandyan A.V., Dubinin V.A., Konstandyan V.A. Construction of a system of identification and reasons for gas imbalance in the gas transmission system, *Gas Industry* 2019;2:68-76. (In Russ.)
3. Nikolaev V.P., Filippov A.D., Minchenko A.V. Improving operational gas metering, *Gas Industry* 2018;2:64-71. (In Russ.)
4. Tukhbatullin F.G., Semeichenkov D.S., Tukhbatullin T.F. The metrological factor of the presence of an imbalance in the system "GDS - Consumer"; *Proceedings of the Russian State University of Oil and Gas (SRU) named after I.M. Gubkin*, 2017;4:86-94. (In Russ.)
5. Tukhbatullin F.G., Semeichenkov D.S. On the reasons for the imbalance of natural gas in the gas distribution system and methods for predicting its value // Territory "NEFTEGAZ" 2017;6:14–20. (In Russ.)
6. Krymsky V. G., Zhalbekov I. M., Imilbaev R. R., Yunusov A. R Automation of control of technological processes in gas distribution networks: problems, trends and prospects. /*Electrical and information complexes and systems* 2013;9(2):70-9. (In Russ.)
7. Skornyakova P.Yu., Zemenkova M.Yu. Organization and assessment of the operational reliability and technical condition of gas distribution networks based on monitoring and monitoring in real time. Materials of the scientific and technical conference "Transport and

- storage of hydrocarbons". 2019;4:285-93. (In Russ.)
8. STO GAZPROM 2-3.5-051-2006 Standards for technological design of main gas pipelines. (In Russ.)
  9. Gas metering rules, Ministry of Energy of the Russian Federation, Order of December 30, 2013 N 961 "On approval of the Gas metering rules" (with changes on December 26, 2014). (In Russ.)
  10. PR 50. The amount of natural gas. Typical method for measuring natural gas exploitation in real conditions in mutual settlements between suppliers and consumers, FGUP VNIIMS, Moscow, 2003. (In Russ.)
  11. RD 153-39.4-079-01 "Methodology for determining gas consumption for the technological needs of gas facilities and gas distribution systems" (approved by Order of the Ministry of Energy of Russia dated 01.08.2001 No. 231. (In Russ.)
  12. STO Gazprom 2-3.5-113-2007 Methodology for assessing the energy efficiency of gas transmission facilities and systems. (In Russ.)
  13. Methodology for determining the gas reserves of gas transmission enterprises of OAO Gazprom dated 15.09.1999. (In Russ.)
  14. Perchik, A.I. A short dictionary-reference book on the economics of the oil and gas industry. Ed. 2nd, rev. and add. - M.: Nedra, 1976. (In Russ.)
  15. A.D. Brenz *Organization, planning and management at the enterprises of transport and storage of oil and gas: textbook for universities* / [et al.]. - M.: Nedra, 1980. (In Russ.)
  16. Glukhov D.O.; Glukhova T.M.; Andrievsky A.P.; Janushonok A.N. Gas balance in the system of interconnected gas pipelines within the framework of a non-isothermal stationary model of gas delivery. *Construction. Applied Science. Engineering networks* 2018;16. (In Russ.)
  17. Database of the International Meteorological Organization (WMO). Available at: <https://www7.ncdc.noaa.gov/CDO/dataproduct>. (In Russ.)
  18. State Funds of the Hydrometeorological Center Available at: <http://meteo.ru/>. (In Russ.)
  19. Dyakonov V.P., Kruglov V.V. *MATLAB 6.5 SP1 / 7/7 SP1 / 7 SP2 + Simulink 5/6. Artificial intelligence and bioinformation tools*. - M.: SOLON-PRESS, 2006.- 456 p. (In Russ.)
  20. Shashkov V. B. *Applied regression analysis. Multifactorial regression: Textbook*. - Orenburg: GOU VPO OSU, 2003. (In Russ.)
  21. Vladimir N. Vapnik. *The nature of statistics. Learning theory*. Second edition. Springer Verlag NY, 2005.
  22. Rasmussen C. E. & Williams C. K. I., *Gaussian Processes for Machine Learning*, Massachusetts Institute of Technology, 2006.
  23. Haykin S. *Neural networks. Complete course*. Williams, 2018, 1104 p.
  24. The community of IT specialists. Available at: <https://habr.com/ru/company/mailru/blog/513842/>
  25. Andrey N.G: AI for everyone; DeepLearning AI. Available at: [www.coursera.org/learn/ai-for-everyone](http://www.coursera.org/learn/ai-for-everyone)

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Синица Александр Михайлович**, ассистент Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета, Санкт-Петербург, Российская Федерация.

*e-mail:* [amsinitca@etu.ru](mailto:amsinitca@etu.ru)

ORCID: [0000-0001-9869-4909](https://orcid.org/0000-0001-9869-4909)

**Sinitca Alexandr Mikhailovich**, Assistant At The St. Petersburg State Electrotechnical University, St. Petersburg, Russian Federation.

**Петрова Айгуль Камилловна**, старший преподаватель Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета, Санкт-Петербург, Российская Федерация.

*e-mail:* [ak72p@yandex.ru](mailto:ak72p@yandex.ru)

ORCID: [0000-0002-1613-2097](https://orcid.org/0000-0002-1613-2097)

**Petrova Aigul Kamilovna**

Senior Lecturer, St. Petersburg State Electrotechnical University, St. Petersburg, Russian Federation.

**Лашманова Наталья Викторовна**, доктор технических наук, профессор Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета, Санкт-Петербург, Российская Федерация

*e-mail:* [natalasha2007@mail.ru](mailto:natalasha2007@mail.ru)

**Lashmanova Natalia Viktorovna**, Doctor Of Technical Sciences, Professor, St. Petersburg State Electrotechnical University, St. Petersburg, Russian Federation/

Статья поступила в редакцию 10.04.2021; одобрена после рецензирования 18.09.2021; принята к публикации 23.09.2021.

The article was submitted 10.04.2021; approved after reviewing 18.09.2021; accepted for publication 23.09.2021.