

УДК 622.691

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБЪЕМА ПЕРЕКАЧКИ ПРИРОДНОГО
ГАЗА ПРИ СНИЖЕНИИ ЗАГРУЗКИ МАГИСТРАЛЬНЫХ
ГАЗОПРОВОДОВ**

**ESTIMATES TRANSFER OF NATURAL GAS REDUCTION
IN THE MAIN DOWNLOAD PIPELINE**

Китаев С. В., Галикеев А. Р., Гадельшина А. Р.

**Уфимский государственный нефтяной технический
университет, г. Уфа, Российская Федерация
ООО «Газпром газнадзор» г. Уфа, Российская Федерация**

S. V. Kitaev, A. R. Galikeev, A. R. Gadelshina

**Ufa State Petroleum Technological, Ufa, the Russian Federation
LLC “Gazprom Gaznadzor”, Ufa, the Russian Federation**

e-mail: Svkitayev@mail.ru

Аннотация. Рациональное обеспечение магистрального транспорта природного газа в условиях снижения загрузки магистральных газопроводов сопровождается усложнением технологий и совершенствованием систем управления потоками газа. Важная роль при этом отводится системному развитию методов диспетчерского управления, одним из направлений которого является внедрение результатов исследований фактических эксплуатационных характеристик оборудования, базирующихся на современных математических моделях и технологиях. Прикладные информационные системы находят все большее применение в задачах эффективного использования оборудования в магистральном транспорте газа.

Приоритетной научно-технической проблемой ПАО «Газпром» является совершенствование технологий магистрального транспорта газа.

В связи с этим, одним из перспективных направлений исследований является создание математических моделей и методов прогнозирования объемов перекачки природного газа по магистральным газопроводам для решения задач нормирования и планирования при диспетчерском управлении. Разработанные ранее технологии прогнозирования ориентированы в основном на стационарные условия и использование удельных норм расхода природного газа на собственные нужды компрессорных станций. Современные условия функционирования газотранспортной системы характеризуются снижением объемов перекачки природного газа из года в год.

Снижение объемов перекачки с одновременным увеличением неравномерности подачи газа может быть причиной повышенного расхода топливного газа, на нужды перекачки и снижения экономических показателей вследствие изменения параметров работы компрессорных станций.

В работе произведена оценка вида распределения данных по объему перекачки газа по трехниточному коридору магистральных газопроводов, по которому перекачивается 1/5 часть всего добываемого в РФ природного газа. Получены рекомендации по прогнозированию объема перекачки природного газа по магистральным газопроводам в условиях снижения загрузки магистральных газопроводов.

Abstract. Efficient natural gas trunkline transportation in conditions of gas trunklines load reduction accompany increasing complexity of technology and natural gas traffic management systems improvement. An important role is given to development dispatching management systems one of which trends is implementing practical research of equipment results based on advanced mathematic models and technologies. Increase applied information systems use for solving problems of gas trunkline equipment effective operation.

Priority sci-tech challenge of PJSC «Gazprom» is improving technologies of gas trunkline transportation.

In this regard, one of the most promising areas of research is mathematic models and forecasting volume of pumping natural gas through main pipelines methods development for solving rationing problems and dispatching management planning. Earlier prediction technology focus mainly on the stationary conditions and use specific natural gas consumption norms for technological needs of compressor stations. Modern conditions of gas transmission system functioning characterize by decreasing pumping volumes of natural gas each year.

Decreasing pumping volumes and increasing inequality of gas supply may cause increasing gas consumption for pumping needs and reducing economic indicators due to changing operation parameters of compressor stations.

The paper evaluate the type of data distribution in terms of pumping gas through three thread corridor gas trunklines through which 1/5 of the total natural gas produced in the Russian Federation is pumped. Recommendations on estimates natural gas pumping volumes in case of declining load of main gas pipelines obtained.

Ключевые слова: магистральный транспорт газа, прогнозирование, эффективность, неравномерность перекачки, снижение загрузки магистральных газопроводов.

Key words: natural gas trunkline transportation, forecasting, efficiency, transportation inequality, decrease load of trunk pipelines.

Энергоэффективное обеспечение магистрального транспорта природного газа в условиях снижения загрузки магистральных газопроводов (МГ) сопровождается усложнением технологий и совершенствованием систем управления потоками газа и выбором рациональных режимов работы оборудования [1-5].

Для получения достоверных результатов нормирования и планирования режимов работы компрессорных станций (КС) и схем включения газоперекачивающих агрегатов (ГПА), проводимой на основе теоретических расчетов, необходимо использовать фактические данные по выбранным критериям за большой промежуток времени. Основным целевым параметром в магистральном транспорте природного газа является объем перекачки в единицу времени.

На рисунке 1 приведена динамика изменения объема перекачки газа по Новопсковскому коридору МГ за 1996-2015 гг.

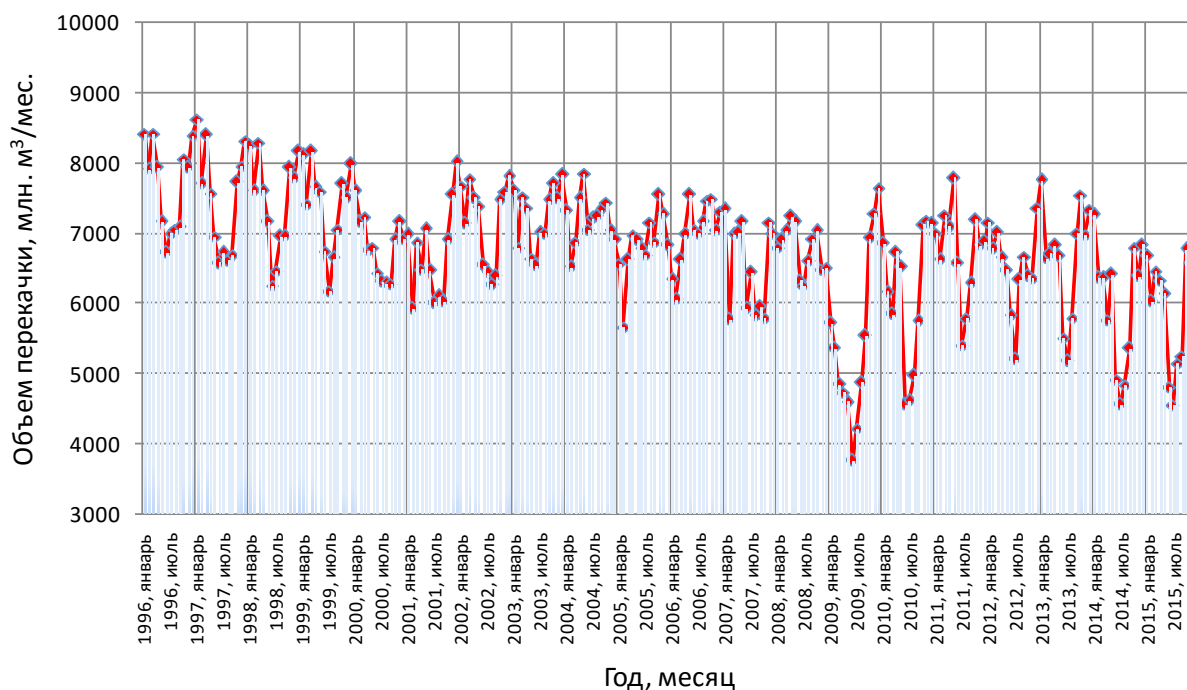


Рисунок 1. Динамика изменения объема перекачки газа по Новопсковскому коридору МГ за 1996-2015 гг.

Как следует из рисунка 1 в период времени 1996-2015 гг. происходит снижение объема перекачиваемого газа по Новопсковскому коридору МГ. На 2015 г. объем перекачки снизился на 21,5% по сравнению с 1996 г.

Неравномерность подачи газа по газопроводам в течение года характеризуется следующими показателями [6]:

$$\beta = \frac{Q_{\max} - Q_m}{Q_m}; \alpha = \frac{Q_{\max}}{Q_{\min}}; \gamma = \frac{Q_m}{Q_{\max}},$$

где Q_{\max} – максимальная среднесуточная подача газа за месяц в разрезе календарного года;

Q_m – среднесуточная подача газа за год в целом;

Q_{\min} – минимальная среднесуточная подача газа за месяц в разрезе календарного года.

На рисунке 2 приведено распределение показателей неравномерности подачи газа по Новопсковскому коридору МГ.

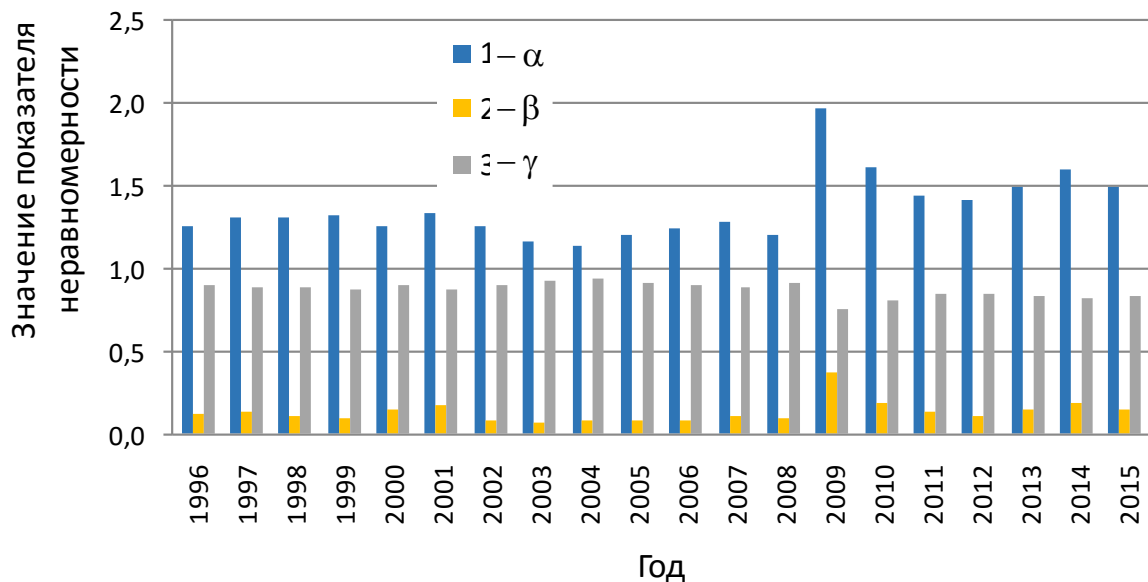


Рисунок 2. Распределение показателей неравномерности подачи газа по Новопсковскому коридору МГ

Наиболее наглядно неравномерность подачи газа в течение года характеризуется показателем β , характеризующим относительную величину изменения колебаний в подаче газа по газопроводу в течение года.

Из рисунка 2 следует, что, несмотря на наличие буферных потребителей газа и подземных газохранилищ значение показателя β варьируется в значительных пределах 0,061-0,375. Неравномерность подачи газа особенно существенно увеличилась в последнее десятилетие, в

среднем на 2015 г. по сравнению с 1996 г. неравномерность подачи газа, характеризуемая показателем β , возросла на 16,4%.

Снижение объемов перекачки с одновременным увеличением неравномерности подачи газа может быть причиной повышенного расхода топливного газа на нужды перекачки и снижения экономических показателей вследствие изменения параметров работы КС.

Произведем оценку вида распределения данных по объему перекачки газа по коридору МГ. Для обработки данных (рисунок 1) составим вариационный ряд, для чего последовательность данных представим в порядке возрастания.

Таким образом, число интервалов составит

$$K = 1 + 3,322 \lg 240 = 8,907, \text{ примем } 9 \text{ интервалов.}$$

По формуле Стерджеса определим величину интервала

$$h = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{K} = \frac{8620 - 3760}{9} = 540.$$

По результатам расчетов получим гистограмму распределения относительных частот (рисунок 3).

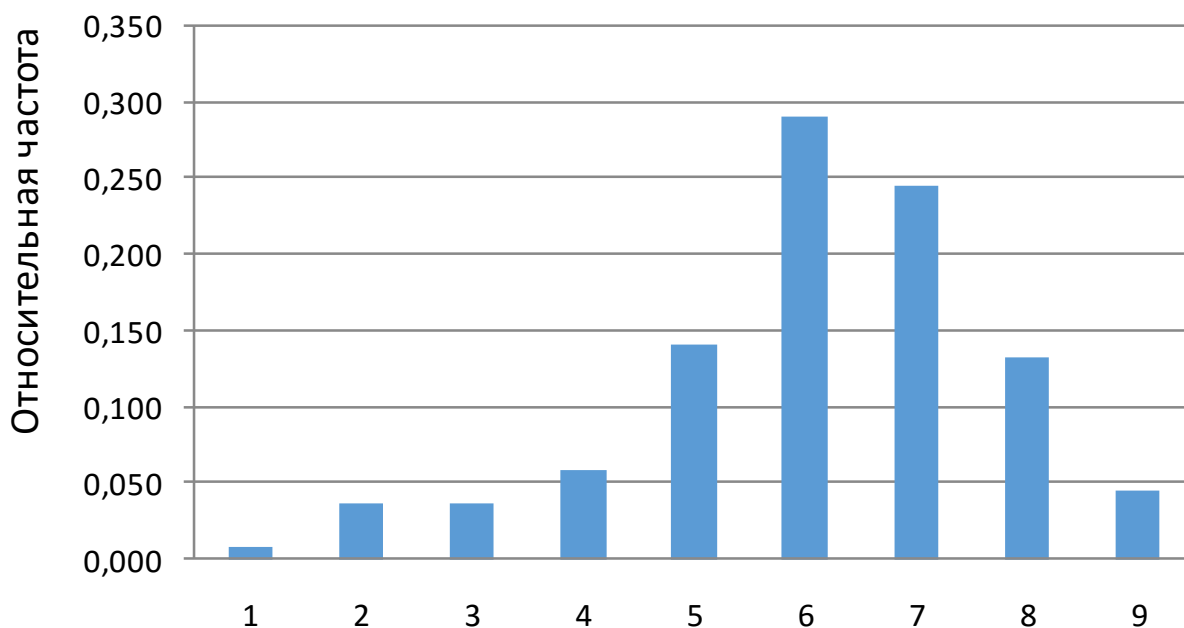


Рисунок 3. Гистограмма распределения относительных частот

Из гистограммы (рисунок 3) следует, что закон распределения похож на нормальный. Нормальное распределение определяется следующей плотностью вероятности:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

где μ и σ – параметры распределения (μ – оценка математического ожидания для массива данных, а σ – среднее квадратическое отклонение).

Сущность проверки гипотезы о законе распределения заключается в оценке по этой выборке параметров закона, определение степени согласованности выборки и выбранного закона распределения, в котором параметры заменены их оценками.

В качестве меры расхождения между теоретическим и статистическим распределением воспользуемся критерием Колмогорова А. Н., который рассматривает максимальное значение модуля разности между статистической функцией распределения $F(x)_{\text{факт}}$ и соответствующей теоретической функцией распределения $F(x)_{\text{теор}}$

$$D = \max |F(x)_{\text{факт}} - F(x)_{\text{теор}}|.$$

Основанием для выбора в качестве меры расхождения величины D является простота ее вычисления. Вместе с тем она имеет достаточно простой закон распределения. А. Н. Колмогоров доказал, что, какова бы ни была функция распределения $F(x)$ непрерывной случайной величины x , при неограниченном возрастании числа независимых наблюдений n вероятность неравенства $D\sqrt{n} \geq \lambda$ стремится к пределу:

$$P(\lambda) = 1 - \sum_{k=-\infty}^{\infty} (-1)^k e^{-2k^2\lambda^2}. \quad (2)$$

Значения вероятности $P(\lambda)$, подсчитанные по формуле (2), приведены в таблице 1.

Таблица 1. Расчетные значения вероятности $P(\lambda)$

λ	$P(\lambda)$	λ	$P(\lambda)$	λ	$P(\lambda)$
0	1,0	0,7	0,711	1,4	0,040
0,1	1,0	0,8	0,544	1,5	0,022
0,2	1,0	0,9	0,393	1,6	0,012
0,3	1,0	1,0	0,270	1,7	0,006
0,4	0,997	1,1	0,178	1,8	0,003
0,5	0,964	1,2	0,112	1,9	0,002
0,6	0,864	1,3	0,068	2,0	0,001

Схема применения критерия А. Н. Колмогорова следующая: строятся статистическая функция распределения $F(x)_{\text{факт}}$ и предполагаемая теоретическая функция распределения $F(x)_{\text{теор}}$, и определяется максимум D модуля разности между ними. Далее, определяемая величина $\lambda = D\sqrt{n}$.

По таблице 1 находится вероятность $P(\lambda)$. Это есть вероятность того, что (если величина x действительно распределена по закону $F(x)_{\text{теор}}$) за счет чисто случайных причин максимальное расхождение между $F(x)_{\text{факт}}$ и $F(x)_{\text{теор}}$ будет не меньше, чем фактически наблюдаемое. Если вероятность $P(\lambda)$ весьма мала, гипотезу следует отвергнуть как неправдоподобную; при сравнительно больших $P(\lambda)$ ее можно считать совместимой с опытными данными.

Рассчитаем математическое ожидание признака и его среднее квадратическое отклонение методом моментов, где центр $A = 6190$, а величина интервала 540.

$$m_1 = \frac{\sum x'f}{\sum f} = \frac{261,167}{240} = 1,088. \quad m_2 = \frac{(x')^2 f_{\text{факт.}}}{f_{\text{факт.}}} = \frac{932}{240} = 3,885.$$

Таким образом, $\mu = A + h \cdot m_1 = 6190 + 540 \cdot 1,088 = 6777,52$;

$$\sigma = h\sqrt{(m_2 - m_1^2)} = 540\sqrt{(3,885 - 1,088^2)} = 887,517.$$

Определим поправочный коэффициент

$$K = \frac{h \sum f_{\text{факт.}}}{\sigma} = \frac{540 \cdot 240}{887,817} = 146,025.$$

На рисунке 4 приведена функция плотности теоретических частот распределения $f(x)$.

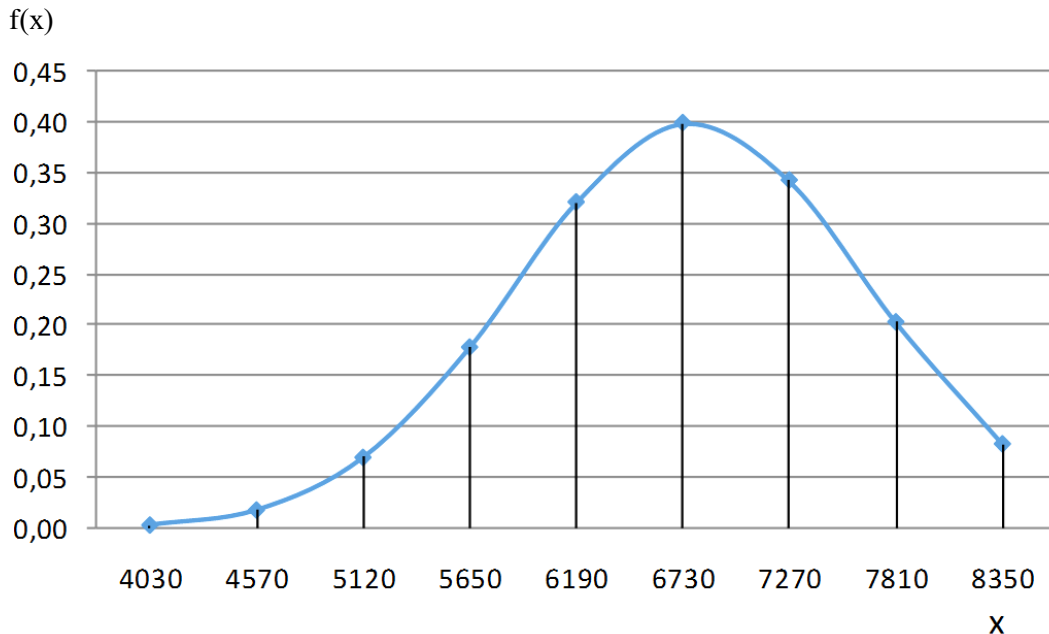


Рисунок 4. Функция плотности распределения

На рисунке 5 приведена гистограмма распределения фактического распределения и теоретическое нормальное распределение.

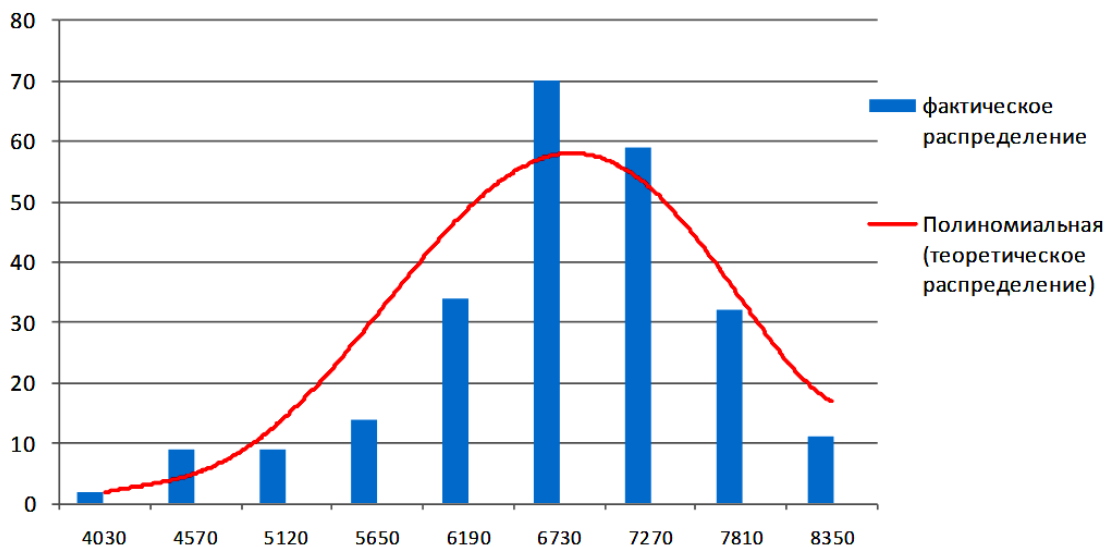


Рисунок 5. Гистограмма распределения фактического распределения и теоретического нормального распределения

Для нормального закона возможные значения случайной величины лежат в диапазоне от $-\infty$ до $+\infty$, поэтому при расчетах оценок вероятностей крайний левый и крайний правый интервалы расширяются до $-\infty$ до $+\infty$ соответственно. По графику (рисунок 6) определяем $D = 0,08$, при этом $\lambda = 0,24$. По таблице 1 определяем $P(\lambda) = 1,0$.

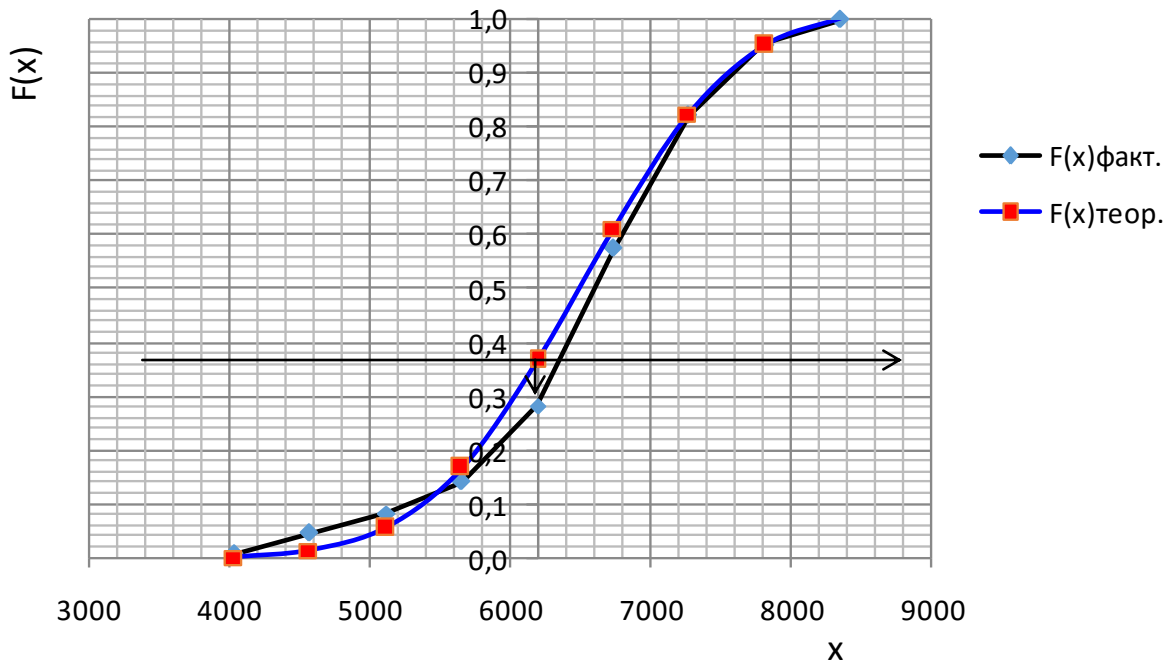


Рисунок 6. Статистическая функция распределения $F(x)_{\text{факт.}}$ и теоретическая функция распределения $F(x)_{\text{теор.}}$

Так как $P(\lambda)$ имеет высокое значение, то гипотезу следует принять, т.е. распределение является нормальным.

Таким образом, принимая гипотезу о нормальном распределении, используя правило трех сигм можно заключить, что среднемесячный объем перекачки газа будет не ниже

$$M(x) - 3\sigma = 6777,52 - 3 \cdot 887,517 = 4114,969 \text{ млн.м}^3 / \text{мес.}$$

Выводы

1. В работе произведена оценка вида распределения данных по объему перекачки газа по трехниточному коридору магистральных газопроводов, получено, что вид распределения является нормальным.

2. Получены рекомендации по прогнозированию объема перекачки природного газа по магистральным газопроводам в условиях снижения их загрузки. Принимая гипотезу о нормальном распределении, используя правило трех сигм получено, что среднемесячный объем перекачки газа составит не ниже 4114,969 млн м³/мес.

Список используемых источников

1 Байков И. Р., Китаев С. В., Шаммазов И. А. Перспективы энергоресурсосбережения в условиях длительно эксплуатируемой газотранспортной системы// Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2012. № 4. С. 9-13.

2 Байков И. Р., Кузнецова М. И., Китаев С. В. Определение показателей энергоэффективности в магистральном транспорте газа// Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2013. № 3. С. 46-49.

3 Иванов Э. С., Китаев С. В. Ресурсосберегающая технология отключения участка магистрального газопровода в ремонт с выработкой газа компрессорной станцией на ГПА и потребителя через газораспределительную станцию//Территория нефтегаз. 2015. № 6. С. 32-37.

4 Байков И. Р., Китаев С. В., Фарухшина Р. Р. Определение показателей энергоэффективности газоперекачивающих агрегатов с применением нейронных сетей// Нефтегазовое дело. 2015. № 1. С.141-152.

5 Китаев С. В. Повышение энергетической эффективности работы газоперекачивающих агрегатов: дис.... канд. техн. наук. Уфа, 2003. 162 с.

6 Козаченко А. Н., Никишин В. И., Поршаков Б. П. Энергетика трубопроводного транспорта газов: учеб. пособие. М.: ГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2001. 400 с.

References

1 Baykov I. R., Kitayev S. V., Shammazov I. A. Perspektivy energoresursosberezheniya v usloviyakh dlitelno ekspluatiruyemoy gazo-transportnoy sistemy// Transport i khraneniye nefteproduktov i uglevodorodnogo syrya. 2012. № 4. S. 9-13. [in Russian].

2 Baykov I. R., Kuznetsova M. I., Kitayev S. V. Opredeleniye pokazateley energoeffektivnosti v magistralnom transporte gaza// Transport i khraneniye nefteproduktov i uglevodorodnogo syrya. 2013. № 3. S. 46-49. [in Russian].

3 Ivanov E. S., Kitayev S.V. Resursosberegayushchaya tekhnologiya otklyucheniya uchastka magistralnogo gazoprovoda v remont s vyrabotkoy gaza kompressornoy stantsiyey na GPA i potrebitelya cherez gazoraspredeleitelnuyu stantsiyu//Territoriya neftegaz. 2015. № 6. S. 32-37. [in Russian].

4 Baykov I. R., Kitayev S. V., Farukhshina R. R. Opredeleniye pokazateley energoeffektivnosti gazoperekachivayushchikh agregatov s primeneniym neyronnykh setey// Neftegazovoye delo. 2015. № 1. S.141-152. [in Russian].

5 Kitayev S.V. Povysheniye energeticheskoy effektivnosti raboty gazoperekachivayushchikh agregatov: Dis.... kand. tekhn. nauk. Ufa, 2003. 162 s. [in Russian].

6 Kozachenko A. N., Nikishin V. I., Porshakov B. P. Energetika truboprovodnogo transporta gazov: Uchebnoye posobiye. М.: GUP Izdatelstvo «Нефт и газ» RГУ нефти и газа им. I. М. Gubkina. 2001. 400 s. [in Russian].

Сведения об авторах

About the authors

Китаев С. В., д-р техн. наук, профессор кафедры «Транспорт и хранение нефти и газа», ФГБОУ ВО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

S.V. Kitaev, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Chair «Transport and Storage of Oil and Gas», FSBEI HE USPTU, Ufa, the Russian Federation

e-mail: Svkitayev@mail.ru

Галикеев А. Р., канд. техн. наук, начальник Башкирского управления ООО «Газпром газнадзор», г. Уфа, Российская Федерация

A. R. Galikeev, Candidate of Engineering Sciences, Head of the Bashkir management of LLC “Gazprom Gaznadzor” Ufa, the Russian Federation

Гадельшина А. Р., аспирант кафедры «Транспорт и хранение нефти и газа», ФГБОУ ВО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

A. R. Gadelshina, Post-graduate Student of the Chair «Transport and Storage of Oil and Gas», FSBEI HE USPTU, Ufa, the Russian Federation