

## **Инвариантная система управления электроприводом авто газа**

Начиная с 2000г. В ОАО «Газпром» вопросы энергоэффективности и энергосбережения являются приоритетным направлением деятельности, и представляет собой комплекс программных мер, направленных на рациональное использование и экономию расхода топливно-энергетических ресурсов [1-3].

Прогнозирование и планирование электропотребления на компрессорной станции является неотъемлемой частью экономии потребления топливно-энергетических ресурсов. Основными потребителями электроэнергии на компрессорной станции с газотурбинными газоперекачивающими агрегатами являются электродвигатели с короткозамкнутым ротором: маслонасосов, пожарных насосов, компрессоров, вентиляторов общеобменной вентиляции, вентиляторов воздушного охлаждения газа и запорно-регулирующей аппаратуры.

Анализ величины расхода электроэнергии показывает, что основным потребителем электроэнергии на компрессорной станции с газотурбинными перекачивающими агрегатами и в газотранспортной системе в целом является электропривод аппарата воздушного охлаждения газа. Охлаждение газа является наиболее энергоемким процессом (от 22 % и до 48 % расхода электроэнергии на компрессорной станции с газотурбинными перекачивающими агрегатами [4, 5]).

В работе выполнена оценка потребления электрической энергии АВО газа и анализ исходных данных на участке «Петровск-Писаревка» газопровода «Уренгой-Новопсков» (установленная мощность АВО газа на каждой КС, пропускная способность КС в зависимости от режима работа АВО газа, потребление электроэнергии в течение года по месяцам, температура на входе и на выходе КС). При расчете нормативной потребности в электроэнергии для АВО газа используется СТО Газпром 3.3-2-001-2006 «Методика нормирова-

ния электроэнергии на собственные технологические нужды транспорта газа»:

$$\Pi_{\text{АВО}}^{\text{кц}} = \sum_{i=1}^{\xi} \frac{N_{\text{pi}}^{\text{АВО}} \cdot k_{\text{pi}}^{\text{АВО}} \cdot k_{\text{ui}}^{\text{АВО}}}{\eta_{\text{АВО}i}} \cdot \tau \cdot 10^{-3}, \quad (1.1)$$

где  $N_{\text{pi}}^{\text{АВО}}$  - номинальная мощность  $i$ -го электродвигателя вентилятора АВО, кВт;

$k_{\text{pi}}^{\text{АВО}}$  – нормативный коэффициент использования мощности  $i$ -го электродвигателя вентилятора АВО, с учетом регулировки угла атаки лопастей вентиляторов;

$k_{\text{ui}}^{\text{АВО}}$  – нормативный коэффициент использования  $i$ -го электродвигателя вентилятора АВО, определяемый по таблице 5.1 СТО Газпром 3.3-2-001-2006 «Методика нормирования электроэнергии на собственные технологические нужды транспорта газа»;

$\eta_{\text{АВО}i}$  - КПД  $i$ -го электродвигателя вентилятора АВО (паспортные данные);

$\tau$ - продолжительность планируемого периода работы АВО газа, ч;

$\xi$ - количество электродвигателей АВО газа.

Исходные и расчетные данные сведены в таблицу 1 и 2.

Таблица 1 – Исходные данные для оценки потребления электрической энергии АВО газа на участке «Петровск-Писаревка» газопровода «Уренгой-Новопсков»

КС, на которой рассматривается ситуация с АВО	АВО %	Пропускная способность МГ Уренгой - Новопсков по выходу КС Писаревка, млн. м <sup>3</sup> /сут.				Температура транспортируемого газа, °С							
		1 кв.	2 кв.	3 кв.	4 кв.	1 кв.		2 кв.		3 кв.		4 кв.	
						ВХОД	ВЫХОД	ВХОД	ВЫХОД	ВХОД	ВЫХОД	ВХОД	ВЫХОД
Петровск	100	–	100.6	97.3	104.2	36.2	12.1	48.5	22.2	55.3	26.5	38.4	9.6
	75	104.2	100.6	97.2	104.2	36.2	12.1	48.5	28.7	55.3	33.7	38.4	16.8
	50	104.2	100.0	96.4	104.2	36.2	20.1	48.5	35.3	55.3	40.8	38.4	24.0
	25	104.1	98.4	92.0	103.6	36.2	28.2	48.5	41.9	50.7	45.0	38.4	31.2

Екатериновка	100	–	100.6	97,3	104,2	29.6	12.9	39.6	24.2	43.8	28.5	29.4	11.8
	75	104.2	100.6	97.3	104.2	29.6	12.9	39.6	28.0	43.8	32.4	29.4	16.2
	50	104.2	100.6	97.3	104.2	29.6	18.5	39.6	31.7	43.8	36.2	29.4	20.6
	25	104.2	100.3	96.9	104.2	29.6	24.1	39.5	35.7	43.6	39.8	29.4	25.3
Балашов	100	–	100.6	97.3	104.2	37.1	14.2	47.2	22.7	52.2	29.0	37.5	11.9
	75	104.2	100.6	97.3	104.2	37.1	14.2	47.2	29.5	52.2	34.8	37.5	18.3
	50	104.2	100.3	96.8	104.2	37.1	21.8	46.9	35.5	51.6	40.2	37.5	24.5
	25	103.8	99.5	95.9	103.7	36.8	29.2	45.9	40.4	50.5	45.0	37.1	30.9
Бубновка	100	–	100.6	97.3	104.2	46.5	16.4	56.1	23.9	60.3	29.1	45.8	11.9
	75	104.2	100.6	97.3	104.2	46.5	16.4	56.1	31.9	60.2	36.9	45.8	20.0
	50	104.2	100.6	97.1	104.2	46.5	25.9	56.1	40.7	60.0	44.5	45.8	28.7
	25	103.7	98.4	93.6	103.7	45.9	36.0	52.2	45.0	50.5	45.0	45.3	36.9
Калач	100	–	100.6	97.3	104.2	37.4	14.0	46.5	23.4	50.8	29.1	35.4	11.9
	75	104.2	100.6	97.2	104.2	37.4	14.0	46.4	30.1	50.6	34.4	35.4	17.6
	50	104.2	100.4	96.8	104.2	37.4	22.2	46.2	35.3	50.2	39.5	35.4	23.6
	25	103.7	99.6	96.0	103.6	37.2	29.6	45.5	40.6	49.3	44.1	35.1	29.3
Писаревка	100	–	100.6	97.3	104.2	58.3	21.7	69.9	25.8	73.4	30.3	56.1	15.0
	75	104.2	99.0	95.7	102.3	58.3	21.7	66.3	35.3	71.7	40.3	55.7	25.8
	50	102.0	97.4	87.5	100.1	57.1	33.0	64.7	44.6	59.4	45.0	55.3	34.3
	25	99.8	88.5	80.7	98.5	56.8	44.7	51.7	45.0	50.0	45.0	55.0	44.7

Таблица 2 – Расчетные данные по потреблению электрической энергии АВО газа на участке «Петровск-Писаревка» газопровода «Уренгой-Новопсков»

КС, на которой рассматривается ситуация с АВО	Установленная мощность, кВт				Расход электроэнергии на АВО газа, тыс.кВт·ч/год			
	1 кв.	2 кв.	3 кв.	4 кв.	1 кв.	2 кв.	3 кв.	4 кв.
Петровск	864	864,0	864,0	864,0	1 513 728	1 513 728	1 513 728	1 513 728
	648,0	648,0	648,0	648,0	1 135 296	1 135 296	1 135 296	1 135 296
	432,0	432,0	432,0	432,0	756 864	756 864	756 864	756 864
	216,0	216,0	216,0	216,0	378 432	378 432	378 432	378 432
Екатериновка	1248	1248,0	1248,0	1248,0	2 186 496	2 186 496	2 186 496	2 186 496
	936,0	936,0	936,0	936,0	1 639 872	1 639 872	1 639 872	1 639 872

	624,0	624,0	624,0	624,0	1 093 248	1 093 248	1 093 248	1 093 248
	312,0	312,0	312,0	312,0	546 624	546 624	546 624	546 624
Балашов	720	720,0	720,0	720,0	1 261 440	1 261 440	1 261 440	1 261 440
	540,0	540,0	540,0	540,0	946 080	946 080	946 080	946 080
	360,0	360,0	360,0	360,0	630 720	630 720	630 720	630 720
	180,0	180,0	180,0	180,0	315 360	315 360	315 360	315 360
Бубновка	1296	1296,0	1296,0	1296,0	2 270 592	2 270 592	2 270 592	2 270 592
	972,0	972,0	972,0	972,0	1 702 944	1 702 944	1 702 944	1 702 944
	648,0	648,0	648,0	648,0	1 135 296	1 135 296	1 135 296	1 135 296
	324,0	324,0	324,0	324,0	567 648	567 648	567 648	567 648
Калач	1080	1080,0	1080,0	1080,0	1 892 160	1 892 160	1 892 160	1 892 160
	810,0	810,0	810,0	810,0	1 419 120	1 419 120	1 419 120	1 419 120
	540,0	540,0	540,0	540,0	946 080	946 080	946 080	946 080
	270,0	270,0	270,0	270,0	473 040	473 040	473 040	473 040
Писаревка	2184	2184,0	2184,0	2184,0	3 826 368	3 826 368	3 826 368	3 826 368
	1638,0	1638,0	1638,0	1638,0	2 869 776	2 869 776	2 869 776	2 869 776
	1092,0	1092,0	1092,0	1092,0	1 913 184	1 913 184	1 913 184	1 913 184
	546,0	546,0	546,0	546,0	956 592	956 592	956 592	956 592

Для оценки зависимости между переменными – расход электроэнергии, пропускная способность магистрального газопровода, температура газа на выходе из КС; в работе используется математическая статистика, при решении поставленных задач в максимальной степени используется Matlab 7. Выполнена обработка массивов данных, данные вводятся в виде прямоугольной таблицы данных, далее переменные форматируются в векторы-столбцы. Данные рассортировываются в порядке возрастания, находятся минимальные и максимальные значения и определяются количество данных.

Объем полученной выборки  $n=72$ ,  $x_{\min}=326.234$ ,  $x_{\max}=1312.515$ , математическое ожидание  $M_x=648.926$ , дисперсия  $D_x=64730.488$ , среднеквадратичное отклонение  $S_x=254.422$ , асимметрия  $A_x=1.104$ , эксцесс  $E_x=0.329$ , медиана  $Med_x=561.387$ , размах  $R_x=986.286$ .

Далее выполнено определение статической гипотезы. Так статической гипотезой называется любое предположение о законе распределения генеральной совокупности или его параметрах. Также выполнена оценка генеральной дисперсии по методу К. Пирсона.

Рассмотрен по выборке закон распределения. Подбор теоретического распределения состоит из следующих этапов:

1. Подбор вида распределения (т.е. закона).
2. Подбор параметров распределения (т.е. чисел, входящих в выражение для функции и плотности распределения).
3. Проверка правильности подбора.

Для оценки закона выполнено построение гистограммы – столбиковая диаграмма числа попаданий в каждый участок  $n_j$ . Гистограмма строится на основании выборочной плотности распределения по формуле:

$$f^*(x) = \frac{n_j}{nh}, \quad (1.2)$$

где  $n_j$  - число попаданий в интервал  $h$ ;

$h$  – ширина интервалов.

Построена гистограмма распределения, выполненная с помощью MatLab 7.0 (рис. 1).

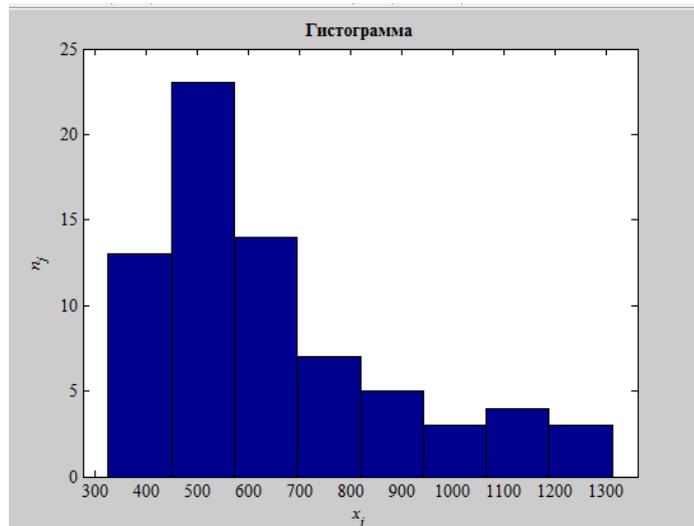


Рис.1 – Гистограмма распределения, выполненная с помощью MatLab

По виду гистограммы подобран теоретический закон распределения. В нашем случае - рэлеевское распределение.

Рассмотрена детерминированная функция случайных величин.  $X$  - случайная величина, имеющая некоторый закон распределения,  $\varphi$  - детерминированная функция. В результате применения функции  $\varphi$  к величине  $X$  по-

лучается другая случайная величина  $Y$ , которая имеет уже свой закон распределения общем случае отличный от закона распределения  $X$ .

$$Y = \varphi(X) \quad (1.3)$$

Связь между двумя случайными величинами  $X$  и  $Y$  является связью особого рода: когда при изменении  $X$  меняется  $Y$ , то нельзя заранее сказать, является ли это следствием зависимости  $Y$  от  $X$  или здесь сказывается влияние случайных величин в самих  $X$  и  $Y$ . Связь такого рода является стохастической [6].

Зависимости между переменными стохастичны, анализ зависимости выполнен по выборке из генеральной совокупности исходных данных. Построены графики зависимости расхода электрической энергии от различных переменных условий. Ниже представлен график зависимости потребления электроэнергии АВО газа от пропускной способности и температуры газа на выходе участка магистрального газопровода на основе корреляционного анализа данных (рис.2 и 3).

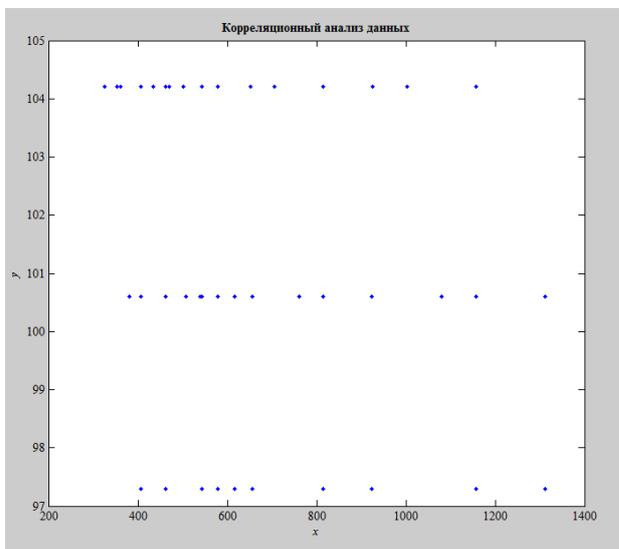


Рис.2 – Корреляционный анализ данных (по оси  $x$  – потребление электроэнергии, тыс.кВт·ч, по оси  $y$  – пропускная способность, млн.м<sup>3</sup>)

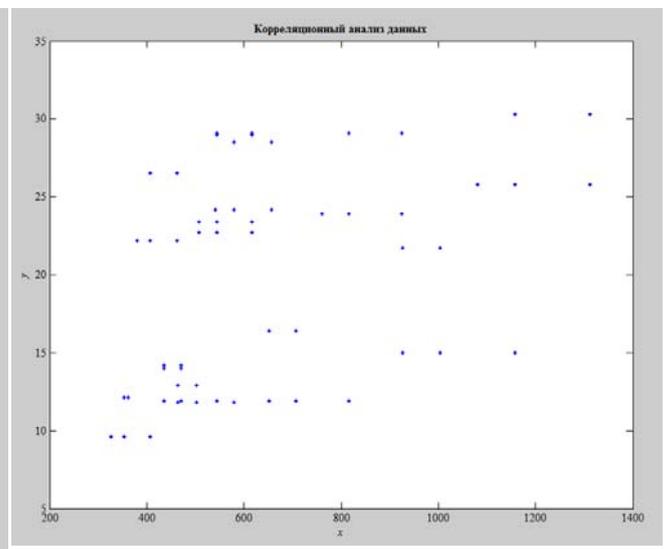


Рис.3 - Корреляционный анализ данных (по оси  $x$  – потребление электроэнергии, тыс.кВт·ч, по оси  $y$  – температура газа на выходе)

Уровень значимости  $q=0,1$ , по расчету в Matlab 7 выборочный коэффициент корреляции  $r = -0.25421755$ ,  $r = 0.44773194$ , статистика = 0.03117025,

статистика = 0.00008030, что меньше уровня значимости, корреляция значима.

Так как выборочный коэффициент корреляции не учитывает суммарное взаимное влияние переменных, установить зависимость потребления электроэнергии от нескольких переменных позволяет теория множественной регрессии.

Поиск наилучшей регрессионной модели представляет собой довольно громоздкий процесс. Использование нейронных сетей [9,10], которые обладают рядом преимуществ перед регрессионными моделями: сами подбирают вид функциональной зависимости по экспериментальным данным и являются адаптивной моделью, которая подстраивает структуру сети под новые наблюдения и позволяет объяснить довольно сложные связи между значениями расхода электроэнергии и показателями магистрального газопровода.

### **Литература:**

1. Рубцова И.Е., Мочалин Д.С., Крюков О.В. «Основные направления и задачи энергосбережения при реконструкции КС». Энергосбережение и автоматизация электрооборудования компрессорных станций: Монография. // Под ред. О.В.Крюкова. – Н.Новгород: Вектор ТиС, Т.3, 2012. – 572с.

2. Крюков О.В., Мочалин Д.С., Рубцова И.Е., Титов В.Г. «Инвариантное управление электроприводами АВО газа»// Труды VII Международной конференции по автоматизированному электроприводу АЭП-2012, Иваново, ИГЭУ, 2-4 октября 2012. – С.587-591.

3. Страхова Н.А., Горлова Н.Ю. Концепция энергоресурсосберегающей деятельности в промышленности [Электронный ресурс]// «Инженерный вестник дона», 2011, №1 – Режим доступа <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2011/359> (доступ свободный) - Загл. с экрана – Яз. рус.

4. Крюков О.В., Репин Д.Г. «Система управления АВО»// Патент на ПМ №108511, МПК F04D 27/00. Рег. №2011120901/28(030903), Пол. реш. 24.05.11. - ОАО «Гипрогазцентр».– БИ №9 опубл. 20.09.2011.

5. Крюков О.В., Репин Д.Г. «Система управления АВО»// Патент на ПМ №108511, МПК F04D 27/00. Рег. №2011120901/28(030903), Пол. реш. 24.05.11. - ОАО «Гипрогазцентр».– БИ №9 опубл. 20.09.2011.

6. Иглин С.П. Математические расчеты на базе MATLAB. – СПб.:БХВ-Петербург, 2005. – 640 с.

7. Kroger, Detlev G. Air-cooled Heat Exchangers And Cooling Towers: Thermal-flower Performance Evaluation And Design. Copyright 2004 by PennWell Corporation 1421 South Sheridan Road/P.O. Box 1260 Tulsa, Oklahoma 74101.

8. Petroleum, Petrochemical, and Natural Gas Industries—Air-cooled Heat Exchangers API Publishing Services, 1220 L Street, NW, Washington, DC 20005.

9. Дебиев М.В. Алгоритм решения задачи оптимального распределения ресурсов энергоотрасли региона [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2013, №3. – Режим доступа: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1783> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

10. Пшихопов В.Х., Шанин Д.А., Медведев М.Ю. Построение нейросетевых регуляторов для синтеза адаптивных систем управления [Текст] // Информационно-измерительные и управляющие системы, 2008. – №3. – С. 48-53.