

## АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ ПО СТАТИСТИЧЕСКИМ ДАННЫМ ЭКСПЛУАТАЦИИ

### ANALYSIS OF GAS COMPRESSOR UNIT RELIABILITY ACCORD-ING TO OPERATIONAL STATISTICAL DATA

На многоцеховых компрессорных станциях эксплуатируется большое количество агрегатов, при этом необходимо учитывать множество факторов для поддержания работоспособности всего парка ГПА, бывает также трудно выделить основные факторы, на которые стоит в первую очередь обратить внимание. Транспортировка природного газа невозможна без эффективной работы газоперекачивающих агрегатов. Количество газоперекачивающих агрегатов, эксплуатируемых ПАО «Газпром» составляет более 4000 шт. Основными направлениями развития и оптимизации работы агрегатного парка является повышение надежности, экономичности, ремонтпригодности, а также увеличение ресурса. Газоперекачивающие агрегаты – основное технологическое оборудование компрессорных станций, обеспечивающее необходимый режим транспортировки газа по магистральным газопроводам. Одна из важнейших эксплуатационных характеристик газоперекачивающего агрегата (ГПА) – его надежность. В настоящее время оценка показателей надежности агрегатов осуществляется системой показателей, основанной на определении времени нахождения агрегата в том или ином эксплуатационном состоянии.

В статье представлены основные результаты исследования коэффициентов надежности для ГПА конвертированного типа ГПА-Ц-18 с авиационным газотурбинным двигателем. Приведены установленные в процессе исследований коэффициенты надежности и доли ГПА, имеющих соответствующие значения коэффициентов.

Рассмотрена возможность применения экономических интегральных показателей для анализа уровня надежности групп ГПА. Предложено применить показатель Джини, характеризующий в экономике неравенство в распределении доходов населения между отдельными его группами, к оценке различия в уровне надежности ГПА в группах. Применительно к оценке различия в уровне надежности ГПА в группах, показатель Джини будет характеризовать дифференциацию ГПА по уровню надежности характеризуемой коэффициентами технического использования, готовности и оперативной готовности.

On the multiworkshop compressor stations plenty of aggregates is exploited, thus it's necessary to take into account the great number of factors for maintenance of capacity of all park GCU (gas compressor unit), It also difficult to identify the main factors that need attention first of all.

Transporting of natural gas is not possible without effective work of gascompressor units. Amount of gascompressor units, on-the-road «Gazprom» makes more than 4000. Basic directions of aggregate park work development and optimization is an increase of reliability; cost-effectiveness; maintainability, as well as an increase in resources.

Gascompressor units are a basic technological equipment of the compressor stations, providing the necessary mode of gas transporting on main gas pipelines. One of the major operating descriptions of gascompressor unit is its reliability. Currently, aggregate reliability coefficient assessment is realized by the index system based on determination of time when aggregate is in particular operating condition.

In the article the basic results of reliability coefficient research are presented for GCU of the converted type of GCU-18 with an aviation turbo-engine. The coefficients over of reliability and stake of GCU having corresponding values of coefficients set in the process of researches are brought.

Possibility of economic integral indicators application is considered for the analysis of reliability level of GCU groups. It's suggested to apply the Gini index, characterizing in an economy inequality in allocation of profits of population between its separated groups, to the estimation of distinction in the level of GCU reliability in groups. With regard to the assessment of distinction in the level of reliability of GCU in groups, the Gini index will characterize differentiation of GPA reliability coefficients characterized by technical use, availability and operational readiness.

Кузнецова М. И., Байков И. Р., Дарсалия Н. М., Китаев С. В. ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа, Российская Федерация

M. I. Kuznetsova, I. R. Baykov, N. M. Darsaliya, S. V. Kitaev FSBEI HPE «Ufa State Petroleum Technological University», Ufa, the Russian Federation

**Ключевые слова:** газоперекачивающий агрегат, коэффициенты надежности, оценка надежности, показатель Джини.

**Key words:** gas compressor unit, reliability coefficients, reliability assessment, Gini index.

Надежное и эффективное функционирование газотранспортной системы обеспечивает высокий уровень роста экономики РФ. Основными потребителями природного газа в магистральном

транспорте природного газа являются газоперекачивающие агрегаты (ГПА) с газотурбинным приводом.

Одной из важнейших характеристик ГПА является его надежность. Надежность агрегата в общем случае определяется надежностью его элементов, систем его обслуживающих и характером их взаимодействия [1-3].

Под надежностью понимается свойство оборудования сохранять во времени в установленных

пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования [4].

В настоящее время оценка показателей надежности газотурбинных установок (ГТУ) осуществляется системой показателей [4, 5], основанной на определении времени нахождения агрегата в том или ином эксплуатационном состоянии: суммарном времени нахождения агрегата в работе  $T_p$  за отчетный период  $T_k$ ; времени нахождения агрегата в резерве  $T_{рез}$ ; времени нахождения агрегата в плановом ремонте  $T_{ппр}$ ; времени вынужденного простоя  $T_v$  газоперекачивающего агрегата за отчетный период  $T_k$ .

Обычно за отчетный период принимается календарный год

$$T_k = T_p + T_{рез} + T_{ппр} + T_v = 365 \text{ дней.}$$

На основе сопоставления приведенных временных состояний агрегата и определяются показатели его надежности:

- коэффициент технического использования агрегата –  $K_{ти}$ ;
- коэффициент готовности агрегата –  $K_r$ ;
- коэффициент оперативной готовности –  $K_{ог}$ .

Коэффициент технического использования агрегата, определяемый как отношение времени пребывания ГТУ в работе ко времени пребывания агрегата в работоспособном состоянии, времени его вынужденных простоев и ремонтов за рассматриваемый период эксплуатации:

$$K_{ти} = \frac{T_p}{T_p + T_{ппр} + T_v} \quad (1)$$

Коэффициент готовности агрегата, определяемый как отношение времени нахождения ГТУ в рабочем состоянии к сумме времени нахождения его в рабочем состоянии и времени вынужденного простоя:

$$K_r = \frac{T_p}{T_p + T_v} \quad (2)$$

Коэффициент оперативной готовности, определяемый как отношение времени нахождения ГТУ в работе или в резерве, к общему календарному отрезку времени:

$$K_{ог} = \frac{T_p + T_{рез}}{T_k} \quad (3)$$

Целью данной работы является исследование коэффициентов комплексной надежности ГПА и

разработка показателей дифференциации уровня надежности ГПА. Разрабатываемые коэффициенты могут оказаться полезными при исследовании работоспособности ГПА в компрессорных цехах или групп ГПА на многоцеховых компрессорных станциях (КС).

Объектом исследования являются газоперекачивающие агрегаты типа ГПА-Ц-18, установленные на многоцеховой КС. ГПА-Ц-18 – конвертированный тип ГПА с авиационным газотурбинным двигателем. Общая наработка ГПА на момент исследований составила 113073,5/135913,0 ч.

На рисунках 1-3 приведены структурные диаграммы распределения коэффициентов надежности по интервалам. Интервальная оценка коэффициентов надежности, приведенная на графиках, использовались для разработки и обоснования показателей дифференциации.

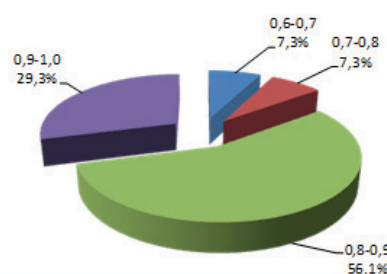


Рисунок 1. Интервальная структура коэффициента технического использования агрегата

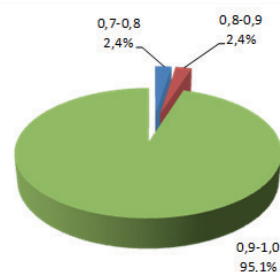


Рисунок 2. Интервальная структура коэффициента готовности агрегата

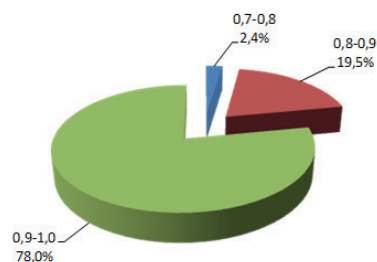


Рисунок 3. Интервальная структура коэффициента оперативной готовности

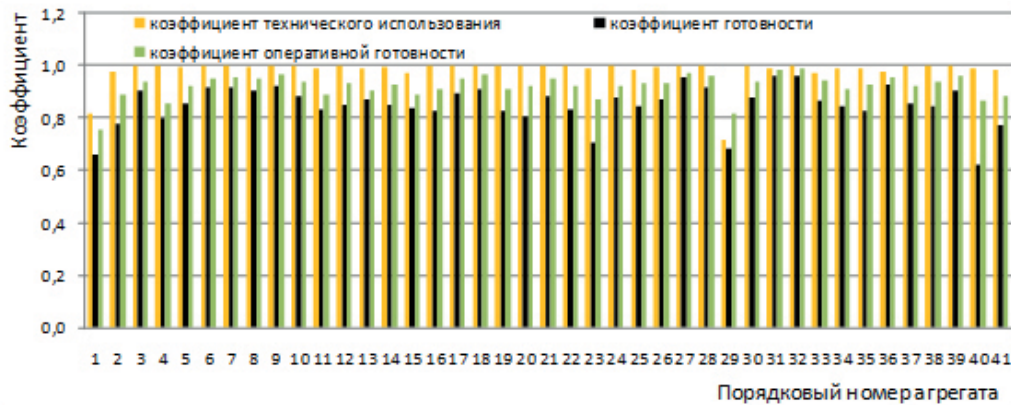


Рисунок 4. Распределение коэффициентов надежности для ГПА

На рисунке 4 приведено распределение коэффициентов надежности для ГПА типа ГПА-Ц-18.

Как показывают проведенные исследования, для агрегатов ГПА-Ц-18 коэффициент технического использования находится на уровне  $0,621 \div 0,963$ ; коэффициент готовности –  $0,719 \div 1,0$ ; коэффициент оперативной готовности –  $0,755 \div 0,986$ .

Значения коэффициента технического использования для конвертированных ГПА должны составлять не менее 0,94, коэффициентов готовности не менее 0,98 [6].

Таким образом, существенная доля ГПА из рассматриваемой группы имеют значения коэффициентов ниже значений установленных ГОСТ [6]: по коэффициенту технического использования – 93% агрегатов, по коэффициенту готовности – 10%, по коэффициенту оперативной готовности – 95%.

Отклонение коэффициентов от нормативных величин связано с пониженной нагрузкой магистральных газопроводов, при которой перекачка газа осуществляется меньшим количеством ГПА. В этих условиях существует потребность в дополнительных методах верификации уровня надежности эксплуатируемого парка ГПА.

Рассмотрим возможность применения экономических интегральных показателей для анализа дифференциации уровня надежности групп ГПА.

Индекс концентрации доходов – показатель Джини [7], в экономике характеризует неравенство в распределении доходов населения между отдельными его группами. Величина коэффициента Джини находится в пределах  $0 \div 1$ . Чем ближе к единице, тем выше уровень неравенства в распределении совокупного дохода.

Применение показателя Джини для оценки уровня дифференциации энергоэффективности и технического состояния оборудования в добыче и трубопроводном транспорте углеводородов рассмотрено в работах [8, 9].

Применительно к оценке различия в уровне надежности ГПА в группах, показатель Джини будет характеризовать дифференциацию ГПА по уровню надежности характеризуемой коэффициентами тех-

нического использования, готовности и оперативной готовности. Коэффициент Джини определяется по формуле:

$$K_L = 1 - 2 \sum X_i \text{cum} Y_i + \sum X_i Y_i, \quad (4)$$

где  $X_i$  – доля ГПА в  $i$ -ой группе;

$Y_i$  – доля  $i$ -й группы в совокупном уровне коэффициентов;

$\text{cum} Y_i$  – кумулятивная доля (вычисленная нарастающим итогом) для коэффициентов.

Показатель дифференциации (Джини) может быть вычислен по другой формуле:

$$K_L = \sum_{i=1}^{n-1} p_{i+1} q_i - \sum_{i=1}^{n-1} p_i q_{i+1}, \quad (5)$$

где  $p_i, p_{i+1}$  – накопленные удельные веса в количестве ГПА соответственно для  $i$  и  $(i+1)$  групп;

$q_i, q_{i+1}$  – накопленные удельные веса по признаку доли коэффициентов в общей сумме для  $i, (i+1)$  групп соответственно.

Показатель Джини применительно к ГПА рассчитывается для оценки концентрации ГПА по уровню надежности.

Для расчета показателя Джини используются данные о распределении ГПА по уровню показателей надежности. Вся совокупность делится на группы, равные по количеству ГПА, и определяется доля каждой группы в общей сумме КТС. По накопленным итогам удельных весов (частот) по численности ГПА и удельных весов в общей сумме показателей строится кривая концентрации (кривая Лоренца).

Вертикальная ось графика отражает накопление доли групп в общей сумме показателя (от 0 до 100% или от 0 до 1). Горизонтальная ось – накопленные доли групп ГПА в общем количестве (также от 0 до 100% или от 0 до 1). При равномерном распределении показателя каждая процентная группа ГПА имела бы точно такую же часть от всей суммы показателя.

На графике это отображается диагональю, называемой линией равномерного распределения.

**Таблица 1.** Итоги расчетных операций для построения кривой концентрации коэффициента технического использования

Тип ГПА (i)	Накопленная (кумулятивная) доля коэффициентов технического использования (p <sub>i</sub> )	Накопленная (кумулятивная) доля ГПА (q <sub>i</sub> )	P <sub>i+1</sub> · Q <sub>i</sub>	P <sub>i</sub> · Q <sub>i+1</sub>
1	0,018	0,024	0,001302	0,001374
2	0,056	0,073	0,005495	0,005602
3	0,077	0,098	0,011203	0,011809
4	0,121	0,146	0,050186	0,055982
5	0,383	0,415	0,270581	0,282709
6	0,682	0,707	0,631939	0,649094
7	0,918	0,927	0,917684	0,926962
8	1,000	1,000	-	-
Итого:	-	-	1,88839	1,933531

**Таблица 2** Итоги расчетных операций для построения кривой концентрации коэффициента готовности

Тип ГПА (i)	Накопленная (кумулятивная) доля коэффициентов готовности (p <sub>i</sub> )	Накопленная (кумулятивная) доля ГПА (q <sub>i</sub> )	P <sub>i+1</sub> · Q <sub>i</sub>	P <sub>i</sub> · Q <sub>i+1</sub>
1	0,018	0,024	0,000435	0,000435
2	0,018	0,024	0,00087	0,000929
3	0,038	0,049	0,001858	0,001858
4	0,038	0,049	0,001858	0,001858
5	0,038	0,049	0,038088	0,04878
6	1,000	1,000	-	-
Итого:	-	-	0,04311	0,053861

**Таблица 3.** Итоги расчетных операций для построения кривой концентрации коэффициентов оперативной готовности

Тип ГПА (i)	Накопленная (кумулятивная) доля коэффициентов оперативной готовности (p <sub>i</sub> )	Накопленная (кумулятивная) доля ГПА (q <sub>i</sub> )	P <sub>i</sub> · Q <sub>i+1</sub>	P <sub>i</sub> · Q <sub>i+1</sub>
1	0,020	0,024	0,000974	0,001013
2	0,042	0,049	0,009119	0,009945
3	0,204	0,220	0,139225	0,14693
4	0,669	0,683	0,669346	0,682945
5	1,000	1,000	-	-
Итого:	-	-	0,818664	0,840832

Фактическое распределение показателя отображается вогнутой вниз линией концентрации. Чем больше эта линия отклоняется от диагонали, тем больше неравномерность в распределении показателя (выше уровень концентрации).

В таблицах 1-3 приведены итоги расчетных операций для построения кривых концентрации значений коэффициентов технического использования, готовности и оперативной готовности.

По данным таблиц 1-3 построены графические зависимости кривых концентрации значений коэффициентов: технического использования (а), готовности (б) и оперативной готовности (в). Характеристики приведены на рисунке 5.

Теоретически характеристика концентрации уровня коэффициента может совпасть с линией равномерного распределения, в этом случае показатель дифференциации (Джини) будет равен нулю и тогда уровень надежности ГПА в группе будет равномерным.

В таблице 4 приведены результаты расчета показателей Джини по формуле (5) для группы однотип-

ных ГПА-Ц-18 с подстановкой итоговых данных (таблицы 1-3).

Как видно из таблицы 4 расчетные значения показателей дифференциации (Джини) имеют невысокие значения, что свидетельствует о низком различии ГПА по уровню надежности, однако для основной доли ГПА значения коэффициентов ниже нормативных величин, при этом остается неопределенность в принятии решения по выбору стратегии к способу эксплуатации фонда ГПА в условиях пониженной загрузки МГ.

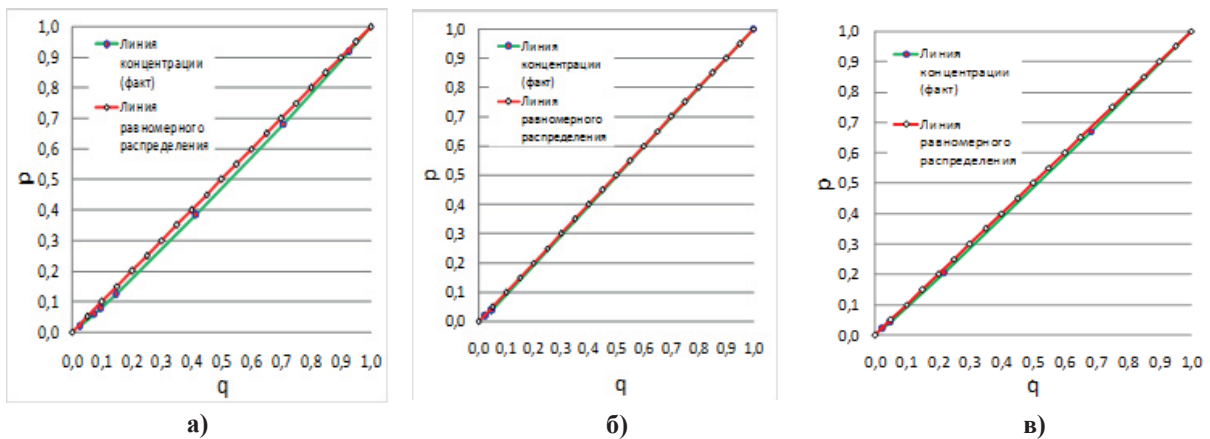
В теории надежности существует правило сигм, характеризующее вероятность попадания очередного фактического значения в доверительный интервал. С помощью доверительного интервала можно выделить направления, на которые следует обратить внимание для изменения тенденции, принять взвешенное решение (например, определить стратегию проведения ремонтно-технического обслуживания ГПА). Для коэффициентов надежности доверительный интервал – это границы прогноза (верхняя и нижняя), в рамки которой с заданной точностью (сигма) попадут фактические значения.

**Таблица 4.** Расчетные значения показателя дифференциации (Джини) для полной выборки ГПА (41 шт.)

Наименование показателя дифференциации	Значение
Для совокупности коэффициентов:	
- технического использования;	0,045
- готовности;	0,011
- оперативной готовности.	0,022

Если сигма будет равна:

- 3 сигма – 99,7%, или существует 0,3% вероятности выхода за границы интервала;
- 2 сигма – 95,5%, или существует 4,5% вероятности выхода за границы интервала;
- 1 сигма – 68,3%, или существует 31,7% вероятности выхода за границы интервала.

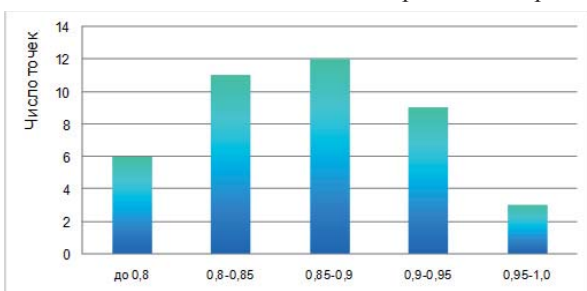


**Рисунок 5.** Кривые концентрации коэффициентов: технического использования (а), готовности (б) и оперативной готовности (в)

Для расчета доверительного интервала определим вид распределения коэффициента технического использования и сигма (среднеквадратическое отклонение).

На рисунке 6 приведена гистограмма, полученная по интервальному ряду распределения коэффициента технического использования.

Проверка гипотезы о виде закона распределения показала, что распределение коэффициента технического использования является нормальным (рисунок 5), рассчитаем теоретические частоты распределения. Для интервального ряда распределения коэффициента технического использования среднее квадрати-



**Рисунок 6.** Гистограмма распределения коэффициента технического использования

ческое отклонение (сигма) определялось методом моментов. В результате было установлено, что математическое ожидание. На рисунке 7 приведена функция плотности нормального распределения.

Для проверки вида распределения применим критерий согласия  $\chi^2$  Пирсона [7]. Определим величину

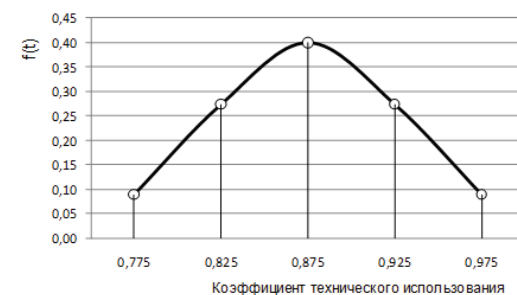
$$\chi^2_{\text{расч}} = \sum \frac{(f_{\text{факт}} - f_{\text{теор}})^2}{f_{\text{теор}}} \quad (6)$$

Сравним  $\chi^2_{\text{расч}}$  с  $\chi^2_{\text{табл}}$  при заданном уровне значимости ( $\alpha$ ) и числе степеней свободы ( $\nu$ ). Если,  $\chi^2_{\text{расч}} < \chi^2_{\text{табл}}$  можно считать, что фактическое распределение адекватно теоретическому распределению.

При уровне значимости  $\alpha = 0,05$  получим для  $K_{\text{ти}} \chi^2_{\text{расч}} = 3,8$ , аналогично получено для  $K_{\text{г}} \chi^2_{\text{расч}} = 1,04$ , для  $K_{\text{ог}} \chi^2_{\text{расч}} = 1,47$ ,  $\chi^2_{\text{табл}} = 9,5$ .

Таким образом, имеем  $\chi^2_{\text{расч}} < \chi^2_{\text{табл}}$ , следовательно, распределение параметров является нормальным.

Исключение из массива первичной информации всех резко выделяющихся единиц ГПА по уровню факторного признака производится по правилу «сигм», при этом исключаются все единицы, у которых уровень признака-фактора не попадает в интервал.



**Рисунок 7.** Плотность нормального распределения для коэффициента технического использования



Таблица 5. Оценка массива данных коэффициентов  $K_{тн}$ ,  $K_r$ ,  $K_{ог}$  по правилу «сигм»

Наименование коэффициента	Интервалы для массива данных коэффициентов	Интервалы значений признака фактора	Число единиц, входящих в интервал	Удельный вес единиц, входящих в интервал, в общем их числе, %
$K_{тн}$	$\bar{y} - \sigma \leq y_i \leq \bar{y} + \sigma$	$0,817 \leq y_i \leq 0,933$	30	73,2
	$\bar{y} - 2\sigma \leq y_i \leq \bar{y} + 2\sigma$	$\bar{y} - 3\sigma \leq y_i \leq \bar{y} + 3\sigma$	37	90,2
	$\bar{y} - 3\sigma \leq y_i \leq \bar{y} + 3\sigma$	$0,702 \leq y_i \leq 1,048$	38	92,7
$K_r$	$\bar{y} - \sigma \leq y_i \leq \bar{y} + \sigma$	$0,977 \leq y_i \leq 0,993$	12	29,3
	$\bar{y} - 2\sigma \leq y_i \leq \bar{y} + 2\sigma$	$0,970 \leq y_i \leq 1,0$	39	95,1
	$\bar{y} - 3\sigma \leq y_i \leq \bar{y} + 3\sigma$	$0,962 \leq y_i \leq 1,008$	39	95,1
$K_{ог}$	$\bar{y} - \sigma \leq y_i \leq \bar{y} + \sigma$	$0,889 \leq y_i \leq 0,962$	28	68,3
	$\bar{y} - 2\sigma \leq y_i \leq \bar{y} + 2\sigma$	$0,852 \leq y_i \leq 0,998$	39	95,1
	$0,716 \leq y_i \leq 1,035$	$0,716 \leq y_i \leq 1,035$	41	100

В таблице 5 приведены данные оценки массива данных коэффициентов  $K_{тн}$ ,  $K_r$ ,  $K_{ог}$  по правилу «сигм».

В таблице 6 приведены расчетные значения показателя дифференциации (Джини) для выборок с интервалом 1, 2, 3 «сигма».

В соответствии с теоремой Чебышева в технике принято придерживаться правила «трех сигм», что позволяет с достаточной степенью вероятности обеспечить надежность эксплуатации фонда оборудования. В интервал  $\bar{y} - 3\sigma \leq y_i \leq \bar{y} + 3\sigma$  ( $0,702 \leq y_i \leq 1,048$ ) попадают не все значения, поэтому по данному правилу можно исключить три значения, соответствующих ГПА с наименьшими значениями коэффициента технического использования 0,621 (ГПА № 3 КЦ-10), 0,663 (ГПА № 1 КЦ-2) и 0,681 (ГПА № 4 КЦ-7).

По правилу «трех сигм» в интервал  $\bar{y} - 3\sigma \leq y_i \leq \bar{y} + 3\sigma$  не попали значения: коэффициента готовности 0,816 (ГПА № 1 КЦ-2) и 0,719 (ГПА № 4 КЦ-7); коэффициента оперативной готовности 0,755 (ГПА № 1 КЦ-2).

Таблица 6. Расчетные значения показателя дифференциации (Джини) для выборок с интервалом 1, 2, 3 «сигма»

Интервал значений	Показатель дифференциации Джини		
	для $K_{тн}$	для $K_r$	для $K_{ог}$
1 сигма	0,016	0	0,006
2 сигма	0,029	0	0,016
3 сигма	0,032	0	0,019

Проведенный анализ причин низких значений коэффициентов надежности выбранных ГПА, оказавшихся вне доверительного интервала, показал, что агрегаты длительно находились в ремонте по причине отказа и задержки поставки запасных частей.

На рисунке 8 приведены сводные данные по показателю дифференциации Джини коэффициентов надежности ( $K_{тн}$ ,  $K_r$ ,  $K_{ог}$ ) в зависимости от объема выборки (полная выборка агрегатов – 41 шт. и выборок с интервалом 1, 2, 3 «сигма»).

Таким образом, в соответствии с проведенными исследованиями для конвертированных агрегатов ГПА Ц-18 значения показателей Джини должны составлять (не более) для коэффициента технического использования – 0,032, коэффициента готовности – 0, коэффициента оперативной готовности – 0,019.

Преимущество показателей Джини перед среднеарифметическим значением коэффициентов для анализируемых групп, заключается в более адекватном расчете показателей, позволяющим учесть ранги анализируемых признаков в группах, при этом исключается влияние единичных ГПА с доминирующим значением признака.

Средневзвешенное значение коэффициентов при сравнительном анализе также не является достаточно информативной величиной, т.к. не позволяет выявить степень дифференциации и закономерности изменения признака в группах по ГПА, что позволяют осуществить предлагаемые показатели.

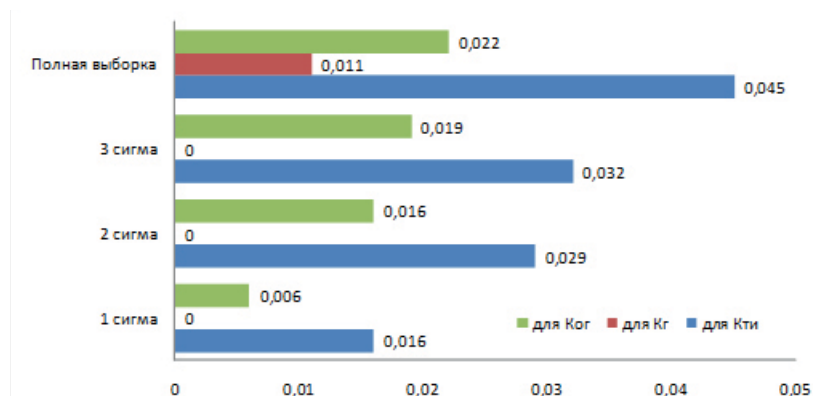


Рисунок 8. Гистограмма распределения показателя дифференциации Джини

## Выводы

1. Проведенные исследования позволили определить значения коэффициентов надежности (на примере ГПА-Ц-18, выборка составила 41 ГПА) – коэффициент технического использования составил –  $0,621 \div 0,963$ ; коэффициент готовности –  $0,719 \div 1,0$ ; коэффициент оперативной готовности –  $0,755 \div 0,986$ , при этом, существенная доля ГПА из рассматриваемой группы имеет значения коэффициентов ниже значений установленных ГОСТ: по коэффициенту технического использования – 93% агрегатов, по коэффициенту готовности – 10%, по коэффициенту оперативной готовности – 95%. Причиной является сниженная нагрузка магистральных газопроводов.

2. Предложены показатели дифференциации групп ГПА по уровню надежности (Джини) для коэффициентов технического использования, готовности, оперативной готовности. Преимущество показателя Джини перед среднеарифметическим значением коэффициентов для анализируемых

групп, заключается в более адекватной оценке уровня различия, позволяющей учесть ранги анализируемых признаков в группах.

3. В соответствии с правилом «трех сигм» для ГПА-Ц-18 с наработкой 113073,5 135913,0 часов значения показателя дифференциации Джини составляют (не более) для коэффициента технического использования – 0,032, коэффициента готовности – 0, коэффициента оперативной готовности – 0,019. При большем значении показателя Джини необходимо принимать меры к отдельным агрегатам для повышения уровня надежности эксплуатируемого фонда ГПА.

4. Для других типов агрегатов, эксплуатируемых в группах на КС, необходимо проведение дополнительных исследований, т.к. нужно учесть индивидуальные технические характеристики ГПА, технические и климатические условия эксплуатации агрегатов.

## СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Бушуев А. Б., Бабин А. Ю., Теплоухов Г. Н. Обеспечение надежности ГПА серии «Урал»//Газотурбинные установки. 2009. № 10. С. 20-22.
- 2 Китаев С. В., Кузнецова М. И. Статистическое моделирование показателей надежности газотурбинных установок методом «Монте-Карло»// Газовая промышленность. 2014. № 5. С.101–103.
- 3 Кузнецова М. И., Китаев С. В. Исследование эффективности схем резервирования газоперекачивающих агрегатов в магистральном транспорте газа // Нефтегазовое дело. 2014. Т.12, № 3. С.83–86.
- 4 ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия и определения. М.: Изд-во стандартов, 1990. 37 с.
- 5 ГОСТ Р 52527-2007 (ИСО 3977-9:1999). Установки газотурбинные. Надежность, готовность, эксплуатационная технологичность и безопасность. М.: Стандартинформ, 2006. 32 с.
- 6 ГОСТ Р 54404. Агрегаты газоперекачивающие с газотурбинным приводом. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2012. 16 с.
- 7 Статистика / Л. П. Харченко, В. Г. Ионин, В. В. Глинский и др. / под ред. В. Г. Ионина. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Инфра-М, 2008. 445 с.
- 8 Энергосбережение при эксплуатации фонда центробежных электронасосов на нефтяных промыслах / И. Р. Байков, С. В. Китаев, А. Н. Валиев, А. С. Зуев, В. В. Старостин // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2011. № 4. С. 23-26.
- 9 Китаев С. В., Кузнецова М. И. Разработка показателей дифференциации технического состояния газоперекачивающих агрегатов // Газовая промышленность. 2014. № 4. С.62-64.

## REFERENCES

- 1 Bushuev A. B., Babin A. YU., Teplouhov G. N. Obespechenie nadezhno-sti GPA serii «Ural»//Gazoturbinnye ustanovki. 2009. № 10. S. 20-22. [in Russian].
- 2 Kitaev S. V., Kuznecova M. I. Statisticheskoe modelirovanie pokazatelej nadezhnosti gazoturbinnih ustanovok metodom «Monte-Karlo»// Gazovaya promyshlennost'. 2014. № 5. S.101–103. [in Russian].
- 3 Kuznecova M. I., Kitaev S. V. Issledovanie ehffektivnosti skhem rezervirovaniya gazoperekachivayushchih agregatov v magistral'nom transporte gaza // Neftegazovoe delo. 2014. T.12. № 3. S. 83–86. [in Russian].
- 4 GOST 27.002-89. Nadezhnost' v tekhnike. Osnovnye ponyatiya i opredeleniya. M.: Izd-vo standartov, 1990. 37 s. [in Russian].
- 5 GOST R 52527-2007 (ISO 3977-9:1999). Ustanovki gazoturbinnye. Nadezhnost', gotovnost', ehkspluatacionnaya

tekhno-logichnost' i bezopasnost'.-M.: Standar-tinform, 2006. 32 s. [in Russian].

6 GOST R 54404. Agregaty gazoperekachivayushchie s gazoturbinnym privodom. Obshchie tekhnicheskie usloviya. M.: Standartinform, 2012. 16 s. [in Russian].

7 Harchenko L. P., Ionin V. G., Glinskij V. V. i dr. Statistika. Pod. red. V. G. Ionina. 3 izd., pererab. i dop. M.: Infra-M, 2008. 445 s. [in Russian].

8 EHnergoberezhenie pri ehkspluatacii fonda centrobeznyh ehlektronasosov na neftyanyh promyslah / I. R. Bajkov, S.V. Kitaev, A. N. Valiev, A. S. Zuev, V. V. Starostin // Transport i hranenie nefteproduktov i uglevodorodnogo syr'ya. 2011. № 4. S. 23-26. [in Russian].

9 Kitaev S. V., Kuznecova M. I. Razrabotka pokazatelej differenciacii

tekhnicheskogo sostoyaniya gazoperekachivayushchih agregatov // Gazovaya promyshlennost'. 2014. № 4. S. 62-64. [in Russian].

*Кузнецова М. И., преподаватель кафедры «Транспорт и хранение нефти и газа» ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация*

*M. I. Kuznetsova, Lecturer of the Chair «Transport and Storage of Oil and Gas» FSBEI HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation*

*Байков И. Р., д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация*

*I. R. Baikov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Chair «Heat Power*

*Industry», FSBEI HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation*

*Дарсалия Н. М., аспирант кафедры «Транспорт и хранение нефти и газа», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация*

*N. M. Darsaliya, Post-graduate Student of the Chair «Transport and Storage of Oil and Gas», FSBEI HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation*

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

*S. V. Kitaev, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Chair «Transport and Storage of Oil and Gas» FSBEI HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation  
e-mail: Svkitayev@mail.ru*