

СИСТЕМА ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ

ТЕВЯШЕВ А.Д., КОТОК В.Б.,
КОЛОДЯЖНЫЙ В.В., ШУЛИК П.В.

Предлагается система мгновенных и интегральных показателей режимов работы газоперекачивающих агрегатов, наиболее полно описывающих состояние объекта управления и позволяющих улавливать начала тенденций в изменении его поведения.

1. Введение

Переход к распределенным системам управления технологическими процессами компримирования газа на компрессорных станциях (КС), магистральных газопроводах (МГ) с модульной архитектурой привел к необходимости создания трехуровневых систем автоматического управления (САУ):

- газоперекачивающими агрегатами (ГПА);
- компрессорным цехом (КЦ);
- компрессорной станцией (КС).

Эти САУ позволяют автоматизировать достаточно большой набор функций управления, однако требуют контроля со стороны диспетчера КС. Более того, практическое внедрение современных САУ позволило вскрыть наметившуюся негативную тенденцию к принципиальному изменению роли диспетчера в процессе оперативно-диспетчерского управления основными и вспомогательными технологическими и энергетическими процессами компримирования газа на КС. Суть этой тенденции заключается в значительной потере диспетчером своей ведущей роли в процессе оперативно-диспетчерского управления и перехода его в значительную зависимость от обслуживания САУ — квитирования огромного количества событий, происходящих в системе.

Практически это означает, что основную часть рабочего времени диспетчер затрачивает на обработку сообщений (возможно не самых существенных и принципиальных) из САУ.

Это приводит к быстрой утомляемости диспетчера, замедлению его реакции на действительно принципиальные события и снижению степени адекватности его действий на эти события.

Более того, увеличение напряженности работы диспетчера не позволяет ему своевременно улавливать намечающиеся тенденции в изменениях поведения объекта управления и принимать превентивные меры для их устранения.

Все это, вместе взятое, приводит не только к снижению эффективности работы всех ГПА, вхо-

дящих в состав КЦ, но и к снижению эффективности работы КС в целом.

Одним из необходимых условий устранения этих негативных тенденций является разработка функционально-полной системы мгновенных и интегральных показателей режимов работы ГПА, позволяющих улавливать начала тенденций в изменении поведения объекта управления и принимать наиболее адекватные меры для их устранения или, по крайней мере, для минимизации потерь при их развитии.

Для проведения структуризации проблемы интегрального оценивания режимов работы ГПА необходимо детально проанализировать КЦ как объект управления.

2. КЦ как объект управления, функционирующий в стохастической среде

В системном анализе выделение объекта управления из среды — это искусственный прием, позволяющий осуществить декомпозицию системы, выделить наблюдаемые и управляемые переменные, разделить переменные на входы и выходы. К среде относят, как правило, неуправляемые подсистемы, а так же те подсистемы, управление которыми осуществляется на других иерархических уровнях в соответствии с другими критериями и, практически, независимо от управляемых переменных выделяемого объекта. Выделение объекта из среды и выявление управляемых переменных производится с точки зрения заданной цели управления.

Основная цель управления КЦ состоит в повышении эффективности технологического процесса компримирования газа в широком диапазоне изменений его физико-химических параметров, внешних и внутренних возмущениях КЦ. Такая цель должна быть реализована при квазиоптимальных значениях системы критериев (показателей) качества управления и выполнении всех технологических ограничений.

В САУ КЦ к внешней среде следует отнести:

- установку очистки газа ($УО_{\text{чис.Г}}$), через которую газ поступает в КЦ из магистрального газопровода;
- установку охлаждения газа ($УО_{\text{хл.Г}}$), через которую газ поступает из КЦ в магистральный газопровод;
- установку подготовки топливного импульсного газа и газа на собственные нужды (УПТИГ и ГСН);
- систему снабжения топливом и маслом (ССТ и М);
- вспомогательные системы (ВС) водо-тепло-электроснабжения.

Состояние среды и объекта управления в современных САУ ГПА, разработанных фирмой Compressor Controls Corporation, контролируется соответствующими наборами телеизмерений, включающих свыше 580 дискретных и непрерывных сигналов (переменных).

Для формального разделения всех контролируемых переменных на входы и выходы, управляемые переменные и переменные состояния в системном анализе используется следующий критерий [1]:

- к входным переменным относятся все те, посредством которых осуществляется воздействие среды на объект управления;
- к выходным переменным относятся все те переменные, посредством которых осуществляется воздействие объекта управления на среду;
- к управляемым переменным относятся все те, посредством которых система управления воздействует на объект управления;
- все остальные относятся к переменным, характеризующим состояние объекта управления.

Понятие состояния объекта управления в данном случае несколько шире, чем в классической теории динамических систем.

Принципиальным является то, что все непрерывные переменные измеряются с погрешностью, определяемой классом точности первичных датчиков и метрологическими характеристиками каналов связи.

Кроме того, изменение технических характеристик и отказы элементов технологического оборудования КЦ, а также технологического оборудования, отнесенного к окружающей среде, отказы или изменения метрологических характеристик первичных датчиков и каналов связи приводит к некоторой неопределенности в оценке состояния среды. Эта неопределенность возрастает и в связи с тем, что даже самые современные САУ КЦ не обеспечивают полный контроль всех параметров внешней среды, влияющих на режимы работы КЦ. Все это вместе взятое приводит к необходимости рассматривать КЦ как объект управления, функционирующий в стохастической среде. Более того, сам КЦ является стохастическим объектом. Поэтому с формальной точки зрения КЦ следует рассматривать как стохастический объект, функционирующий в стохастической среде. Отметим основные неопределенности, присущие КЦ как объекту управления:

- неопределенность окружающей среды, которая находит свое отражение в стохастическом характере информации, поступающей по каналам связи, о состоянии окружающей среды и полном (частичном) отсутствии информации о неконтролируемых параметрах окружающей среды;
- неопределенность модели объекта управления, которая проявляется в неполноте информации о структуре, параметрах и состояниях этой модели;
- неопределенности стратегии и цели управления, проявляющиеся в необходимости использования некоторого набора стратегий в зависимости от фактических состояний объекта управления и окружающей среды, многокритериальности, неопределенности отдельных критериев и их свертки.

На рис. 1 представлена функциональная схема КЦ как объекта управления.

Вектор входных переменных $X(t, \omega)$ рассматривается как случайный вектор для каждого фиксированного момента времени t ; $\omega \in \Omega$, где Ω — пространство элементарных событий вероятностного пространства (Ω, ε, P) ; ε — σ -алгебра событий из Ω ; P — вероятностная мера на Ω . Размерность вектора $X(t, \omega)$ зависит от количества контролируемых переменных с выходов соответствующих установок и систем, отнесенных к внешней среде.

Вектор выходных переменных $Y(t, \omega)$ для каждого фиксированного t является случайным, размерность которого определяется количеством прямых и косвенных измерений режимных переменных (параметров) КЦ и физических параметров газа на его выходе.

Случайный вектор $\varepsilon(t, \omega)$ характеризует внешние ненаблюдаемые возмущения, действующие на объект управления. $X(t, \tilde{\omega})$, $Y(t, \tilde{\omega})$ — измеренные значения (реализации) случайных величин $X(t, \omega)$ и $Y(t, \omega)$, которые поступают в САУ КЦ. Детерминированный вектор управления $U(t)$ вырабатывается и реализуется САУ КЦ.

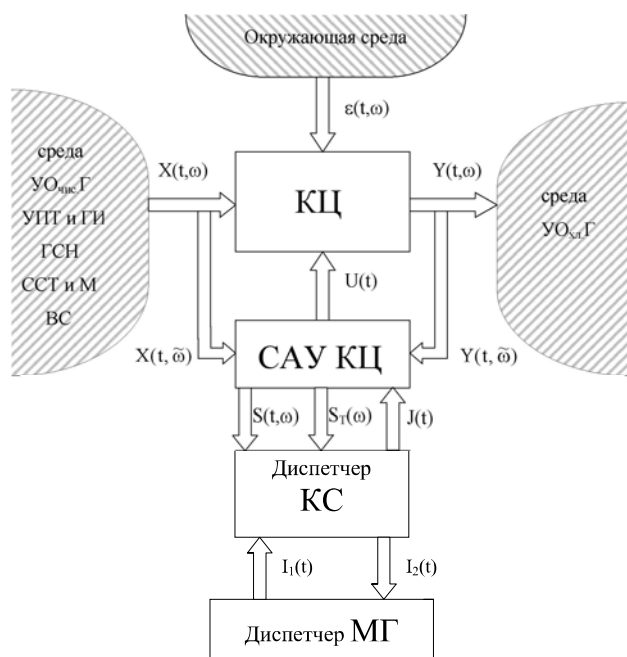


Рис. 1

Детерминированный вектор $S(t, \omega)$ характеризует состояние объекта управления и окружающей среды в момент времени t .

Вектор $S_T(\tilde{\omega})$ является интегральной оценкой состояния объекта управления, вычисляемой в момент времени t на предшествующем интервале времени $[t-T, t-1]$.

Детерминированный вектор $J(t)$ определяет выбор стратегии управления для САУ КЦ, которая наиболее адекватно (по мнению диспетчера КС) соответствует текущему состоянию $S(t, \omega)$. Кроме того, в выбор стратегии могут входить уставки и допустимые границы изменения соответствующих техно-

логических параметров компримируемого газа и технологического оборудования.

Детерминированные векторы $I_1(t)$, $I_2(t)$ определяют информацию, которой обменивается ($I_1(t)$ – принимает, $I_2(t)$ – передает) диспетчер КС с диспетчером МГ.

Для упрощения формализации процедур интегрального оценивания состояния КЦ введем следующие допущения и обозначения:

1. Информация из системы телеизмерения об измеренных значениях аналоговых (непрерывных) переменных и о состоянии дискретных переменных поступает в САУ в дискретные моменты времени $t=1, 2, 3, \dots$.

2. Вектор всех входных контролируемых (измеряемых) аналоговых (непрерывных) переменных обозначим $X_t(\omega) = (X_t^1(\omega), X_t^2(\omega), \dots, X_t^j(\omega), \dots, X_t^N(\omega))$.

3. Вектор $X_t(\omega)$ рассматривается как реализация в момент времени t N -мерного случайного процесса $X_t(\omega)$, т.е. является N -мерной случайной величиной.

4. С функциональной точки зрения вектор $X_t(\omega)$ можно условно представить в виде объединения двух векторов $X_t(\omega) = (X_t^I(\omega), X_t^{II}(\omega))$, где $X_t^I(\omega)$ – вектор режимных переменных, используемых в моделях объекта управления технологического оборудования КЦ; $X_t^{II}(\omega)$ – вектор контролируемых переменных, которые непосредственно не используются в моделях объекта управления.

5. Для каждой компоненты вектора $X_t^j(\omega)$ заданы технологические ограничения, определяющие технологически допустимый диапазон изменения ее значений, т.е.

$$X^{j+} \geq X_t^j(\omega) \geq X^{j-},$$

где X^{j+} , X^{j-} – соответственно нижняя и верхняя границы технологически допустимого диапазона изменения переменных $X_t^j(\omega)$.

6. Интегральные оценки состояния КЦ будем получать на дискретном интервале времени $[1, T]=[1, 2, \dots, t, \dots, T]$.

После этих замечаний перейдем непосредственно к рассмотрению и формализации проблемы интегрального оценивания состояния КЦ.

3. Определение структуры и состава интегральных показателей состояния КЦ

Для построения системы интегральных показателей состояния КЦ как объекта управления будем использовать метод анализа иерархий [1], являющийся системной процедурой, позволяющей представить проблему в виде взаимосвязанной иерархической структуры. Решение проблемы сводится к процессу поэтапного установления упорядоченных приоритетов.

Метод анализа иерархий включает в себя следующие основные этапы:

- декомпозицию проблемы;
- построение иерархической структуры модели проблемы.

Одна из основных проблем, стоящих перед разработчиками САУ КЦ, – сформировать и представить диспетчеру КС всестороннюю и объективную оценку состояния КЦ. Эта оценка может быть выражена как в **шкале отношений**, так и **в сильных шкалах**. В шкале отношений эта оценка может принимать значения:

- отлично;
- хорошо;
- удовлетворительно;
- предавария;
- авария;
- останов.

В некоторых случаях для элементов технологического оборудования используются более жесткие шкалы:

- исправное;
- неисправное;
- работоспособное;
- неработоспособное.

В сильных шкалах оценки состояния КЦ могут занимать числовой интервал, например, от нуля до ста: $[0, 100]$. При этом оценке 100 соответствует состояние “отлично”, а оценке 0 – полный останов КЦ.

Это позволяет осуществить достаточно простой переход от сильной шкалы к шкале отношений путем разбиения всего интервала сильной шкалы на соответствующие подынтервалы.

Следует отметить, что, как объект управления, КЦ относится к классу больших систем и отказ одного или нескольких его элементов не приводит к отказу (останову) всего КЦ, а только снижает эффективность его работы.

Основную проблему (проблему нулевого уровня) интегрального оценивания состояния КЦ предлагается структурировать на следующие слабо зависящие между собой проблемы первого уровня:

- соответствие заданию;
- наблюдаемость и идентифицируемость;
- стационарность;
- устойчивость;
- управляемость;
- техническое состояние.

Для каждой из этих проблем могут быть использованы оценки как в шкалах отношений, так и в сильных шкалах. Важно другое – необходимо, чтобы шкалы верхнего (нулевого) и нижнего (первого) уровней были согласованы между собой. В данном случае наиболее адекватным является использование сильных шкал.

Проблему формирования интегральной оценки состояния КЦ можно представить в виде иерархической структуры, представленной на рис. 2 и 3.

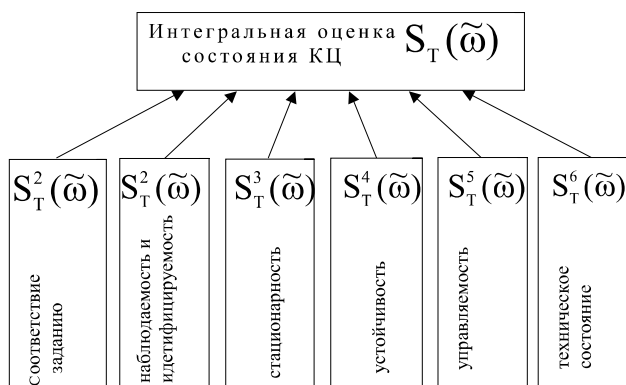


Рис. 2

В представленной выше иерархической структуре интегральная оценка технического состояния $S_T^6(\tilde{\omega})$ формируется на основании оценок технического состояния многочисленных узлов и подсистем ГПА, входящих в состав КС. Поэтому целесообразно детальнее рассмотреть принципы формирования оценки $S_T^6(\tilde{\omega})$.

Для построения системы интегральных показателей состояния КС произведем структуризацию ГПА по основным функциональным узлам и подсистемам.

Современный ГПА состоит из двух основных функциональных блоков: нагнетателя природного газа и привода [2]. В качестве нагнетателя обычно применяется центробежный нагнетатель (ЦБН), а в качестве приводов ЦБН наибольшее распространение получили газотурбинные двигатели (ГТД). В качестве основных функциональных параметров ЦБН, определяющих его техническое состояние, целесообразно выделить следующие компоненты:

- проточная часть;
- маслосистема;
- вибрация и осевое смещение.

В качестве основных функциональных параметров ГТД, определяющих его техническое состояние, целесообразно выделить следующие компоненты [3]:

- проточная часть;
- маслосистема;
- вспомогательная система (клапаны перепуска воздуха из компрессора ГТД, клапаны перепуска газа из турбины ГТД, направляющие аппараты компрессора).

Можно доказать, что представленная система интегральных показателей состояния КС является функционально полной и позволяет наиболее все-сторонне и объективно характеризовать его на рассматриваемом интервале времени [1, Т].

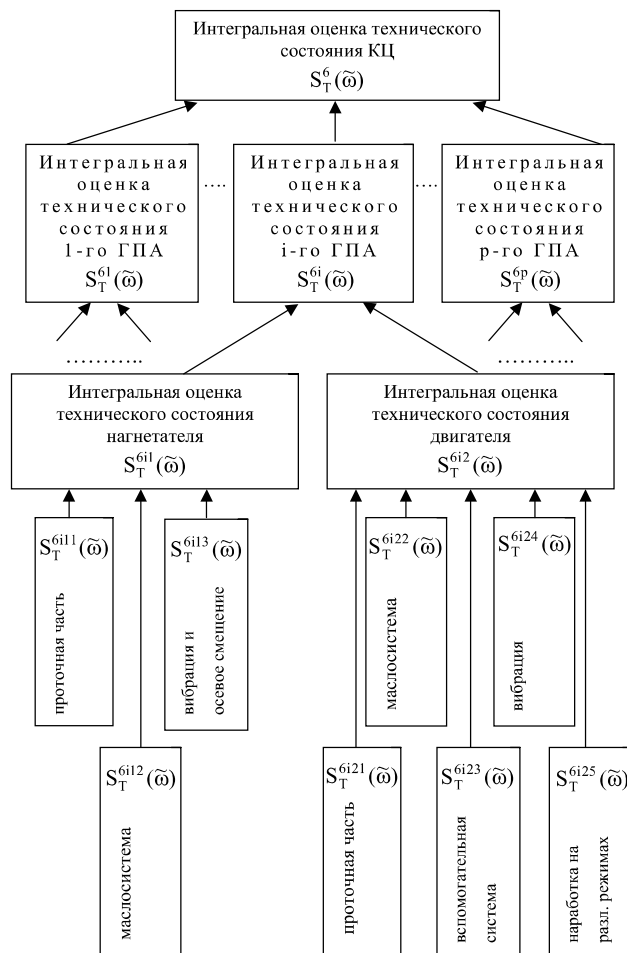


Рис. 3

Литература: 1. Лямец В. И, Тевяшев А. Д. Системный анализ. Харьков: ХТУРЭ, 1998. 252 с. 2. Поришков Б. П., Лопатин А. С., Рябенко А. С. Повышение эффективности эксплуатации энергопривода компрессорных станций. М.: Недра, 1992. 207с. 3. Довідник експлуатаційників газонафтового комплексу // В. В. Розгонюк, Л. А. Хачикян, М. А. Григіль, О. С. Удалов, В. П. Нікішин. К.: Росток, 1998. 432с.

Поступила в редколлегию 14.11.2000

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Евдокимов, А. Г.

Тевяшев Андрей Дмитриевич, академик УНГА, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой прикладной математики ХТУРЭ. Научные интересы: системный анализ. Хобби: теннис, горные лыжи. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 40-94-36.

Коток Валерий Борисович, член.-кор. УНГА, зав. отделением ДК "Укртрансгаз" НИПИ АСУ трансгаз. Научные интересы: построение систем реального времени. Хобби: филателия. Адрес: Украина, 61136, Харьков, ул. Ком. Уборевича, 28/64, кв. 7, тел. 20-57-31, 20-57-87.

Колодяжный Валерий Васильевич, член. кор. УНГА, директор ДК "Укртрансгаз" НИПИ АСУ трансгаз. Научные интересы: построение интегрированных систем управления объектами топливно-энергетического комплекса. Хобби: охота. Адрес: Украина, 61125, Харьков, ул. Конева 16, тел. 23-31-85.

Шулик Павел Викторович, аспирант кафедры прикладной математики ХТУРЭ. Научные интересы: системный анализ и числовой измерительный контроль. Хобби: стендовый моделизм, фотография и программирование. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 40-94-36.