

Розроблені та запропоновані маловитратні підходи в реалізації алгоритмів керування і оптимізації завантаження енергетичного об'єкта на основі використання комплексної параметричної ідентифікації фактичних характеристик експлуатації. Реалізація підходів на прикладі конкретного агрегату відкриває комплекс позитивних ефектів, закладаючи основу більш об'єктивного менеджменту газотранспортної системи

Ключові слова: параметрична ідентифікація, фактичні характеристики, енергетичний об'єкт, компресорна станція, магістральний газопровід

Разработаны и предложены мало затратные подходы в реализации алгоритмов управления и оптимизации загрузки энергетического объекта на основе использования комплексной параметрической идентификации фактических характеристик эксплуатации. Реализация подходов на примере конкретного агрегата открывает комплекс позитивных эффектов, закладывая основу более объективного менеджмента газотранспортной системы

Ключевые слова: параметрическая идентификация, фактические характеристики, энергетический объект, компресорная станция, магистральный газопровод

ФАКТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ И ОПТИМИ- ЗАЦИЯ ЗАГРУЗКИ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА

Г. Б. Варламов

Доктор технических наук, профессор, проректор по научно-педагогической работе, директор центра*

E-mail: varlamov@kpi.ua

Е. А. Приймак

Аспирант, ассистент, ведущий инженер*

E-mail: crankgirl@list.ru

*Научно-технический центр «Экотехнологии и технологии энергосбережения»

Кафедра теоретической и промышленной теплоэнергетики

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт»

пр. Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056

1. Введение

Исследования и новые подходы, предложенные авторами и рассмотренные в статье, относятся к эксплуатации объектов газотранспортной отрасли, а именно к определению реальных параметров работы оборудования компрессорной станции (КС) и могут быть использованы при модернизации или создании автоматизированных систем управления (АСУ) работой газоперекачивающих агрегатов (ГПА) и КС в целом [1].

Физический износ основных фондов, устаревшие процессы энергопреобразования оборудования КС актуализируют вопросы рационального функционирования всех элементов системы и эффективной эксплуатации КС, от решения которых зависит как качественная транспортировка газа магистральными газопроводами (МГ), так и состояние газовой промышленности и экономической ситуации Украины в целом [2].

Для обеспечения надежного, рационального и эффективного функционирования газотранспортной системы необходима объективная информация о фактическом состоянии отдельных узлов, ГПА и КС, которая позволит оценивать реальное состояние и условия эксплуатации КС и МГ. Одновременно с

этим, появляется возможность продлить рабочий ресурс оборудования за счет оптимизации сроков проведения ремонтов с одновременной реновацией и модернизацией как отдельных частей ГПА, так и всего оборудования КС газотранспортной системы (ГТС). Кроме того, это позволяет осуществлять эксплуатацию ГПА с оптимизацией технологических процессов в каждом агрегате, КС и МГ в целом на более высоком уровне безопасности за счет уменьшения вероятности внезапных отказов оборудования и возникновения аварийных ситуаций [3].

Реальное, фактическое функционально-техническое состояние газоперекачивающего агрегата характеризуется показателями работы отдельных частей, узлов и обслуживающих систем, предусматривает использование достоверной информации о реальном состоянии оборудования, наличии дефектов и повреждений, отклонений параметров от нормативных значений, требует выявления причин и механизмов их возникновения и развития [4].

По результатам этих данных определяется оценка технического состояния оборудования, которая характеризует пригодность и работоспособность объектов, определяется возможность их дальнейшей эксплуатации, необходимость восстановления и реновации [4].

2. Обзор методов и анализ подходов к оптимизации

Вопрос определения фактического состояния тесно связан с определением реальных параметров оборудования, т.е. их идентификацией и определением фактических реальных значений.

Вопросами определения фактических значений параметров оборудования агрегатов и ГПА в целом посвящено множество фундаментальных (теоретических) и прикладных работ [5 – 11].

Например, методы авторов [5] заключаются в использовании эмпирических и полуэмпирических зависимостей и основаны на детальном изучении физических процессов, протекающих в объекте. Однако, ограниченный диапазон применения, небольшая точность и сложность аналитического описания процессов, протекающих в объекте, не позволяют отнести этот метод к универсальному.

Для использования в оперативных диспетчерских расчетах был разработан метод загрузки и оценки технического состояния газотранспортной установки (ГТУ), основанный на штатных, измеряемых на агрегате, параметров [6]. На основе использования этого метода были описаны программы для выполнения экспресс диагностики технического состояния центробежных нагнетателей и газотурбинных установок компрессорных цехов магистральных газопроводов [7]. Но данный метод относится только к конкретным типам установок и агрегатов и не описывает общего состояния КС, что не позволяет проводить общестанционную оптимизацию загрузки ГПА на КС при реализации различных задач транспортировки природного газа МГ.

Несмотря на то, что определение и диагностирование показателей работы КС и ГПА позволяют оптимизировать эксплуатацию технологического оборудования станции в целом, необходимо учитывать и необходимость повышения экологической безопасности КС магистральных газопроводов [8], и использование современных математических моделей и методов оптимизации их работы.

Решение задачи оптимизации загрузки агрегатов по всей газотранспортной магистрали с использованием аналитического моделирования, которое базируется на необходимости решения взаимосвязанных систем нелинейных алгебраических и дифференциальных уравнений большой размерности, в полном объеме и однозначно очень затруднительно.

Таким образом, эта задача относится к классу задач нелинейного математического программирования высокой размерности с нелинейными ограничениями в виде равенств и неравенств дискретно-непрерывного типа и может быть в будущем решена посредством использования методов динамического программирования (ДП), но на данный момент не существует формализованных методов многокритериального ДП, особенно при векторных переменных состоянии и сетевой структуре расчетной схемы. Подходы к разработке таких методов можно найти в работе [9].

В целом, вышперечисленные работы не представили конкретного алгоритма реализации и имеют общий рекомендательный характер.

Создание математических моделей с использованием метода балансовых уравнений и теорий графов

имеют свои ограничения, связанные со сложностью учета всех гидравлических составляющих уравнений и ограничением графического представления физических аспектов реальных процессов, с которыми связана система транспортировки газа на КС. Поэтому в данном случае целесообразно выбрать стратегию декомпозиции газотранспортной магистрали с поэтапной оптимизацией основного оборудования главных составляющих ее элементов [10].

3. Разработка стратегии оптимизации загрузки оборудования

По данной стратегии магистральный газопровод разделяется на отдельные объекты [10], а именно: КС со входными и выходными параметрами и линейный участок (ЛУ) газопровода, который соединяет между собой компрессорные станции (КС) (рис. 1).

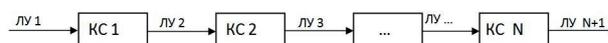


Рис. 1. Схема декомпозиции МГ на отдельные объекты: ЛУ - линейные участки, КС - компрессорная станция

Это позволяет рассматривать МГ как комплекс последовательно соединенных ЛУ и КС, обеспечивающих транспортировку газа по газопроводу. Каждый предыдущий комплекс «ЛУ1 + КС1» должен обеспечивать на своем выходе исходные данные (параметры) для работы следующего комплекса «ЛУ2 + КС2» и т.д. Такая стратегия декомпозиции открывает возможность применения поэтапной оптимизации как ЛУ, так и КС. В нашем случае использован такой подход и задача оптимизации загрузки технологического оборудования компрессорной станции решается за счет использования метода поэтапной оптимизации составных частей КС. Суть метода состоит в том, что итоги оптимизации предыдущего этапа являются исходными данными для последующего этапа. На каждом этапе используется определенный критерий оптимизации, выбор которого осуществляется на основании физической сути задачи и общей стратегии оптимизации всего объекта в целом. При этом необходимо учитывать, что стратегия оптимизации загрузки и эксплуатации технологического оборудования объекта транспорта газа должна базироваться на учете и анализе:

- удельных расходов топливного газа на транспортировку природного газа;
- зависимости эффективной мощности ГТУ в составе ГПА от термодинамических параметров реального цикла;
- зависимости удельного расхода топливного газа от коэффициента технического состояния и политропного коэффициента полезного действия (КПД) нагнетателя;
- зависимости экологических характеристик от технологических параметров;
- изменений основных технико-экономических показателей транспортировки при работе па-

раллельно или последовательно работающих ГПА;

- ограничений рабочих параметров основного технологического оборудования (например для нагнетателя: температура газа на выходе из нагнетателя, температура дымовых газов на выходе из воздушного нагревателя, минимальная частота вращения для беспомпажной работы);
- изменений давления в газопроводе от предыдущей компрессорной станции;
- расходов, связанных с уплатой нормативных и сверхнормативных платежей за вредные выбросы в окружающую среду.

Контроль параметров основного и вспомогательного технологического оборудования необходим для расчета и анализа основных технико-экономических и энерго-экологических характеристик его эксплуатации.

Современное состояние возможностей микропроцессорной и компьютерной техники позволяет создавать программно-аналитические комплексы для анализа и разработки рекомендаций по эффективному использованию технологического оборудования различной степени сложности. КС относится к сложному энерготехнологического типа объекту, на котором происходит широкий спектр теплоэнергетических и газодинамических процессов. Учет и анализ параметров протекания этих процессов требует использования современной микропроцессорной и компьютерной техники с реализацией сложных алгоритмов. Применение методов системного анализа параметров взаимосвязанных процессов позволит осуществить качественное регулирование режимов эксплуатации с соблюдением современных энергосберегающих и энерго-экологических норм.

Развитие систем автоматизированного контроля (АСК) и АСУ работой как ГПА так и КС в системе газотранспортного снабжения позволяет наработать некоторые механизмы определения и оптимизации технологических режимов в работе [11].

Вместе с этим, теоретические разработки и алгоритмы управления должны базироваться на достоверной информации о функционально-техническом состоянии основных узлов ГПА: ГТУ и осевого нагнетателя (ОН). Диагностика состояния указанного оборудования осуществляется при теплотехнических испытаниях, проводимых периодически, но с большим интервалом времени. В период между этими испытаниями состояние ГПА считается бесосновательно неизменным. Поэтому актуальной является необходимость разработки новых подходов и алгоритмов программно-методических комплексов, которые в режиме реального времени позволяют проводить необходимые наблюдения и расчеты режимно-технических задач с использованием АСК и подсистем диагностики основных энерго-экологических показателей работы ГПА.

Оптимальный режим работы ГПА относят к режиму с номинальными (паспортными) значениями основных параметров и характеристик основного оборудования (ГТУ + ОН). Однако в реальных условиях при наличии необратимости рабочих процессов в ГТУ и ОН основные технико-экономические показатели их

работы могут существенно отличаться от паспортных. Поэтому использование общепринятых подходов к проведению оптимизации работы этого оборудования является малоэффективным.

Поэтому на первый план выдвигается необходимость осуществления достоверной идентификации как отдельных параметров, так и величин, рассчитываемых на их основе.

В работе предложена новая технология осуществления комплексной параметрической идентификации фактических характеристик как отдельных узлов и агрегатов, так и установки в целом, которая реализована на примере ГПА.

4. Цель и задача разработки

ИФХ ГПА относится к эксплуатации объектов газотранспортной отрасли, а именно к определению реальных параметров работы оборудования КС. ИФХ предназначена для определения условий эффективной эксплуатации оборудования, оптимизации технологических процессов и повышения надежности транспортировки газа и может быть реализована в период осуществления модернизации или создания АСУ ГПА и КС в целом.

Известны официально существующие отчетные информационные и нормативные материалы, ДСТУ [12, 13], на основе которых осуществляются вычисления показателей эксплуатации основного технологического и вспомогательного оборудования ГПА КС.

Важным является то, что данные нормативные документы были разработаны более 15-20 лет назад, не учитывают накопленный опыт как отечественных, так и зарубежных ученых в области определения и исследования фактического состояния ГПА, и не позволяют получать объективную и достоверную информацию в реальном времени для оперативного диагностирования оборудования.

Для решения всех вышеперечисленных особенностей идентификации и влияния величины ошибки на определение фактических значений в процессе управления эксплуатацией ГПА авторами [1] разработана и предложена новая методика параметрической идентификации фактических характеристик подобного оборудования, которая позволяет осуществлять определение достоверных значений основных величин и характеристик эксплуатации, касающихся надежности, экономичности и экологичности работы, обеспечивает возможность осуществления комплексного системного анализа реального состояния оборудования, постоянного мониторинга параметров и прогнозирования.

Учитывая, что в состав энергетического объекта может входить значительное количество различных агрегатов и установок, была предложена более универсальная методология идентификации, так называемая комплексная параметрическая идентификация фактических характеристик [14]. Суть этой методологии основывается на реализации алгоритма последовательных действий и преследует цель унифицированного подхода к определению фактических характеристик эксплуатации оборудования любого энергетического объекта (газоперекачивающих агре-

гатов и КС в целом, котельных агрегатов и котельной в целом).

Реализация данного алгоритма является достаточно трудоемкой и требует осуществления комплексного анализа и систематизации характеристик и параметров агрегатов. Однако, при этом удается учесть особенности любого оборудования энергетических объектов и становится возможным получить окончательный результат с учетом прямого и косвенного влияния на него различных параметров и характеристик в реальном времени [2]. Кроме того, методика позволяет учитывать всю предысторию любых событий, неуправляемых «выбегов» параметров за допустимые ограничения, время отказа оборудования, выхода из строя датчиков и измерительных приборов.

На основании практической реализации такого подхода возникает возможность прогнозирования состояния оборудования и агрегатов.

Таким образом, создание алгоритмов управления энергетическими объектами с использованием методологии комплексной параметрической ИФХ позволяет перейти на более высокий уровень достоверности и надежности управления эксплуатацией агрегатов на данном объекте и в системе в целом.

5. Практическая реализация методологии

Разработанная методология [14] реализована на конкретном газоперекачивающем агрегате типа ГТК-10 на компрессорной станции [15]. Опытная эксплуатация разработанного на данной методологии программно-аналитического комплекса показывает ее основные преимущества:

1. управление нагрузками ГПА осуществляется на основе проверенных по обратным связям величин и параметров;
2. дежурный персонал станции и диспетчерской службы магистрального газопровода имеет возможность анализировать в реальном времени состояние агрегата и проводить технико-экономические оценки работы;
3. дежурный персонал станции за счет реализации в АСУ специальных алгоритмов оценки и рекомендаций получает возможность оперативно реагировать на возникающие отклонения рабочего состояния ГПА в условиях его эксплуатации;
4. заложенный в АСУ алгоритм контроля и мониторинга контролируемых параметров и величин с архивированием их в базе данных позволяет накапливать и анализировать информацию на предмет оценки надежности эксплуатации, необходимости проведения отдельных видов ремонтных и профилактических работ, а также проводить оценку вероятности

возникновения непредвиденных ситуаций, в том числе аварийных ситуаций.

Реализация этих особенностей методологии в системах АСУ отдельных агрегатов и КС на МГ позволяет перейти на более высокий уровень достоверности данных о параметрах и условиях эксплуатации, снижает вероятность негативного воздействия ошибок на режим управления и оптимизации загрузки «человеческого» фактора, обеспечивает более надежную и долговечную эксплуатацию оборудования за счет реализации малозатратных технологий.

6. Выводы и предложения

На основе предложенной методологии комплексной параметрической идентификации фактических характеристик и реализации новых подходов оптимизации загрузки оборудования реализуется возможность объективной оценки рисков и прогнозирования дальнейшей надежной и эффективной эксплуатации оборудования агрегатов и станции в составе МГ.

Данная методология, которая реализуется по научно-обоснованному алгоритму, позволяет создавать и успешно эксплуатировать программно-аналитические комплексы в составе существующих АСУ для определения, архивирования и оценки фактического состояния как основного и вспомогательного оборудования отдельных агрегатов, так и целого объекта.

Использование предложенных новых подходов позволяет оценивать в реальном времени возможные риски возникновения нестандартных и аварийных ситуаций, производить оценку вероятности появления возможных отказов или выходов из строя основного, вспомогательного оборудования или их элементов, а также обслуживающих систем эксплуатации агрегатов [16].

Важной особенностью разработанной системы является возможность «подстройки» ее под любой тип и вид агрегата, мобильной настройки АСУ после проведения капитального ремонта и включения в работу дополнительных измерительных каналов и датчиков, реновации или модернизации агрегата и компрессорной станции.

К вышеописанному необходимо добавить еще один положительный фактор – возможность существенно уменьшить эксплуатационные и ремонтные затраты на поддержание агрегатов в работоспособном состоянии за счет использования объективной информации о реальном состоянии при формировании сроков и периодичности проведения плановых и внеплановых ремонтов, реновации оборудования. Реализация таких подходов в целом позволит оптимизировать технологические процессы и повысить надежность транспортировки газа, перейти на новый уровень менеджмента газотранспортной системы.

Литература

1. Пат. на корис. модель 67093 Укр., МПК F04D 27/00. Спосіб параметричної ідентифікації фактичних характеристик газоперекачувального агрегату компресорної станції [Текст] / Варламов Г. Б., Приймак К. О., Косинський І. С., Мельник Л. П., Шапошник Є. М. – опубл. 25.01.2012, Бюл. № 2.–10 с.

2. Варламов, Г. Б. Загальні особливості методології параметричного визначення фактичних характеристик газоперекачувального агрегату [Текст] / Г. Б. Варламов, К. О. Приймак, О. Ю. Череди́ченко, Л. М. Підзира́йло Збірник проблеми нафтогазової промисловості : Зб. наук. пр. / Випуск 10. – Київ, 2012. – С. 307–331.
3. Ковалко, М. П. Методи та засоби підвищення ефективності функціонування систем трубопровідного транспорту газу [Текст] / М. П. Ковалко. – К.: Українські енциклопедичні знання, 2001. – 287 с.
4. Микаэлян, Э. Требования к эксплуатационной пригодности газотурбинных газоперекачивающих агрегатов [Текст] / Э. Микаэлян // Газотурбинные технологии. – 2004. – №1. – С. 25–29.
5. Режимы газотранспортных систем [Текст] : підруч. / Яковлев С. И. Казак О. С., Михалкин В. Б., Тимкин Д. Ф., Грудз В. Я. – Л.: Світ, 1992. – 170 с.
6. Вертепов, А. Г. Экспресс-метод оценки загрузки и технического состояния ГТУ [Текст] / А.Г. Вертепов // Совершенствование машин и агрегатов газовой промышленности. – М.: ВНИИГАЗ, 1994. – С. 44–52.
7. Лінецький, Й. К. Автономні програми оперативної діагностики обладнання компресорних станцій магістральних газопроводів [Текст] / Й. К. Лінецький, І. Ч. Лещенко // Проблеми загальної енергетики. – 2001. – №5. – С. 62–66.
8. Говдяк, Р. М. Актуальные проблемы модернизации газотурбинных газоперекачивающих агрегатов [Текст] / Р. М. Говдяк, Б. І. Шелковский, Г. М. Любчик, Г. Б. Варламов // Экологические и ресурсосбережение. – 2003. – №5. – С. 66–72.
9. Beightler, C. S. Foundations of optimization [Text] / C.S. Beightler, D.I. Wilde. – Prentice-Hall, 1967. – 458 p.
10. Варламов, Г. Б. Алгоритм параметричної ідентифікації фактичних характеристик газоперекачувального агрегату компресорної станції [Текст] / Г. Б. Варламов, К. О. Приймак // Енергосбереження. Енергетика. Енергоаудит. – 2011. – №12. – С. 10–14.
11. Беккер, М. В. Розроблення і промислова апробація комплексу режимно-технологічних задач на основі діагностування функціонально-технічного стану ГПА [Текст] / М. В. Беккер, Б. С. Ільченко, О. О. Прищенко, І. С. Івасютак // Нафтова і газова промисловість. – 2004. – №3 – С. 46–50.
12. Инструкция по контролю и учету технического состояния элементов газоперекачивающих агрегатов. – М.: ВНИИГАЗ. 1977. – 45 с.
13. СТП 320.30019801.056-2002. Комплексные обследования надземного механического технологического оборудования компрессорных станций магистральных газопроводов. Методы газодинамических испытаний – Введ. 26-12-2002. – К.: ДК. – 2002. – 45 с.
14. Пат. на корис. модель 71955 Укр., МПК F 04 D 27/00. Спосіб комплексної параметричної ідентифікації фактичних характеристик газоперекачувального агрегату [Текст] / Варламов Г. Б., Приймак К. О., Шапошник Є. М. – опубл. 25.07.2012, Бюл. № 14. – 4 с.
15. Варламов, Г. Б. Системний аналіз базових методик ідентифікації фактичних характеристик газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций [Текст] / Г. Б. Варламов, Е. А. Приймак // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2013. – №2. – С. 66–72.
16. Приймак, К. О. Аналіз основних підходів щодо діагностування фактичних показників експлуатації газоперекачувальних агрегатів [Текст] / К. О. Приймак // Енергетика та електрифікація. – 2013. – №5. – С. 7–10.