

Варламов Г.Б., докт. техн. наук, профессор, **Приймак Е.А.,** аспирант

*Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев
просп. Победы, 37, 03056 Киев, Украина, e-mail: pryimak_k@ukr.net*

Системный анализ базовых методик идентификации фактических характеристик газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций

Рассмотрены основные методы идентификации фактических характеристик газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций. Проведен анализ базовых методик с определением основных недостатков и достоинств рассматриваемой идентификации. Предложен способ параметрической идентификации фактических характеристик газоперекачивающих агрегатов с приведенным алгоритмом последовательных действий, который позволит получать объективную информацию о его техническом состоянии и осуществлять корректное прогнозирование работы агрегатов и установок. Установлена существенная сложность и взаимозависимость влияния различных факторов, величин, параметров на фактические данные и эксплуатационные характеристики технологического оборудования и необходимость разработки современных подходов и методов идентификации характеристик. *Библ. 12, рис. 1.*

Ключевые слова: газоперекачивающий агрегат, реальное состояние оборудования, методология, параметры, фактические характеристики.

Компрессорные станции магистральных газопроводов Украины являются энергоемкими и сложными с теплотехнической точки зрения объектами газотранспортной системы. В целом они представляют собой современный мощный, насыщенный различным оборудованием теплоэнергетический объект, деятельность которого направлена на эффективное выполнение главной задачи — транспортировку природного газа с одновременным обеспечением высокого уровня экологической безопасности и надежности эксплуатации с минимальными затратами энергетических и человеческих ресурсов.

Основным оборудованием компрессорных станций являются стационарные газоперекачивающие агрегаты, техническое состояние которых определяет режимы и надежность эксплуатации объекта в целом.

Актуальность

Газоперекачивающий агрегат (ГПА) на компрессорной станции (КС) должен обеспечивать эффективную транспортировку природного газа по магистральному газопроводу за счет компримирования его нагнетателем, который приводится в действие газотурбинной установкой (ГТУ), в состав которой входят осевой компрессор (ОК), газовая турбина (ГТ), подогреватель воздуха (ПП) и камера сгорания (КС).

Определение реального фактического функционально-технического состояния ГПА предусматривает определение достоверной информации относительно значений параметров и показателей эксплуатации, отклонений этих значений от нормативных величин, наличие дефектов и повреждений, выявление причин и механизмов их возникновения и развития [1].

Использование достоверных значений параметров и величин относительно фактического технического состояния газоперекачивающего объекта позволяет существенно снизить затраты на поддержку ГПА в рабочем состоянии, оптимизировать технологические процессы, повысить надежность транспортировки газа, осуществлять прогнозирование выработки рабочего моторесурса агрегата, что в целом повысит уровень энергетической эффективности и экологической безопасности газотранспортной системы Украины [2].

Исследование идентификации фактических характеристик ГПА

Фактическое техническое состояние ГПА непосредственно связано с определением фактических параметров эксплуатации и рабочего состояния оборудования с одновременным проведением вычислений показателей эксплуатации оборудования.

Для оценки технического состояния составных частей и ГПА в целом проводятся замеры некоторых конструктивных, аэродинамических и тепловых величин, осуществляются эксплуатационные испытания узлов и самого агрегата до и после ремонтов. Основной целью таких замеров и испытаний является определение фактических значений параметров и величин, характеризующих реальное состояние составных частей и агрегата в целом. При этом определяемые величины характеризуют энергетические возможности ГПА, а их отклонение от номинальных величин является показателем реального технического состояния ГПА [3].

Целью контроля и мониторинга характеристик эксплуатации ГПА основного и вспомогательного оборудования КС является контроль его фактического состояния, получение оперативной в реальном времени информации с возможностью прогнозирования его возможного состояния на ближайшие или долгосрочные сроки. Цель прогнозирования состоит в планировании проведения соответствующих видов ремонтных работ.

Отсутствие научно обоснованной методики определения фактического состояния ГПА создает препятствия относительно возможности и целесообразности прогнозирования его состояния на перспективу.

На сегодняшний день существующие методики определения параметров и величин эксплуатации ГПА базируются на показателях приборов и справочных и паспортных величинах и не отражают фактических их значений по разным причинам.

Для примера рассмотрим некоторые основные методики более подробно.

Наиболее полно методы определения фактических параметров и величин эксплуатации ГПА изложены в «Методических указаниях по определению мощности и оценке технического состояния проточной части газоперекачивающих агрегатов с турбоприводом» [4], где представлены основные положения методики измерения и обработки результатов эксплуатационных испытаний.

Например, определение мощности и технического состояния ГТУ осуществляется несколькими методами: 1 — по степени расширения в турбине; 2 — по степени сжатия в компрессоре; 3 — по параметрам газа в нагнетателе; 4 — по расходу циклового воздуха через компрессор; 5 — по характеристикам нагнетателя; 6 — по непрямым параметрам; 7 — по расходам топливного газа. Оценка технического состояния центробежных нагнетателей производится по

параметрам газа в нагнетателе (метод 3), который считается наиболее достоверным.

При этом большая часть методов оценки технического состояния ГТУ (за исключением метода 7), различаются в части определения эксплуатационной мощности. Одновременно с этим методы имеют одинаковые алгоритмы расчета коэффициента технического состояния КН, который включает операции по приведению мощности к нормальным атмосферным условиям и номинальной температуре перед турбиной. Метод 7 позволяет получить коэффициент КН непосредственно в эксплуатационных условиях работы агрегата.

Метод 5 можно использовать со значительными ограничениями, а именно: имеющиеся конструктивные характеристики нагнетателя точно соответствуют типу и размерам колеса, состояние газового тракта центробежного нагнетателя (ЦБН) удовлетворительное; зазоры в лабиринтных уплотнениях диска и рабочего колеса не имеют отклонений от номинальных значений.

В этом случае разница между величинами мощности, рассчитанные по методам 3 и 5, может превышать 5–6 %. Такое расхождение касается и разногласия значений эффективного КПД. При этом при определении различия в величинах мощности и КПД ЦБН не учитываются возможные изменения режимов работы других узлов ГПА, а именно ГТУ, которая является основным источником внешних и внутренних необратимостей.

Определение эффективной мощности ЦБН по данному методу косвенно учитывает механические потери мощности в подшипниках ЦБН. Предоставляемые значения механических потерь для агрегатов различных типов в данной методике могут не соответствовать существующему действительному состоянию.

В разделах 2–5 работы [4] приведены данные, необходимые и достаточные для определения эксплуатационной и приведенной мощности ГТУ, КПД ЦБН и оценки технического состояния газоздушного тракта установок и нагнетателей типа ГТ-700-5, (ГТК-5), ГТ-750-6, ГТК-10 (ПО НЗЛ); ГТ-6-750, ГТН-6 (ПО ТМЗ); ГПА-Ц-6,3 (СФ СКБ, ТХМ, ХКБМ); ГТН-101 (конструкция General Electric).

Материалы раздела 6 работы [4] позволяют дать приближенную оценку влияния характерных дефектов проточной части ГПА на снижение мощности, которая достигается ГТУ, и КПД ЦБН, но отсутствует механизм фиксации величины этих дефектов.

Методика содержит изложение основных положений, набор необходимых исходных дан-

ных и алгоритмы их обработки, которые позволяют проводить в условиях КС оперативную оценку технического состояния проточной части ГПА, эксплуатируемых на магистральных газопроводах, а также выявлять наличие паразитных перетоков в обвязке компрессорных станций. Исходные данные и алгоритмы расчета представлены в единой табличной форме, удобной для практического использования. Но в ней указано, что для определения теплотехнических параметров достаточно провести испытания только на одном (эксплуатационном) режиме.

Основные положения методики применяются и в СОУ 60.3–30019801–011 [5], где изменены условия проведения необходимых замеров и требований к ним.

Методы Научно-производственного центра «Техдиагаз» базируются на положениях СОУ 60.3–30019801–011 и являются фактически его модификацией. Необходимость разработки такой модифицированной методики обусловлена невозможностью использования существующих методов [5] определения основных функциональных и диагностических показателей работы из-за отсутствия возможности прямого измерения производительности нагнетателя при испытаниях, например, при отсутствии технической возможности измерения перепада давления на конфузоре нагнетателя.

Основной подход к определению коэффициентов технического состояния и использования базовых (паспортных) характеристик совпадает с положениями СОУ 60.3–30019801–011 [5]. Отличие приведенной в методике последовательности от порядка проведения расчетов в соответствии с [5] заключается в определении объемной производительности нагнетателя, которая, согласно этой методике, определяется из «Атласа фактических характеристик центробежных нагнетателей ГПА» [6], используемой в ДК «Укртрансгаз».

Газоперекачивающие агрегаты на магистральных газопроводах имеют большие наработки моторесурса, что ведет к усилению требований точности измерений характерных величин и параметров.

В 2010 г. НПЦ «Техдиагаз» ДК «Укртрансгаз» разработал временные методики расчета теплотехнических параметров отдельных газотурбинных двигателей газоперекачивающих агрегатов ГТ-750-6 [7] и ГТК-10-4 [8].

Методика [7] устанавливает правила определения и контроля теплотехнических характеристик ГПА с газотурбинным двигателем типа ГТ-750-6. Методика распространяется на компрессорные станции газотранспортной системы дочерней компании «Укртрансгаз» Националь-

ной акционерной компании «Нафтогаз Украины» и является руководящим методическим материалом для организаций, контролирующих теплотехнические характеристики ГПА с соответствующим ГТД в эксплуатационных условиях.

Методика [8] устанавливает правила определения и контроля теплотехнических характеристик газотурбинных двигателей типа ГТК-10-4 и имеет такое же распространение.

Особенностью методики [4–9] является отсутствие определения характера влияния различных величин и параметров на основные показатели эксплуатации и методы расчета погрешности измерений данных величин. Кроме того, вне зоны внимания остается вопрос учета разницы значений измеренных величин и параметров работы оборудования от фактических их значений с учетом возможных изменений их состояния, прогнозирования общего состояния ГПА и условий его надежной эксплуатации.

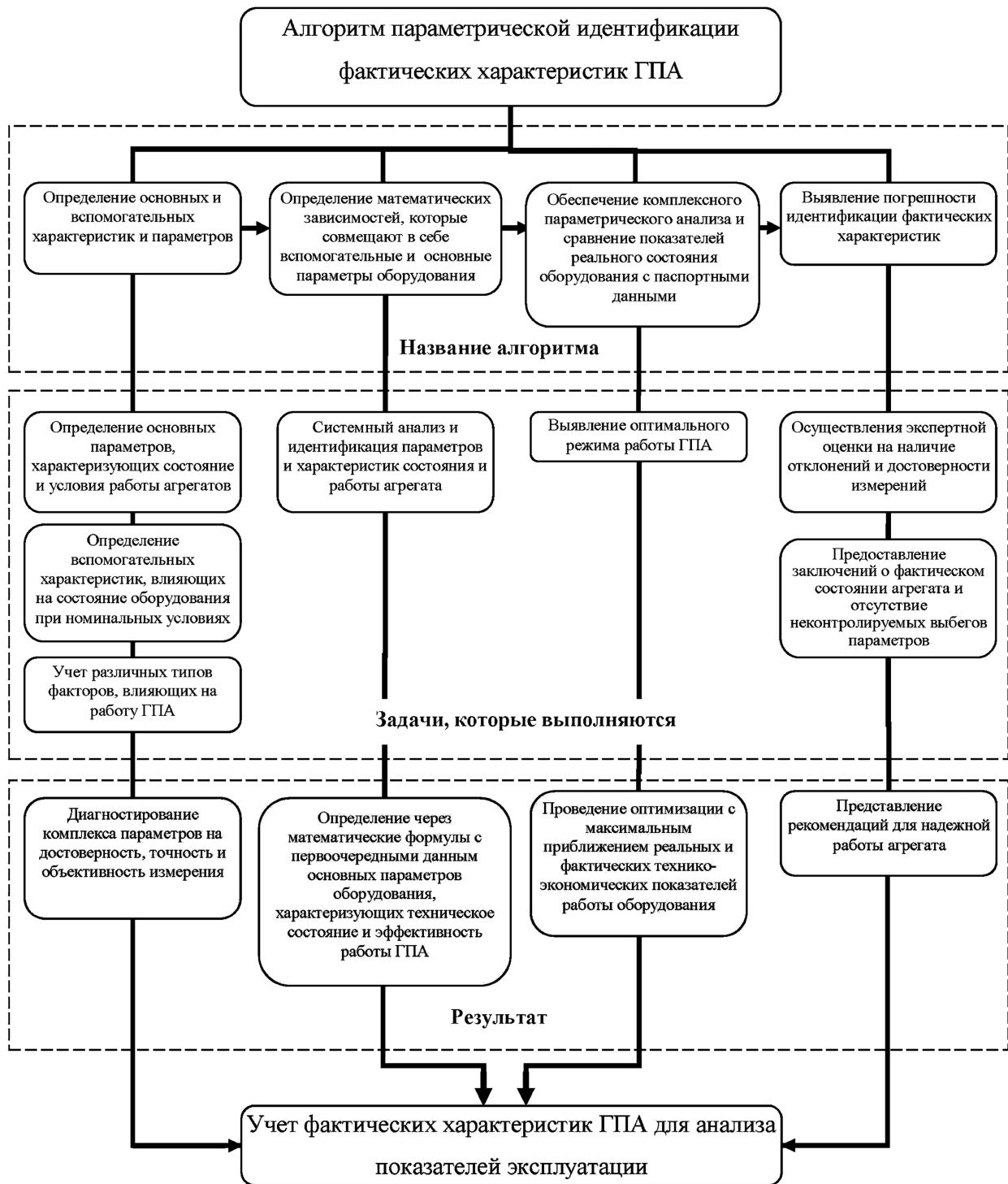
Анализ вышеприведенных методик позволяет сделать общий вывод о том, что они до конца не позволяют определить фактические характеристики оборудования, основанные на многих предположениях, имеют определенные неучтенные погрешности, не в полной мере оперируют измеренными параметрами и поэтому не могут дать объективной информации о его техническом состоянии и не позволяют осуществлять корректное прогнозирование работы агрегатов и установок.

Способ параметрической идентификации фактических характеристик ГПА

Отсутствие общеметодического научно обоснованного подхода к определению фактических характеристик создает определенный информационный вакуум в платформах систем автоматизированного контроля параметров, систем управления нагрузкой агрегатов и может привести к погрешностям в управлении аппаратами.

Для решения этих проблем и создания действующих программно-аппаратных комплексов, работа которых по управлению аппаратами базируется на реальных и объективных значениях фактических характеристик, предложен способ параметрической идентификации фактических характеристик ГПА компрессорной станции [11]. Он позволяет осуществлять определение фактического состояния вспомогательного и основного оборудования КС, может быть положен в основу совершенствования отраслевых стандартов с определением алгоритма оптимизации и общей методологии улучшения условий эксплуатации агрегатов и установок на реальном объекте транспорта газа.

На рисунке приведена принципиальная схема действий и задачи, выполняемые для получения результата.



Методика параметрической идентификации фактических характеристик ГПА КС состоит из последовательной реализации следующих действий (этапы 1–6): 1 — определение основных и вспомогательных величин и измерительных объективных и точных параметров и показателей работы оборудования; 2 — идентификация основных величин, характеризующих техническое состояние и эффективность работы ГПА с помощью математических зависимостей, которые объединяют основные и вспомогательные величины; 3 — комплексный параметрический анализ и сравнение показателей реального состояния оборудования с паспортными данными; 4 — выявление погрешности идентификации параметров и фактических характеристик; 5 — предоставление выводов относительно реального состояния агрегата на основании проведенной идентификации параметров эксплуатации и рекомендаций для надежной работы оборудования; 6 — определение реальных характеристик и составление банка данных фактических величин эксплуатации.

На этапе 1 предложенной параметрической идентификации фактических характеристик газоперекачивающего агрегата компрессорной станции определяют основные и вспомогательные величины, которые измеряются приборами и необходимы для дальнейшего расчета.

На этапе 2 определяют значения основных величин, характеризующих техническое состояние и эффективность работы ГПА с помощью математических зависимостей, которые объединяют основные и вспомогательные параметры.

Предложено определение следующих семи основных величин, характеризующих техническое состояние и эффективность работы ГПА: приведенный расход природного газа; мощность ГПА; коэффициент полезного действия ГТУ; КПД нагнетателя; приведенная частота вращения вала турбины нагнетателя; приведенная частота вращения вала турбины высокого давления; максимальная приведенная температура на выходе из силовой турбины или на выходе ГПА перед регенератором.

На этапе 3 рассчитываются основные величины, характеризующие техническое состояние и эффективность работы ГПА, после чего происходит комплексный параметрический анализ и сравнение показателей реального состояния оборудования с паспортными данными. Для этого сначала каждый основной параметр сравнивается с паспортными и оптимальными значениями, а в случае несоответствия какого-либо основного параметра проверяется соответствие величин, которые измеряются измерительными приборами, которые входят в этот параметр.

На этапе 4 происходит выявление погрешности идентификации фактических характеристик.

На этапе 5 происходит предоставление выводов относительно реального состояния агрегата на основании проведенной идентификации параметров эксплуатации и рекомендаций для надежной работы оборудования.

На этапе 6 происходит определение реальных характеристик и составление банка данных фактических величин эксплуатации.

Таким образом, на сегодняшний день известно несколько методов и моделей диагностики ГПА, но единый системный подход к решению задачи оценки фактического технического состояния ГПА на основе этих методов до сих пор не создан.

К общим проблемам вышеупомянутых методик определения фактических характеристик ГПА следует отнести [10]: а) ограниченную номенклатуру измеряемых параметров; б) большое количество возможных и не учтенных погрешностей определения параметров; в) недостаточное количество штатных каналов измерения параметров; г) сложность математического описания процессов, протекающих в основных узлах ГПА; д) невозможность аналитического решения математических моделей; е) отсутствие современной методической базы проведения достоверных теплотехнических и газодинамических испытаний ГПА.

Анализ базовых методик [4–9] свидетельствует о существенной сложности и взаимозависимости влияния различных факторов, величин, параметров на фактические данные и эксплуатационные характеристики технологического оборудования, что в свою очередь требует разработки современных подходов и методов идентификации характеристик.

Выводы

Предложенный способ параметрической идентификации фактических характеристик газоперекачивающего агрегата компрессорной станции [11] позволяет идентифицировать с большой точностью фактические параметры и характеристики состояния ГПА, обеспечить возможность осуществления постоянного мониторинга параметров в реальном времени, позволяет существенно уменьшить затраты на поддержание ГПА в работоспособном состоянии за счет объективной информации для формирования планов ремонтов и реновации оборудования КС ГТС и оптимизировать технологические процессы с повышением надежности транспортировки газа, осуществлять комплексный системный анализ реального состояния оборудования и определение оптималь-

них режимів його загрузки з метою підвищення енергетичної ефективності та екологічної безпеки [12].

Список літератури

1. Приймак К.О. Методологія ідентифікації фактичних характеристик енергетичних об'єктів газотранспортної системи // XIV Міжнар. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів і молодих вчених «Екологія. Людина. Суспільство»: Тез. доп., Київ, 18–22 трав. 2011 р. — Київ, 2011. — С. 236.
2. Варламов Г.Б., Приймак К.О. Алгоритм параметричної ідентифікації фактичних характеристик газоперекачувального агрегату компресорної станції // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. — 2011. — № 12. — С. 10–13.
3. Приймак К.О., Варламов Г.Б. Основні методологічні засади визначення фактичних характеристик агрегатів газотранспортної системи // IX Міжнар. наук.-практ. конф. аспірантів, магістрів, студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики»: Тез. доп., Київ, 18–22 квіт. 2011 р. — Київ: Володимирецька друкарня, 2011. — С. 193.
4. Методические указания по определению мощности и оценке технического состояния проточной части газоперекачивающих агрегатов с турбоприводом. — М.: Оргтехдиагностика, 1983.
5. СОУ 60.3-30019801-011:2004. Компресорні станції. Контроль теплотехнічних та екологічних характеристик газоперекачувальних агрегатів. — <http://normativ.ua/types/tdoc17454.php>
6. Ільченко Б.С., Измалков Б.І., Лівшиць В.Л. та ін. Розроблення атласу фактичних характеристик відцентрових нагнітачів газоперекачувальних агрегатів, які експлуатуються в дочірній компанії «Укртрансгаз». — Харків, 2002.
7. Тимчасова методика розрахунку теплотехнічних параметрів газотурбінних двигунів марки ГТ-750-6, наук.-вироб. центр «Техдіагаз», 2010.
8. Тимчасова методика розрахунку теплотехнічних параметрів газотурбінних двигунів марки ГТК-10-4, наук.-вироб. центр «Техдіагаз», 2010.
9. Альбом характеристик центробежних нагнетателей природного газа. — М.: ВНИИГАЗ, 1985.
10. Ільченко Б.С., Измалков Б.И. Теоретические основы и методы расчета функционального технического состояния газоперекачивающих агрегатов. — Харьков: Коллегиум, 2006. — 250 с.
11. Пат. на корис. модель 67093 Укр., МПК⁹ F 04 D 27/00. Спосіб параметричної ідентифікації фактичних характеристик газоперекачувального агрегату компресорної станції / Г.Б.Варламов, К.О. Приймак, І.С.Косинський та ін. — Опубл. 25.01.12, Бюл. № 2.
12. Варламов Г.Б., Приймак К.О. Комплексная параметрическая идентификация фактических характеристик эксплуатации энергообъектов // VIII Міжнар. наук.-практ. конф. «Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення»: Зб. наук. ст. / Укр. наук.-дослід. ін-т еколог. проблем. — Харків: Райдер, 2012. — Т. 2. — С. 222–223.

Поступила в редакцію 07.02.13

Варламов Г.Б., докт. техн. наук, професор,
Приймак К.О., аспірант

*Національний технічний університет України «КПІ», Київ
просп. Перемоги, 37, 03056 Київ, Україна, e-mail: pryimak_k@ukr.net*

Системний аналіз базових методик ідентифікації фактичних характеристик газоперекачувальних агрегатів компресорних станцій

Розглянуто основні методи ідентифікації фактичних характеристик газоперекачувальних агрегатів компресорних станцій. Проведено аналіз базових методик з визначенням основних недоліків та переваг розглянутої ідентифікації. Запропоновано спосіб параметричної ідентифікації фактичних характеристик газоперекачувальних агрегатів з наведеним алгоритмом послідовних дій, який дасть змогу отримувати об'єктивну інформацію про його технічний стан та здійснювати коректне прогнозування роботи агрегатів та установок. Встановлено суттєву складність та взаємозалежність впливу різних факторів, величин, параметрів на фактичні дані та експлуатаційні характеристики технологічного обладнання та необхідність розроблення сучасних підходів та методів ідентифікації характеристик. *Бібл. 12, рис. 1.*

Ключові слова: газоперекачувальний агрегат, реальний стан обладнання, методологія, параметри, фактичні характеристики.

Varlamov G.B., Doctor of Technical Science, Professor,
Pryimak K.O., PhD Student

*National Technical University of Ukraine «Kiev Polytechnic Institute», Kiev
37, Peremohy Prosp., 03056 Kiev, Ukraine, e-mail: pryimak_k@ukr.net*

System Analysis of Basic Methods for Identifying Actual Characteristics of Gas Pumping Units for Compressor Stations

This paper considers the basic methods for identifying the actual characteristics of gas pumping units of compressor stations. The analysis of basic procedures to identify advantages and disadvantages of identifying the actual characteristics of gas pumping units of compressor stations has been conducted. The authors propose a method of parametric identification of the actual characteristics of the gas pumping unit with the use of the sequential action algorithm that will enable you to obtain objective information about its technical condition and carry out the correct prediction of operation of units and installations. The paper points to the essential complexity and interdependence of influence of different factors, variables, parameters on actual data and operational characteristics of the process equipment and to the need to develop the modern approaches and methods for identifying the characteristics. Bibl. 12.

Key words: gas compressor units, real condition of the equipment, methodology, parameters, the actual characteristics.

References

1. Pryimak K.O. (2011). Methodology of Identification of the Actual Characteristics of Energy Facilities of the Gas Transportation System. XIV Mizhnarodna naukovopraktychna konferencija studentiv, aspirantiv i molodyh vchenyh «Ekologija. Ljudyna. Suspil'stvo», tezy dopovidej, Kiev, 18–22 May, 2011, p. 236. (Ukr.)
2. Varlamov G.B., Pryimak K.O. (2011). Algorithm of Parametric Identification of the Actual Characteristics of Gas Pumping Units of Compressor Station. *Energoberezenie, Energetika, Energoaudit*, 94 (12), pp. 10–13. (Ukr.)
3. Pryimak K.O., Varlamov G.B. (2011). Basic Methodological Principles of Determination of the Actual Characteristics of Gas Transportation System Units. IX Mizhnarodna naukovopraktychna konferencija aspirantiv, magistriv, studentiv «Suchasni problemy naukovoogo zabezpechennja energetyky», tezy dopovidej, Kiev, 18–22 Apr., 2011. — Kiev : Volodymyrec'ka drukarnja, p.193. (Ukr.)
4. Methodical Instructions on Determination of Capacity and Evaluation of the Technical State of Flow Section of Turbine-Driven Gas Pumping Units. Moscow, Orgtehdiagnostika, 1983. (Rus.)
5. SOU 60.3-30019801-011:2004. Compressor Stations. Control of Thermal and Environmental Characteristics of Gas Pumping Units. (Ukr.) — <http://normativ.ua/types/tdoc17454.php>
6. Ilchenko B.S., Izmailov B.I., Livshyc' V.L., Shatajev O.V., Tokajev M.V. (2002). Development of Atlas of Actual Characteristics of Centrifugal Superchargers of Gas Pumping Units Operated at Subsidiary of «Ukrtransgaz», Kharkov (Ukr.)
7. Temporary Methodology for Calculation of Thermal Parameters of Gas Turbine Engines GT-750-6, Scientific and Technical Center «Tekhdiagaz», 2010. (Ukr.)
8. Temporary Methodology for Calculation of Thermal Parameters of Gas Turbine Engines GTK-10-4, naukovovyrobnychyj centr «Tehdiagaz», 2010. (Ukr.)
9. Album of Characteristics of Centrifugal Superchargers for Natural Gas. Moscow, VNIIGAZ, 1985. (Rus.)
10. Il'chenko B.S., Izmailov B.I. (2006). Theoretical Bases and Methods of Calculation of the Functional Technical State of Gas Pumping Units. Kharkov, Collegium, 250 p. (Rus.)
11. Varlamov G.B., Pryimak K.O., Kosynskij I.S., Melnyk L.P., Shaposhnyk Je.M. (2012). Method of Parametric Identification of Actual Characteristics of Gas Pumping Units of Compressor Station. Utility Model Patent of Ukraine No. 67093 issued on 25.01.2012, bull. No. 2, 10 pages. (Ukr.)
12. Varlamov G.B., Pryimak K.O. (2012). Integrated Parametric Identification of Actual Operating Characteristics of Energy Facilities. VIII Mizhnarodna naukovopraktychna konferencija «Ekologichna bezpeka : problemy i shljahy vyrishennja» : Zbirka naukovyh statej / Ukrai'ns'kyj naukovodoslidnyj instytut ekologichnyh problem. — Kharkov, Rajder, pp. 222–223. (Rus.)

Received February 7, 2013