

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОМПРЕССОРНОГО ЦЕХА ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ

К.Ю. Слободчиков (ООО "Вега-Газ")

Представлен краткий анализ методов автоматизированного управления компрессорным цехом (КЦ). Приводятся результаты апробации регулятора режимов КЦ, полученные в ходе предварительных испытаний в январе-феврале 2004 г. на компрессорной станции Алгасово Моршанского управления магистральными газопроводами (УМП) (Россия, Тамбовская область). Сделано обоснование необходимости разработки информационной системы поддержки принятия решений.

Введение

Анализ открытых публикаций [1-6], посвященных моделированию и управлению ТП перекачки газа на иерархических уровнях "газоперекачивающий агрегат – компрессорный цех – компрессорная станция", позволяет сделать следующие выводы.

1. На текущий момент не существует единого математического описания ТП в газотранспортных системах, охватывающего все стороны технологического цикла, хотя известно большое число моделей для отдельных операций и процессов, ориентированных на решение частных технико-экономических задач.

2. Управление ТП комплексно и отдельными операциями в значительной мере опирается на выработанный в течение многих лет опыт эксплуатации, эмпирические правила и рекомендации, учитывающие особенности технологического оборудования и условия эксплуатации.

3. Стратегический уровень управления ТП обеспечивается в основном логико-командным управлением. Задачи регулирования и управления технологическим оборудованием отражают чаще всего тактический уровень реализации общей стратегии управления комплексом, возлагаемый на диспетчерский персонал и не имеющий поддержки принятия решений в существующих АСУ КЦ.

Фирма Вега-Газ (Москва) имеет достаточный опыт реализации проектов, объединяющих цеховую распределенную информационно-управляющую систему (РИУС) и системы управления агрегатной автоматикой Квант. В результате выполнения этих работ перед разработчиками была поставлена задача организации эффективного комплексного управления оборудованием КЦ.

В данном направлении имеются наработки фирм-производителей, однако подробная информация о комплексных методах управления КЦ и газоперекачивающими агрегатами (ГПА) является недоступной, поэтому опереться на чужой опыт при разработке этих алгоритмов не представляется возможным.

В последние годы сформировались требования, предъявляемые к системам автоматического управления (САУ) ГПА и АСУ КЦ, из них некоторые направлены на создание "безлюдных" производств:

- снижение роли "человеческого фактора", иногда приводящего к опасным ситуациям при управлении сложными объектами;
- сокращение числа оперативного персонала;
- переход к безвахтовому обслуживанию;

- повышение безопасности эксплуатации за счет более качественного регулирования.

Однако, реализация в системах управления указанных принципов иногда приводит к возникновению определенных проблем при эксплуатации данных комплексных систем. Имеют место случаи отключения регуляторов режима КЦ и даже блокировки антипомпажного регулирования.

Причины, приводящие к таким ситуациям в системах управления, заложены в неправильном распределении функций между человеком-оператором и системой автоматизации, наличии в регуляторах процесса недостоверных методов расчета, отсутствии в системах блоков анализа и прогнозирования обработанной информации, закрытости систем для внесения необходимых изменений.

Проектирование алгоритмов регулятора режимов КЦ

Вопросы правильной организации построения АСУ зависят от информации, предоставляемой разработчикам в виде методик, алгоритмов, баз правил организации системы. Чаще всего эксплуатирующая организация не может правильно сформулировать все эти требования, поэтому для достижения поставленной цели необходим сбор информации и поэтапное наращивание функций, выполняемых системой.

Поэтому на первом этапе проектирования комплексной системы управления была определена необходимость решения двух основных задач:

1. разработки и апробации алгоритмов поддержания режима компрессорной станции;
2. разработки и проверки алгоритмов распределения нагрузки между ГПА в условиях объекта.

Для управления режимом были выбраны два параметра – давление на выходе цеха и производительность цеха. В качестве параметров распределения нагрузки для параллельной схемы включения ГПА были выбраны мощность нагнетателя и удаленность от зоны помпажа.

Работа комплексного регулятора режима возможна при соблюдении условий:

$$Q_{(i)min} < Q_{(i)};$$

$$n_{ТНДmin} < n_{ТНД(i)} < n_{ТНДmax};$$

$$n_{ТВДmin} < n_{ТВД(i)} < n_{ТВДmax};$$

$$T_{(ТВД)max} < T_{(ТВД)(i)};$$

$$T_{(ТНД)max} > T_{(ТНД)(i)};$$

$$P_{(ЦЕХ)max} > P_{(ЦЕХ)},$$

где $Q_{(i)}$, $Q_{(i)min}$ – текущее и минимальное значение производительности i -го нагнетателя, $n_{ТНД(i)}$, $n_{ТНДmin}$, $n_{ТНДmax}$, $n_{ТВД(i)}$, $n_{ТВДmin}$, $n_{ТВДmax}$ – текущее, минимальное и максимальное значения оборотов турбины низкого (ТНД) и высокого давления (ТВД), $T_{(ТВД)(i)}$, $T_{(ТВД)max}$, $T_{(ТНД)(i)}$, $T_{(ТНД)max}$ – текущее и максимальное значения температуры продуктов сгорания перед ТВД и за ТНД, $P_{(ЦЕХ)}$, $P_{(ЦЕХ)max}$ – текущее и максимальное значение давления на выходе цеха.

Если условия выполнены, можно рассчитать уставку по оборотам ТНД для i -го ГПА, выразив ее через формулы расчета мощности и представить в виде:

$$n_{уст} = n_{ном} \cdot 3 \sqrt{\left(\frac{N_{уст} \cdot \frac{Ni_{нас}}{Ni} \cdot Kn}{\left[\frac{Ni}{c} \right]_{ПП} \cdot \rho_{ex}} \right)}, \quad (1)$$

где $n_{уст}$ – уставка по оборотам ТНД, $n_{ном}$ – номинальные обороты нагнетателя ГПА, $N_{уст}$ – уставка по мощности для ГПА, $Ni_{нас}$ – внутренняя мощность нагнетателя ГПА, рассчитанная через относительную внутреннюю мощность нагнетателя по паспортной характеристике, Ni – внутренняя мощность нагнетателя ГПА, рассчитанная по замеренным параметрам, Kn – коэффициент технического состояния нагнетателя, ρ_{ex} – плотность газа на входе в нагнетатель,

$\left[\frac{Ni}{c} \right]_{ПП}$ – относительная внутренняя мощность нагнетателя.

Кроме того, можно выразить уставку по оборотам ТНД через производительность нагнетателя, используя для этого известное соотношение:

$$\frac{\Delta n_1}{\Delta Q_1} = \frac{\Delta n_2}{\Delta Q_2}, \quad (2)$$

где Δn_1 , Δn_2 – приращение оборотов ТНД на переходном режиме ΔT ; ΔQ_1 , ΔQ_2 – приращение производительности нагнетателя на переходном режиме ΔT .

При этом, внесем поправку к данному соотношению в виде коэффициента коррекции уставки K_1 :

$$K_1 = \frac{\sum_{\Delta T} \Delta n}{\sum_{\Delta Q} \Delta Q}. \quad (3)$$

Кроме численных методов расчета уставки по оборотам были разработаны алгоритмы регулирования режима по указанным параметрам с применением ПИ-регуляторов.

Для отладки разработанных алгоритмов необходимо смоделировать работу нагнетателей ГПА, динамику газового коллектора, расчет мощности, политротического КПД, коэффициента технического состояния нагнетателя каждого из условных агрегатов.

Для решения поставленной задачи использовался метод структурного моделирования, который представляет собой последовательное наращивание сложности модели объекта вместе с разработкой блоков

программы-регулятора. За счет этого достигается поэтапная отладка сложных комплексных программ управления в АСУ КЦ. Модель объекта управления реализована в программах MathCAD 2000 и VisSim 4.5. Структура модели представлена на рис. 1.

Опытная апробация регулятора режимов КЦ состоялась в феврале 2004 г. на компрессорной станции (КС) Алгасово Моршанского УМГ. По результатам проведенных испытаний и корректировок были получены: программный блок автоматического регулятора режимов и блок распределения нагрузки между ГПА цеха. В процессе проведения испытаний были сняты динамические характеристики ГПА, позволяющие учитывать границы его работы при поступлении управляющих воздействий с уровня цеховой автоматики. Эти характеристики использовались при настройке моделей, интегрированных в регулятор режима.

Полученный при апробации регулятора режимов результат дал возможность четко сформулировать требования к разработке комплексных систем, соблюдение которых позволит организовать эффективное управление в многоуровневой АСУ КЦ. Для этого необходимо:

- описать существующую на сегодняшний день систему автоматизации ТП с единых позиций, обобщающих все имеющиеся теоретические и практические знания, опирающиеся как на количественную, так и на качественную информацию о процессе и управлении им;
- обеспечить структурирование и обзорность описания, доступность всей информации для разработчиков разных уровней и подсистем;
- разработать информационную систему поддержки принятия решений с применением методик диагностики турбины, комплексной математической модели технологических объектов КЦ, критериев показателей транспортировки газа и модуля анализа технологического состояния объекта;
- сделать систему открытой для последующей оптимизации и расширения на основе предложенного единого системного подхода;
- обеспечить возможность использования данной компьютерной технологии на разных иерархических уровнях организации системы "ГПА – КЦ – КС".

Структура построения регулятора режимов КЦ

Исходя из указанных требований целесообразно проведение поэтапного исследования и решения задач при разработке компьютерной технологии (КТ) поддержки принятия решений с элементами автоматизации (рис. 2).

Результатом решения *первой задачи* являются структурные модели в виде функциональных схем, отражающих техническую реализацию процессов сжатия. Полученные модели должны учитывать структурную организацию, координаты и уравнения состояния, определяемые законами сжатия газа, а

также поведенческие модели технических устройств, реализующих данные процессы.

Из анализа практической работы систем поддержания режима на КС известно, что возможны ситуации нестационарного движения газа в газопроводе. При этом основным критерием оценки управления системой в данных условиях является надежность работы системы. Как правило, в таких случаях поддержания режима добиваются путем частичной рециркуляции компримированного газа. При этом полезная работа снижается.

Модельное представление нестационарного течения газа является довольно трудоемкой задачей, однако ее решение позволит оценить возможность использования в производственных системах методов управления, основанных на оптимальном компромиссе между надежностью и экономичностью. Этим обосновывается необходимость построения модели комплексной агрегированной системы для стационарного и нестационарного режимов транспортирования газа.

Описанная поэтапная процедура формирования концепции моделирования и управления является

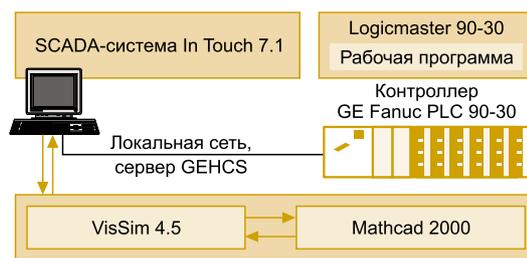


Рис. 1. Структура аппаратно-программной модели для отладки цехового регулятора

одновременно стратегией синтеза методов управления процессами компримирования газа и реализующими эти методы технологическими системами. В основе предложенного подхода лежат модельное представление (описание) объектов, цели и критерии управления.

При формировании концепции управления необходимо вводить в рассмотрение показатели эффективности сжатия газа (примером может служить различные виды КПД), которые в дальнейшем будут использованы при конструировании критериев оптимальности функционирования или управления. Синтез комплексной модели технического объекта и критериев процесса компримирования является результатом решения *второй задачи исследования* – разработки методов управления КЦ, ГПА.

В условиях эксплуатации возникает задача учета технического состояния оборудования для определения возможности и целесообразности управления данным агрегатом. Внесение в регулятор режима КЦ алгоритмов, учитывающих техническое состояние

ГПА, позволяет определять "границные" условия работы ГПА и цеха, что важно как при автоматическом регулировании, так и для организации диалога "человек-машина".

Решением *третьей задачи исследования* является разработка методики определения границ регулирования ГПА, основанной на расчетах преобразованной линеаризованной системы уравнений газовой динамики для изотермического течения газа и технической диагностики оборудования по газодинамическим параметрам.

На основании выбранных критериев и построенных моделей разработан метод многокритериального поддержания режима КЦ, который наряду с выполнением функций управления режимом и распределения нагрузки, свойственной остальным регуляторам, выполняет дополнительные функции моделирования анализа и прогнозирования. В отличие от аналогичных регуляторов данный регулятор использует в модели параметры, контроль и учет которых позволяют избежать аварийные ситуации ГПА. Моделирование параметров "активных" элементов системы (САУ ГПА) позволяет в

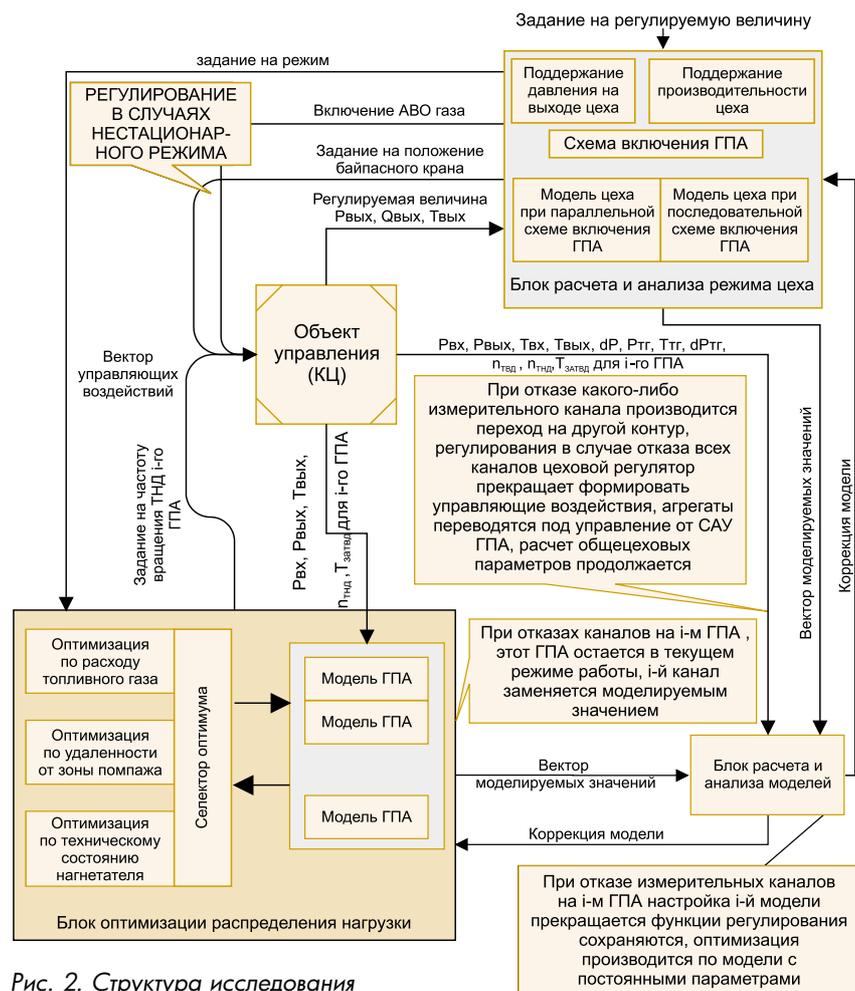


Рис. 2. Структура исследования

случае отказов измерительных каналов на стационарном режиме исключить возможность выхода за границы области регулирования как цеховой, так и агрегатной систем управления. Кроме того, этот метод позволяет избегать ложного срабатывания некоторых защит в САУ ГПА.

Практическим результатом такой работы является разработка компьютерной технологии построения АСУТП, охватывающей внедрение моделей и методов регулирования КЦ. Работающие в режиме РВ комплексная модель объектов КЦ и комплексный регулятор режимов КЦ, совмещают функции регулирования, моделирования и прогнозирования (рис. 3). Построение данной компьютерной технологии является одновременно решением *четвертой задачи* исследования.

Выводы

Таким образом, исходя из предположения необходимости разработки информационной системы поддержки принятия решений с элементами автоматики, получены алгоритмы управления режимом КЦ, прошедшие испытания в достаточно сложных условиях. Разработан метод многокритериального управления режимом КЦ, который интегрируется в систему поддержки принятия решений.

Алгоритм управления режимом внедрен на КС Алгасово цех №1. В настоящий момент проводится этап внедрения информационной системы поддержки принятия решений в рамках технического обслуживания на КС Острогжск цех №3. Далее будет проверена работоспособность комплекса САУ ГПА "Квант-1М" и АСУ КЦ РИУС производства ООО "Вега-Газ".

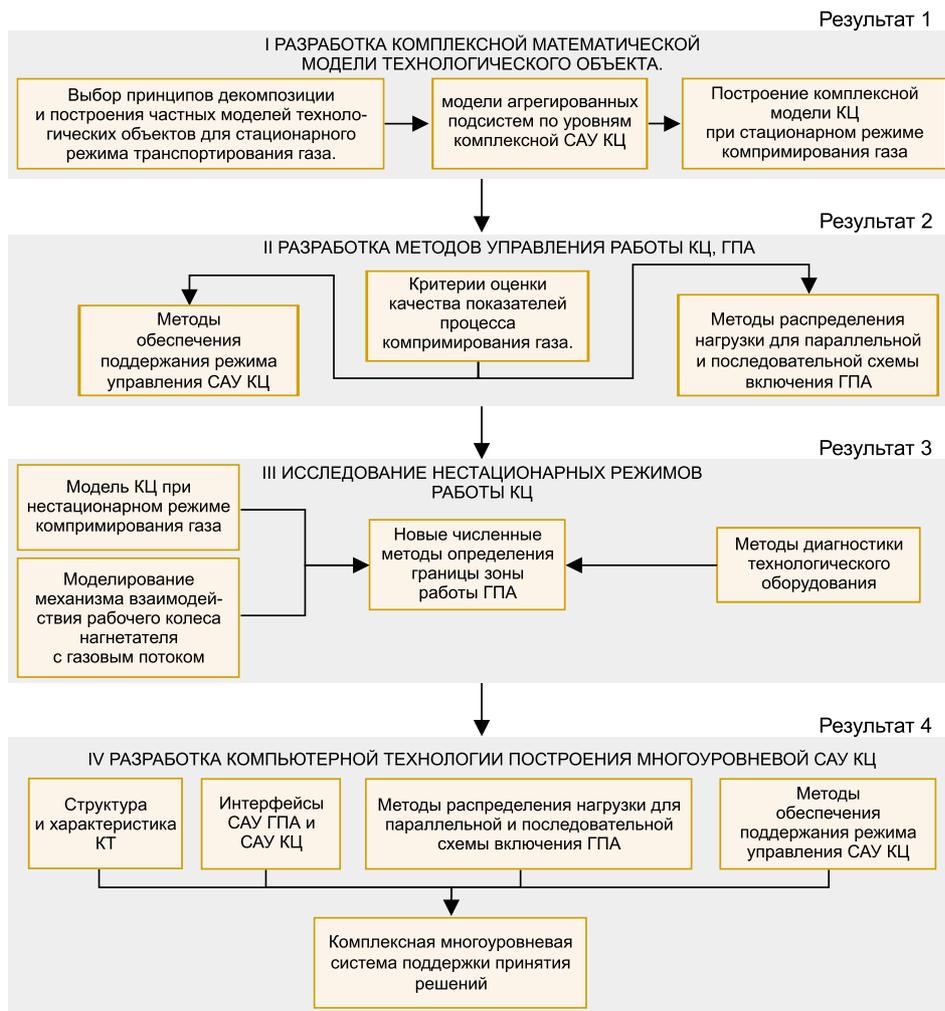


Рис. 3. Структурная схема построения регулятора режимов КЦ

Список литературы

1. Балавин М.А. Продовиков С.П. Автоматизация процессов газовой промышленности / ЛЭТИ. 2003.
2. Галиулин З.Т., Леонтьев Е.В. Интенсификация магистрального транспорта газа. М.: Недра. 1991.
3. Волков М.М. Михеев А.Л., Конев К.А. Справочник работника газовой промышленности. М.: Недра. 1989.
4. Разработка и внедрение рекомендаций по повышению эффективности режимов работы и снижения топливозаргетических затрат на КС // ВНИИГАЗ. Москва. 1989.
5. Методика расчета нагнетателя // ООО "МОСТРАН-ГАЗ". 2001.
6. Саух С.Е. Особенности математического моделирования газотранспортных систем // Киев. 1987.

Слободчиков Константин Юрьевич – инженер ООО "Вега-Газ". Контактный телефон 095)-381-79-33, (103)-8-(057)-702-17-89.

Автоматизация производства сульфатной беленой целлюлозы на ОАО "Котласский ЦБК"

Изготовлена, прошла метрологическую поверку и отгружена автоматизированная система оперативно-диспетчерского управления производства сульфатной беленой целлюлозы для ОАО "Котласский ЦБК".

Распределенный ввод данных выполнен на базе контроллеров Siemens. В качестве SCADA-системы использовалось ПО Wonderware. Ядром системы является сервер промышленных приложений (Industrial Application Server), принадлежа-

щий к новому поколению программных продуктов в области промышленной автоматизации, построенный на базе новой архитектуры Archestra и использующий технологию .Net.

Специалисты ООО "НПФ "Ракурс", при выполнении этого проекта, первыми на территории России использовали ПО Wonderware новой архитектуры. Опытная эксплуатация системы уже начата на ОАО "Котласский ЦБК". Ввод в промышленную эксплуатацию системы намечен на конец мая 2004 г.

Контактный телефон НПФ "Ракурс" (812)252-43-90. [Http://www.rakurs.com](http://www.rakurs.com)