

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОАВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ НА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

УДК [622.279.23+622.24]:004.896

А.В. Дарымов, ООО «Газпром добыча Надым» (Надым, Россия), manager@nadym-dobycha.gazprom.ru

Д.В. Стратов, ООО «Газпром добыча Надым», manager@nadym-dobycha.gazprom.ru

Н.М. Бобриков, ПАО «Газпром автоматизация» (Москва, Россия), n.bobricov@gazprom-auto.ru

В.Е. Столяров, ФГБУН «Институт проблем нефти и газа Российской академии наук» (Москва, Россия), vbes60@gmail.com

А.А. Когай, ООО «Газпром добыча Надым», a.kogai@nadym.dobycha.gazprom.ru

Д.П. Щеголев, ООО «Газпром добыча Надым», Shegolev.DP@nadym.dobycha.gazprom.ru

В статье описана совокупность работ по созданию алгоритмов централизованного управления высокоавтоматизированными технологическими комплексами для нефтегазовых месторождений. Подобные разработки востребованы на месторождениях, находящихся на начальной, активной и заключительной стадиях эксплуатации, в период падающей добычи при наличии технологических, геологических и других ограничений по эксплуатации.

На Бованенковском нефтегазоконденсатном месторождении (ЯНО) реализована совокупность алгоритмов регулирования для добычного технологического комплекса, обеспечивающая возможность динамической управляемости и оптимизации технологических режимов, в том числе при наличии осложняющих и нештатных возмущений. В процессе промышленной эксплуатации элементов интеллектуального цифрового управления территориально распределенными объектами автоматизированная система с высокой точностью поддерживает стабильность параметров выходного давления.

В целях сокращения временных и финансовых затрат на разработку цифровых технологий управления от момента постановки задачи до ее реализации, обеспечения оптимального использования финансовых и иных ресурсов, возможности ускоренного тиражирования положительных результатов приоритетным становится поэтапное внедрение элементов интеллектуального месторождения.

Реализация цифровых технологий и возможность интеграции отдельных производственных объектов позволяют рационально использовать пластовое давление, оптимизировать ресурс и работу оборудования, снизить издержки, обеспечить технологическую и экологическую безопасность. Наличие унифицированной программно-аппаратной платформы и единого информационного пространства помогает решить основные задачи по созданию современных высокорентабельных роботизированных производств, а также предусмотреть поэтапное развитие технологического комплекса до уровня интеллектуального нефтегазового месторождения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ, ГАЗОВЫЙ ПРОМЫСЕЛ, ЦИФРОВИЗАЦИЯ, ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ, АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ, КУСТ ГАЗОВЫХ СКВАЖИН, ДОЖИМНАЯ КОМПРЕССОРНАЯ СТАНЦИЯ.

Задача обеспечения энергетической безопасности Российской Федерации для месторождений природного газа заключается в поддержании непрерывного режима добычи, подготовки и подачи газа в систему магистральных газопроводов.

Стабильная подача товарного газа в газотранспортную систему обеспечивает надежность эксплуатации

объектов Единой системы газоснабжения и определяет экономические показатели ПАО «Газпром».

Освоение арктических широт п-ва Ямал – амбициозная, сложная и необходимая задача современности. Создание новых газодобывающих комплексов предъявляет особые требования к технологическим решениям, их надежности и управляемости, существенно рас-

ширяет компетенции оперативного персонала. В процессе проводимой инновационной политики при обустройстве Бованенковского нефтегазоконденсатного месторождения (НГКМ) реализуются перспективные решения для отрасли, в том числе применяются установки термостабилизации грунтов в приустьевых зонах, модульные обвязки эксплуатационных скважин, комплексы

подземного и блочно-модульного оборудования высокой заводской готовности.

ОСОБЕННОСТИ ОБУСТРОЙСТВА МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Проектом «Обустройство сеноман-аптских залежей Бованенковского НГКМ» предусмотрена эксплуатация комплекса технологического оборудования, состоящего из трех газовых промыслов (ГП) с четырьмя установками комплексной подготовки газа (УКПГ), трех очередей с четырьмя дожимными компрессорными станциями (ДКС) суммарной мощностью 1460 МВт, а также 775 газовых и газоконденсатных скважин в составе 56 кустов, расположенных на этом месторождении. Реализация проекта обустройства территориально разнесенных объектов в сложных климатических условиях связана с рядом технологических, финансовых и экономических ограничений:

- отсутствием развитой транспортной инфраструктуры и удаленностью от объектов промышленной индустрии для изготовления и доставки оборудования;

- сложными климатическими условиями и сжатыми сроками освоения;

- отсутствием надежного ответственного технологического оборудования и средств автоматизации, необходимых компетенций проектных организаций и персонала;

- наличием многолетнемерзлых пород и необходимостью организации сезонных работ (рис. 1, 2).

Поэтапное обустройство месторождения в составе отдельных промыслов и очередей с использованием при строительстве модельно-ориентированной схемы обеспечивает уменьшение объемов проектных и строительно-монтажных работ, снижение сроков ввода объекта и эксплуатационных затрат, усиливает технологическую и экологическую безопасность. В процессе эволюционного развития технологий цифровая трансформация производства делает возможным управление



Рис. 1. Куст газовых скважин с установками термостабилизации грунтов в зимнее время



Рис. 2. Куст газовых скважин с установками стабилизации в летнее время



Рис. 3. Автоматизированное рабочее место оператора газового промысла № 1 Бованенковского НГКМ

в соответствии с проектными критериями и бизнес-моделями оценки эффективности работы как отдельных промыслов, так и месторождения в целом.

Переход к интеллектуальному регулированию на основе нейросетей, скоростных каналов связи, применения искусственного интеллекта и прочего приведет

к появлению роботизированной формы управления по схеме «автоматизация – информатизация – цифровизация».

Разработанная и реализованная интегрированная модель месторождения предусматривает возможность апробации различных сценариев управления территориально разнесенным сложным объектом добычи на основании создаваемых цифровых двойников.

Возросшее влияние человека на управление технологическим комплексом при разработке и применении автоматизированных систем управления технологическим процессом (рис. 3) обострило проблему обеспечения стабильности работы объекта, чувствительного к отклонению технологических параметров от режимных значений каждого элемента в цепочке



Рис. 4. Укрупненная технологическая схема газового промысла Бованенковского НГКМ



Рис. 5. Газовый промысел № 2 Бованенковского НГКМ

подготовки и компримирования газа.

Технология ГП Бованенковского НГКМ предусматривает последовательную работу ДКС второй очереди (ДКС-2) на сыром газе с параллельной коллекторной обвязкой газоперекачивающего агрегата (ГПА) (семь ГПА – для ГП №1, восемь ГПА – для каждого модуля ГП №2, девять ГПА – для ГП №3) для 10 параллельных ниток низкотемпературной сепарации (НТС) с турбодетандерными агрегатами (ТДА) и ДКС первой очереди (ДКС-1) на осушенном газе с параллельной коллекторной обвязкой пятью ГПА. В дальнейшем проект предполагает поэтапный ввод ДКС трех очередей, технологи-

чески включенных между зданием переключающей арматуры (ЗПА) и ДКС-2. Основной режим работы ГП предусматривает поддержание заданного стабильного расхода газа в магистральный газопровод через нитки НТС с ТДА.

ОПИСАНИЕ ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ

Укрупненная технологическая схема добычи, подготовки и компримирования природного газа на примере ГП №2 Бованенковского НГКМ (рис. 4, 5) включает: кусты газовых скважин (КГС), газосборные сети (ГСС), ЗПА, ДКС-2, НТС, ДКС-1.

Согласно [1] под групповым понимается процесс управления

совместной работой двух и более технологических объектов (процессов). Это максимально точно характеризует поставленную задачу эффективной организации управления основными объектами ГП в целях обеспечения стабильности параметров газа по единой целевой уставке «расход газа» для всей технологической цепочки месторождения «скважина – КГС – ГСС – ДКС – УКПГ».

Помимо проблем обеспечения работы оборудования по технологическим нормам и поддержания характеристик товарного газа за счет автоматизации качества, необходимо решить задачу исключения дисбаланса в производительности каждого участка технологической схемы в условиях возникновения возмущений и отклонений, связанных с особенностями работы НТС с ТДА [2]. В целях оптимизации управления группами ГПА и отдельными промыслами добычного комплекса произведено разделение задачи на составляющие компоненты: а) определение технологического параметра, характеризующего задачу добычного комплекса в целом и позволяющего использовать в качестве основной уставки регулирования параметр расхода товарного газа; б) определение параметров для участка технологического комплекса в составе: – входных технологических ниток от газосборных коллекто-

ров, включенных в газосборный коллектор (давление газа в газосборном коллекторе);

- ДКС (вторая очередь) (давление в выходном коллекторе);
- установки НТС (расход газа) (рис. 6);
- ДКС (первая очередь) (давление во входном коллекторе).

Разделение произведено также по возможности обеспечения:

- управляемости выбранных участков;
- взаимосвязанности и управляемости технологических участков по основному параметру регулирования технологического комплекса.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАДАЧИ СТАБИЛИЗАЦИИ

В целях обеспечения управляемости объединенных в общий коллектор входных ниток газосборных газопроводов-шлейфов выполнено каскадное регулирование давления в коллекторе с внутренним расходным контуром. При этом сформированное задание распределяется централизованно между нитками газосборных коллекторов с равной удаленностью от ограничений для каждой нитки (определяется количеством работающих в кусте скважин и их рабочими параметрами) и выполнения суммарного задания внутреннего расходного контура [3].

Реализован механизм ограничения максимального давления в коллекторе по внешним условиям, обеспечивающим пропорциональное изменение задания производительности входных ниток при наличии признака внешнего ограничения на величину, определяемый по ПИД-закону текущим значением дельты. Базовым трендом при таком управлении служит повторяющийся коррекционный цикл «цифра – модель – оперативность – экономика». Технологический цикл выражен повторяющейся схемой «измерение – коррекция – контроль – прогноз – воздействие». Непрерывный процесс обеспечивает эффективность эксплуатации и безопас-



Рис. 6. Установка низкотемпературной сепарации

ность работы промысла и месторождения.

Управляемость ДКС-2 реализуется с помощью системы автоматического регулирования (САР) ГПА [4], обеспечивающей поддержание основной переменной – давления газа в выходном коллекторе ДКС с ограничениями по его значениям во входном и выходном коллекторах и помпажному запасу компрессорного цеха. Таким образом поддерживается установленный параметр переменной регулирования без отклонения от допустимых граничных условий ДКС, обеспечивая устойчивость и определенные проектом ограничения по режимам работы оборудования.

Результатом развития автоматизированных систем управления технологическим процессом стали разработка и реализация комплексных алгоритмов управления – ключевых элементов при создании автоматизированных комплексов с элементами принципов малочеловеческих технологий. Комплексная автоматизация промысла предусматривает наличие единого центра, управление и мониторинг по всей технологической цепочке «пласт – скважина – КГС – ДКС – УКПГ – ДКС» при последовательной работе очередей. Алгоритмы, управляющие технологическими процессами добычи

(изменением режимов, остановов, регулированием и управлением технологическим оборудованием) в автоматическом режиме без постоянного присутствия персонала, обеспечивают адаптивное регулирование и недопущение развития аварийных ситуаций по всей технологической цепочке месторождения (от скважин до выдачи товарной продукции) с минимизацией человеческого фактора. Функциональное соответствие, надежность и масштабируемость процесса при наличии единой платформы программно-технических средств позволяют в сжатые сроки производить отечественное оборудование и организовывать единое информационное пространство для основных технологических параметров месторождения. Комплексное применение цифровых технологий на уровне программно-аппаратных средств и алгоритмов эффективного управления для территориально распределенных сложных технических объектов, таких как Бованенковское НГКМ, при организации централизованного управления создает предпосылки к удаленному режимному управлению объектами добычи, а также условия для оптимизации эксплуатационных затрат и продления сроков рентабельной эксплуатации месторождений



Рис. 7. Алгоритм реализации интеллектуального месторождения

на всех стадиях жизненного цикла оборудования. Предложенная специалистами ООО «Газпром добыча Надым» структура реализации алгоритма управления интеллектуальным месторождением на примере Бованенковского НГКМ с учетом формирования в процессе эксплуатации единой базы данных, используемой в проектных решениях для автоматизированной системы управления разработкой месторождения, представлена на рис. 7 [4].

Для управляемости установок НТС в процессе разработки комплексных алгоритмов стабилизации режимов с учетом имеющихся компетенций выполнены работы по обеспечению:

- автоматизированных и автоматических режимов пуска/останова ниток НТС с ТДА с разработкой соответствующих алгоритмов;
- автоматического режима поддержания работы нитки НТС с ТДА по внешней установке расхода газа с ограничениями по характеристикам газа, установленным проектом, по параметрам работы ТДА и другого оборудования с разработкой соответствующих алгоритмов;
- механизма распределения общей уставки задания по расходу газа между технологиче-

скими нитками НТС с ТДА с равными ограничениями для каждой нитки (определяются граничными параметрами работы ТДА и оборудования нитки НТС) для суммарного задания расхода газа с разработкой алгоритмов;

- механизма ограничения производительности ниток НТС с ТДА по условиям, обеспечивающим пропорциональное изменение задания на производительность при наличии признаков ограничения режимов работы, определяемых по ПИД-закону на основе текущего значения.

Разработаны и реализованы элементы управления с ограничениями по давлению и стабилизации параметров газа во входном и выходном коллекторах ГПА и ДКС, помпажному запасу компрессорного цеха, что обеспечивает в автоматическом режиме процесс регулирования с ограничениями режимов ДКС-1 [5].

Организация единого пульта оператора промысла представлена на рис. 8.

Построение взаимосвязей управления высокоавтоматизированным комплексом при изменении параметра (уставки) давления было реализовано в следующем объеме функциональных задач:

- формирование уставки в газосборном коллекторе шлейфов,

определяющее давление во входном коллекторе ДКС-2 (в последующем и ДКС-3), осуществляется в зависимости от работы ДКС-2: при возникновении режимов «разгрузка / частичная», «разгрузка / загрузка ДКС» величина уставки автоматически присваивается значение, которое обеспечит устойчивую работу ДКС;

- при переходе ДКС-2 в режим разгрузки / частичной разгрузки включение в работу ограничивающих контуров ДКС, связанных с частичным / полным открытием цехового клапана холодной рециркуляции (КХР), на некоторых режимах возникает рост давления во входном коллекторе ДКС (коллекторе входных ниток). Компенсация изменений осуществляется включением в работу контура ограничения давления в коллекторе входных ниток, что обеспечивает сохранение параметров газа на входе ДКС (вторая очередь) в необходимых пределах;

- при работе ДКС-2 в режиме загрузки возникает повышенный отбор газа из газосборного коллектора, что сопровождается увеличением расхода по входным ниткам и снижением давления в их коллекторе. В целях недопущения возникновения депрессий на пласт осуществляется ограничение минимального давления на входе ДКС-2 средствами САР ГПА и максимального расхода газа по входным ниткам и скважинам;

- при смене режима работы НТС с ТДА возникает уменьшение отбора газа из выходного коллектора ДКС-2, что компенсируется поддержанием основной переменной регулирования ДКС или работой алгоритма ограничения максимального давления на выходе с включением в работу КХР;

- при смене параметров работы ДКС-2 может возникать недостаток мощности, приводящий к снижению давления в выходном коллекторе ДКС и самопроизвольному изменению загрузки коллекторов с помпажными явлениями компрессоров ТДА, что компенсиру-



Рис. 8. Единый пульт оператора газового промысла

ется включением ограничений по производительности с пропорциональным снижением задания на расход ниток, а при достижении минимально возможного режима нитки НТС и продолжающегося снижения давления – выполнением последовательного вынужденного останова ниток до стабилизации давления в коллекторе;

- при смене режима работы НТС изменяется объем подаваемого в коллектор на выходе НТС (на входе ДКС-1) газа, что компенсируется поддержанием основной переменной регулирования ДКС-1 или работой алгоритма ограничения минимального помпажного запаса или давления на входе ДКС-1 с включением в работу КХР;

- при изменении режима работы ДКС-1 возникает изменение отбора газа на выходе НТС, что компенсируется мощностями дожимного комплекса, а для недопущения помпажных явлений на компрессорах ТДА включаются в работу ограничения по производительности НТС с ТДА с пропорциональ-

ным снижением задания на расход ниток НТС. При достижении минимально возможного режима работы нитки НТС и продолжающегося роста давления в коллекторе обеспечивается выполнение последовательного вынужденного останова ниток НТС с ТДА до стабилизации давления в коллекторе;

- при необходимости изменения режима работы ГПА, связанного с ограничениями по применяемому двигателю ГТД ДУ-80Л1 в определенном диапазоне частот, оперативным персоналом выполняется изменение одной уставки регулирования основной переменной САР ДКС-1 – давления на входе ДКС; при возникшем переходном процессе вся технологическая цепочка обрабатывает заданные параметры процесса и сохраняет устойчивость;

- при необходимости изменения производительности ГП, если это не связано с пуском технологического оборудования, осуществляется изменение значения уставки расхода газа. Вся технологическая

цепочка согласно алгоритмам обрабатывает заданные параметры процесса и сохраняет устойчивость, что позволяет существенно сократить потери в суммарной производительности отдельных ДКС и промысла в целом, время выхода на режим и технологические потери объемов используемого газа.

Стабилизация параметров работы промысла обеспечивается с рабочего места оператора и осуществляется за счет совместной и сбалансированной работы систем управления и регулирования групп ГПА и агрегатных систем всего дожимного комплекса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эффективность разработанных и реализованных на промыслах автоматизированных алгоритмов заключается в обеспечении устойчивости технологического режима не только отдельного оборудования, но и сложных технологических комплексов. Применение современных инновационных способов решения задач управления позволяет значительно снизить влияние человеческого фактора, обеспечить элементы роботизированного управления месторождением. Реализация на Бованенковском НГКМ высокоавтоматизированной системы управления подтвердила возможность применения на сложных технологических и территориально разнесенных объектах единого центра управления с дальнейшим переходом на малолюдные технологии, а также необходимость применения интеллектуального управления в условиях технологических и экологических ограничений. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. СТО Газпром 2-2.1-1043-2016. Автоматизированный газовый промысел. Технические требования к технологическому оборудованию и объемам автоматизации при проектировании и обустройстве на принципах малолюдных технологий. М.: Газпром экспо, 2016.
2. Мельников И.В., Бобриков Н.М., Столяров В.Е. и др. Создание инновационных систем управления, направленных на повышение эффективности работы оборудования дожимных компрессорных станций // Газовая промышленность. 2019. № 3 (781). С. 18–22.
3. Еремин Н.А., Королев М.А., Степанян А.А. Особенности цифровой трансформации активов при реализации инвестиционных нефтегазовых проектов // Газовая промышленность. 2019. № 4 (783). С. 108–119.
4. Меньшиков С.Н., Стратов Д.В., Моисеев В.В. и др. Опыт применения оборудования и технологий при освоении месторождений п-ва Ямал // Газовая промышленность. 2014. № 9 (711). С. 86–88.
5. Еремин Н.А., Мельников И.В., Бобриков Н.М. и др. Применение комплексных алгоритмов управления как элемента для создания цифрового двойника технологического комплекса Бованенковского НГКМ // Газовая промышленность. 2019. №6 (785). С. 42–49.