

ДОРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ КУСТА СКВАЖИН ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ДОБЫЧЕЙ ГАЗА

Романов И.В.¹, Зибзеев А.Г.²

¹Томский политехнический университет, Инженерная школа информационных технологий и робототехники 8Т11, e-mail: ivr19@tpu.ru

²Томский политехнический университет, ИШИТР, доцент ОАР, e-mail: zebzeevAG@tomsknpi.ru

АО «ТомскНИПИнефть», Экспертная группа, Главный эксперт по цифровизации

Аннотация

Основная цель исследования заключается в разработке программного обеспечения и интеграции цифрового двойника в систему автоматизации куста скважин для интеллектуального управления добычей газа. Цифровой двойник взаимодействует с программируемым логическим контроллером (ПЛК) для повышения точности и адаптивности управления. В статье подробно рассмотрен ход интеграции цифрового двойника.

Ключевые слова: цифровой двойник, автоматизация, интеллектуальное управление, добыча газа, схемы автоматизации, ПЛК.

Введение

Современная газовая промышленность сталкивается с необходимостью перехода к новым технологическим укладам, где ключевыми факторами устойчивого развития становятся цифровизация и интеллектуализация производственных процессов [4]. Одним из направлений этой трансформации является интеллектуальное управление добычей газа, основанное на комплексной автоматизации и глубокой аналитике технологических данных. Особенно актуально это для объектов типа кустов скважин, где эффективность управления напрямую влияет на устойчивость работы всей промысловой системы [3].

Как отмечено в исследовании, выполненном в рамках программы цифровой трансформации газовой компании, особое внимание уделяется внедрению интеллектуальных компонентов в существующие SCADA-системы, использованию платформ дистанционного анализа, а также созданию цифровых двойников промыслов [1]. Однако несмотря на значительный прогресс в автоматизации, остаётся потребность в доработке низового уровня управления – прежде всего, программируемых логических контроллеров (ПЛК), которые обеспечивают непосредственное взаимодействие с технологическим оборудованием.

Целью настоящей работы является доработка системы автоматизации куста скважин путём внедрения алгоритмов интеллектуального управления, реализуемых на уровне ПЛК, разработки схем автоматизации, а также проработку архитектуры системы.

Научная новизна заключается в разработке и внедрении функциональных схем и программного обеспечения для ПЛК, которое реализует интеллектуальные алгоритмы анализа и управления.

Архитектура системы

В рамках интеллектуализации газовых и газоконденсатных промыслов была разработана распределённая система управления, обеспечивающая адаптивное и оптимальное регулирование технологических процессов. Основной целью проектирования архитектуры такой системы стало снижение вычислительной нагрузки, обеспечение масштабируемости и интеграции с существующей инфраструктурой автоматизации. Распределённая архитектура включает в себя несколько ключевых компонентов.

Первым компонентом являются существующие автоматизированные системы управления технологическим процессом (АСУ ТП), которые применяются для

дистанционного мониторинга и управления оборудованием в режиме реального времени. Эти системы выполняют функцию оперативного контроля и являются связующим звеном между физическим уровнем объектов добычи и цифровыми сервисами интеллектуального управления.

Вторым компонентом является система автоматического управления промыслом (САУП), представляющая собой интеллектуальное ядро распределённой системы. В состав САУП входит цифровой двойник промысла (ЦДП), представляющий собой физико-математическую модель, отражающую текущее состояние и рабочие характеристики объекта моделирования, включая пласт, скважины, газосборную сеть, дожимные компрессорные станции и установки подготовки газа и конденсата. ЦДП функционирует на основе данных, получаемых с телеметрических систем, которые предварительно проходят процедуры фильтрации, осреднения и валидации для устранения некачественных или ошибочных значений [2]. Также модель регулярно актуализируется с использованием информации, полученной в ходе исследований скважин, технического обслуживания и ремонтов оборудования. Помимо этого, в базу данных САУП вносятся сведения о планируемых геолого-технических мероприятиях, остановках и запусках скважин, а также о других событиях, влияющих на функционирование промысла. В состав САУП также входит оптимизатор, отвечающий за проведение многовариантных расчётов с целью выбора наиболее эффективного сценария управления добычей. Работу всех модулей САУП поддерживают специализированные сервисные компоненты.

Третьим компонентом распределённой архитектуры выступает система автоматического регулирования скважин (САРС), размещённая в блоках автоматики кустовых площадок. Данный компонент обеспечивает реализацию функций по поддержанию режимов работы скважин, заданных САУП, управлению выходом скважин на рабочие режимы при изменении отбора газа, оптимизации подачи метанола, организации периодического режима эксплуатации, максимизации добычи конденсата, а также диагностике технического состояния скважин. В частности, САРС выполняет определение пластового давления, расчёт коэффициентов фильтрационного сопротивления, диагностику характеристик регулирующих клапанов, оценку времени стабилизации скважин после вмешательств, а также обеспечивает безопасную эксплуатацию объектов в том числе в автономном режиме при отсутствии связи с САУП.

Разработанная архитектура приведена на рисунке 1.

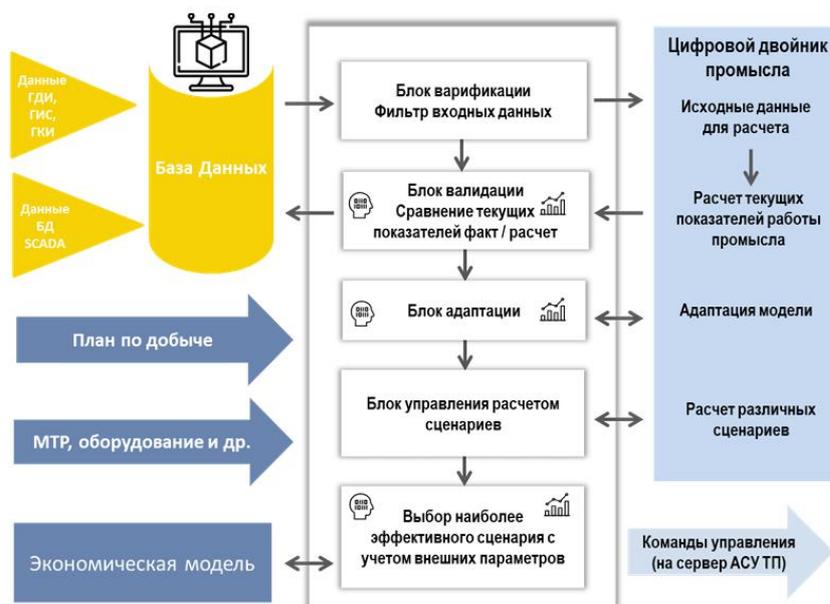


Рис. 1. Распределенная система управления

Функционально распределённая система управления реализует общий оптимизационный расчёт в рамках единой интегрированной модели, включающей все элементы производственной цепочки: пласт, скважины, газосборную сеть, дожимные компрессорные станции и установки комплексной подготовки газа. Полученные в результате расчётов целевые параметры передаются по каналам связи от САУП к АСУ ТП, а далее – на кустовые газосборные станции, где поддерживаются посредством САРС. Аппаратно-программный комплекс САУП размещён в операторной установке комплексной подготовки газа и интегрирован с существующими средствами автоматизации [4]. В свою очередь, САРС функционирует на уровне кустовых площадок, обеспечивая устойчивую и безопасную работу скважин с учётом оперативных задач и долгосрочных прогнозов. Такое архитектурное решение позволяет обеспечить высокий уровень управляемости, устойчивости и адаптивности добычи углеводородов в условиях постоянно изменяющейся производственной среды.

Алгоритм интеллектуального управления

Для разработки алгоритмов работы системы интеллектуального управления кустом скважин в качестве языка программирования был выбран язык структурированного текста (ST) в соответствии со стандартом IEC 61131-3.

В разработанной системе реализован полный комплекс алгоритмов, необходимых для эффективного управления скважиной, включая: алгоритм ПИД-регулирования и алгоритм автоматического переключения направления потока между магистральями.

Работа алгоритма ПИД-регулирования заключается в следующем: управление исполнительным механизмом осуществляется через ПИД-регулятор, который работает в автоматическом или ручном режиме в зависимости от состояния сигналов местного и дистанционного управления. При включении местного режима регулятор переводится в ручное управление. В случае наличия ошибки или неисправности аналогового сигнала, регулятор блокирует выходное воздействие.

Аналоговые сигналы, отражающие положение механизма и регулируемый параметр, передаются в регулятор. В случае выбора местного или нейтрального режима уставка автоматически приравнивается к текущему положению. При активном дистанционном режиме и наличии команды от панели, уставка обновляется, и команда сбрасывается.

Результат расчета передается на аналоговый выход. Для отображения информации на операторской панели публикуются данные о положении, состоянии, аварии и текущем режиме работы (ручной, автоматический или неактивный). Блок схема алгоритма представлена на рисунке 2.

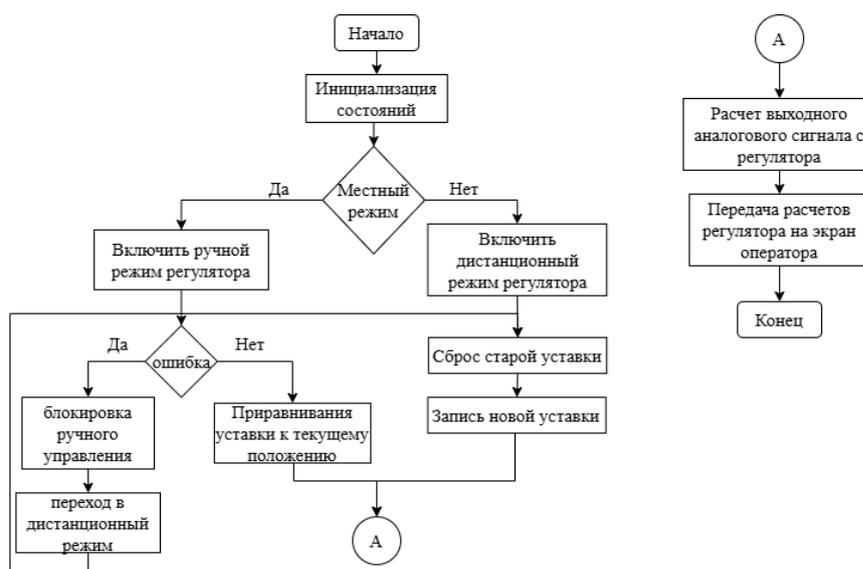


Рис. 2. Алгоритм ПИД-регулятора

Работа алгоритма переключения заключается в следующем: при получении команды на переключение и активном режиме одного из направлений система выполняет открытие исполнительного механизма в зависимости от режима управления (локальный, дистанционный или автоматический). Затем производится проверка давления между участками. Если давления равны, открывается следующий исполнительный механизм. При совпадении с контрольным давлением открывается третий механизм, а резервный – закрывается.

Аналогичные действия выполняются при переключении во втором направлении, с соответствующим открытием и закрытием исполнительных механизмов. По завершении переключения флаг переключения сбрасывается. Это позволяет повторно инициировать процесс переключения в случае поступления новой команды или изменения состояния системы.

Кроме того, все этапы алгоритма контролируются с помощью датчиков давления, что обеспечивает точность выполнения команд и предотвращает возможные ошибки, связанные с несоответствием давления между участками. Разработанный алгоритм представлен на рисунке 3.

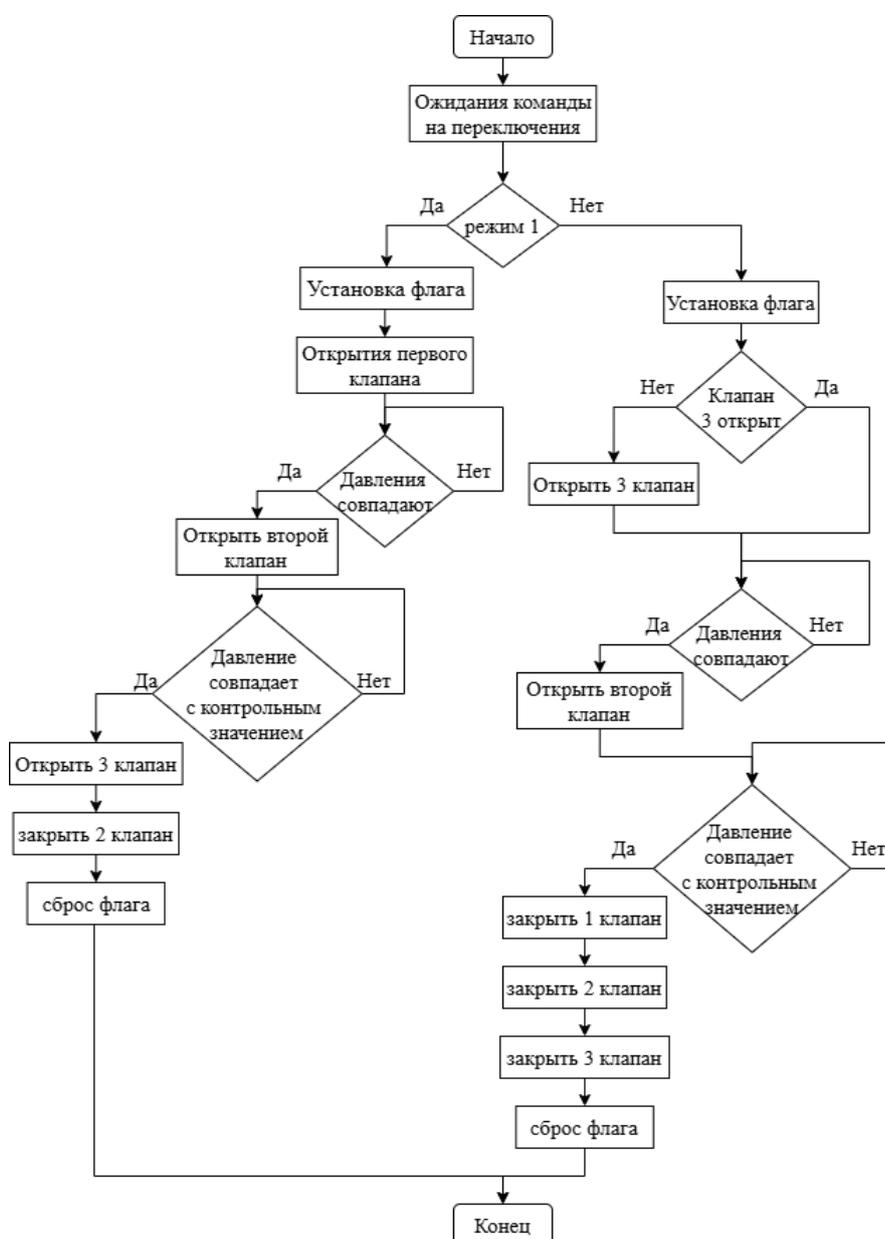


Рис. 3. Алгоритм переключения скважины

Тестирование реализованного алгоритма

Программа разрабатывалась и тестировалась на специализированном стенде, предназначенном для симуляции технологических процессов на кусте газовых скважин. В основе стенда лежит инструментальный программно-аппаратный комплекс, обеспечивающий имитацию работы скважин с реалистичной телеметрией и замкнутым контуром управления. Его ключевая особенность – возможность двустороннего обмена данными с ПЛК через протокол OPC DA, что позволяет реализовать полную отработку логики на уровне управляющего контроллера. В симуляторе используется нестационарная модель трёхфазного течения, позволяющая рассчитывать значения давления, температуры и расхода в различных точках технологической схемы. За счёт этого формируется достоверная картина технологического состояния объекта, включая нормальные, переходные и аварийные режимы [5]. Структура стенда представлена на рисунке 4.

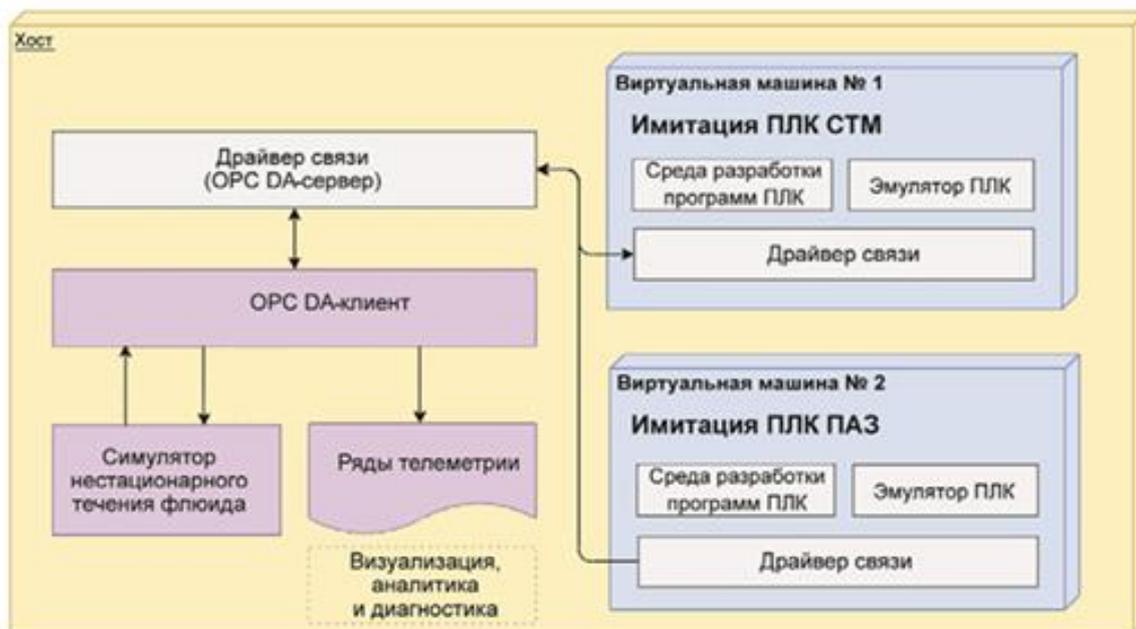


Рис. 4. Структурная схема взаимодействия программного стенда генерации телеметрии

Тестирование проводилось с моделированием различных эксплуатационных ситуаций, включая пусковые операции, переключения потоков, сбой сигналов и отказы оборудования. Благодаря возможности точной настройки параметров среды, была обеспечена проверка устойчивости, точности и корректности реакции реализованных алгоритмов в условиях, максимально приближенных к реальной эксплуатации. Это позволило выявить и устранить потенциальные логические ошибки до ввода в промышленную эксплуатацию. Результаты тестирования подтвердили соответствие реализованных алгоритмических решений требованиям надёжности, логической целостности и соответствия предполагаемым режимам работы.

Доработка функциональной схемы

Внедрение цифрового двойника в систему управления промыслом потребовало пересмотра и доработки существующей функциональной схемы объекта. Основной причиной доработки стало повышение требований к достоверности и полноте входных данных, необходимых для корректного функционирования цифрового двойника.

Цифровой двойник, как детерминированная физико-математическая модель, требует непрерывного поступления актуальной и качественной информации о технологическом состоянии оборудования, параметрах работы скважин, пластовых характеристиках и составе

продукции. Для обеспечения соответствующего уровня детализации и точности моделирования возникла необходимость расширения телеметрической сети на объекте.

В процессе доработки схемы были определены ключевые точки технологической цепочки, в которых требовалась установка дополнительных датчиков и сенсоров. В частности, акцент был сделан на улучшение измерений следующих параметров: давления, температуры, расхода продукции, динамики изменений давления в газосборной сети, характеристик работы скважинных клапанов и расхода химических реагентов. Расширение набора контролируемых параметров позволило обеспечить более точную настройку цифрового двойника и реализацию функций прогнозирования и оптимизации в режиме, приближенном к реальному времени.

Заключение

В ходе работы была разработана архитектура распределённой системы управления кустом газовых скважин, включающая три ключевых уровня: автоматизированные системы управления технологическим процессом (АСУ ТП), систему автоматического управления промыслом (САУП) с цифровым двойником, и систему автоматического регулирования скважин (САРС). Такая многоуровневая структура обеспечила эффективное взаимодействие между централизованным управлением и локальными исполнительными устройствами.

Для реализации алгоритмов управления был разработан программный код на языке структурированного текста (ST), соответствующий стандарту IEC 61131-3. В разработанном программном коде реализован полный комплекс алгоритмов, необходимых для эффективного управления скважиной. В статье рассмотрены два основных алгоритма: ПИД-регулирование параметров добычи и автоматическое переключение потоков между магистралями.

Проведены комплексные тестирования разработанных решений на специализированном стенде, который моделирует реальные технологические процессы. Тестирование включало проверку работы в штатных режимах эксплуатации, анализ поведения системы при аварийных ситуациях, оценку устойчивости к отказам датчиков и оборудования, проверку корректности обработки граничных значений параметров.

В рамках доработки функциональной схемы системы было выполнено расширение сети телеметрии за счёт установки дополнительных датчиков давления, температуры и расхода, оптимизация точек контроля ключевых технологических параметров, интеграция новых измерительных устройств с цифровым двойником промысла.

Список используемых источников

1. Цифровизация промышленности: задачи, преимущества внедрения // Adeptik: сайт – 2023. [Электронный ресурс]. – URL: adeptik.com/blog/cifrovizaciya-promyshlennosti/ (дата обращения: 12.04.2025)
2. Поспелова Т.А. Развитие методов регулирования работы скважин на основе цифровых технологий : автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 2.8.4 - Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений / Т.А. Поспелова ; науч. конс. К.М. Федоров. – Тюмень : ООО "Тюменский нефтяной научный центр", 2022. - 48 с.
3. Абрамов В.И., Гордеев В.В., Столяров А.Д. Цифровые двойники: характеристики, типология, практики развития // Вопросы инновационной экономики. – 2024. – Т. 14, № 3. – 26 с.
4. Трушников Д.Н., Зибзеев А.Г. Интеллектуализация газовых и газоконденсатных промыслов компании // Технологии обустройства нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений: сб. тез. VI науч.-техн. конф. – Томск, 2023. – С. 204–209.
5. Лопатин Р.Р., Стрекалов А.В. Инструментарий симуляции телеметрии технических гидросистем на примере куста газовых скважин // Автоматизация и информатизация ТЭК. – 2024. – № 9(614). – С. 59-63.