

На правах рукописи

МИРСКИЙ Владислав Игоревич

**СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА И
КАЧЕСТВА НЕФТИ С УЛУЧШЕННЫМИ
ПОКАЗАТЕЛЯМИ
ТОЧНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ**

**Специальность 05.11.16 - Информационно-измерительные
и управляющие системы**

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Уфа 2006

Работа выполнена в Уфимском государственном авиационном техническом университете на кафедре информационно-измерительной техники

Научный руководитель:	доктор технических наук, профессор Ясовеев Васих Хаматович
Официальные оппоненты: профессор	доктор технических наук, Миловзоров Георгий Владимирович кандидат технических наук, доцент Ишинбаев Николай Александрович
Ведущее предприятие:	ОАО НПФ «Геофизика» г. Уфа

Защита состоится 29 декабря 2006 г. в 12⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.288.02 при Уфимском государственном авиационном техническом университете по адресу: 450000, г. Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12, в актовом зале 1 корпуса УГАТУ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уфимского государственного авиационного технического университета.

Автореферат разослан «28» ноября 2006 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д-р техн. наук, проф.

Г.Н. Утляков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы работы. Эффективность системы учета нефти играет немаловажную роль в процессе ее пути от скважины к потребителю. В настоящее время допустимая ГОСТом погрешность измерений массы нетто нефти и нефтепродуктов составляет 0,1-0,4%. Однако при многократном учете одних и тех же партий нефти в системе трубопроводов от промысла до реализации суммарная погрешность может достигать 2-3%. По некоторым оценкам, ежегодные потери в стране только из-за погрешностей измерений составляют в денежном выражении до 1,5 миллиардов долларов, а потери бюджета от таких погрешностей сопоставимы с крупными доходными статьями. Решением этой проблемы может стать внедрение и модернизация на узлах учета автоматизированной системы измерения количества и качества нефти.

Контроллеры расхода (КР) выступают в роли основной части вторичного оборудования узла учета нефти (УУН). Они должны принимать сигналы от различных датчиков физических величин (температуры, давления, плотности, расхода нефти) и вычислять массу и объем откаченной нефти за определенный период времени.

Вторичное оборудования УУН должно характеризоваться высокой надежностью, отказоустойчивостью и точностью, поэтому при разработке новых и реконструкции действующих УУН необходимо оснащать их современными КР с улучшенными показателями надежности и точности. С научной и практической точек зрения представляется целесообразным классифицировать существующие разработки, выделить наиболее перспективные решения и на основе этого попытаться создать новый КР УУН с улучшенными надежностными и метрологическими показателями.

Основными недостатками существующих разработок являются: использование значений введенных по умолчанию в случае выхода из строя датчиков температуры или давления; отсутствие возможности определения

метрологического отказа датчика; отсутствие коррекции по вязкости; избыточные элементы. Автором предложены оригинальные программные и схемотехнические решения построения КР, позволяющие устранить данные недостатки и повысить надежность всего вторичного оборудования УУН в целом. КР рассматривается с применением системного подхода: с одной стороны как составная часть вторичного оборудования УУН со всеми внешними связями, а с другой стороны как промышленный контроллер, содержащий набор микросхем и микромодулей, связанных друг с другом внутренними интерфейсами. Также проведены эксперименты по исследованию влияния вязкости на коэффициент преобразования (К-фактор) турбинного преобразователя расхода (ТПР). По результатам исследований предложен метод повышения точности КР с помощью коррекции К-фактора по вязкости.

Целью диссертационной работы является разработка и исследование контроллера расхода с повышенными показателями надежности и точности на основе предложенных автором принципов организации внутренней структуры контроллера расхода и новой схемы взаимодействия вторичного оборудования узла учета нефти.

Для достижения поставленной цели в работе решены следующие **задачи**:

1. Проведен сравнительный анализ существующих КР УУН и сформулированы современные требования к ним.
2. Исследованы существующие структурные схемы КР с точки зрения надежности, и выявлены их основные недостатки. Предложены разработанные структурные схемы позволяющие повысить надежность КР УУН.
3. Разработан новый подход к построению схем взаимодействия вторичного оборудования УУН.
4. Создан последовательный протокол передачи данных для реализации связи друг с другом КР УУН.

5. Проведены эксперименты по исследованию влияния вязкости на коэффициент преобразования ТПР. Предложен метод повышения точности КР с помощью коррекции К-фактора по вязкости.

Методы исследований. Для решения поставленных задач и достижения намеченной цели были использованы методы системного подхода, элементы теории вероятности и оценки надежности, а также методы и средства современной вычислительной техники.

Научная новизна. Научная новизна результатов заключена в следующем:

1. Систематизирована информация по существующим КР, дана их оригинальная классификация, и показано, что ни один из них не отвечает современным требованиям в полной мере.

2. Разработаны структурные схемы КР на основе замещения нескольких микропроцессорных систем (МС), связывающихся друг с другом по параллельной шине, набором однокристальных микроЭВМ (ОМЭВМ), связывающихся друг с другом по последовательному интерфейсу.

3. Разработан подход к построению схем взаимодействия вторичного оборудования УУН, основанный на введении дополнительной связи между всеми КР. Данная связь позволила не только повысить надежность всего оборудования УУН, но и сделала возможным обнаружение метрологического отказа датчика или измерительного канала.

4. Предложен метод повышения точности определения объема откаченной нефти на 0,01-0,05% с помощью введения в КР УУН дополнительного коэффициента коррекции К-фактора по вязкости. Выявлено, что данный коэффициент зависит не только от вязкости нефти, но и от текущего расхода через ТПР.

Практическая ценность и реализация результатов.

1. Создан последовательный протокол передачи данных для реализации связи друг с другом КР УУН и разработано его программное обеспечение для ОМЭВМ.

2. Разработан алгоритм выявления метрологического отказа датчика давления или температуры нефти.

3. Разработан алгоритм расчета поправочного коэффициента по вязкости для текущих значений вязкости нефти и расхода через ТПР.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Обобщенная схема КР. Классификация существующих КР согласно различным признакам. Современные требования, предъявляемые к КР, и результаты сравнительного анализа существующих разработок на соответствие этим требованиям.

2. Результаты исследования надежности КР с классической структурой внутренней организации.

3. Структурные схемы КР, основанные на замещении нескольких МС, связывающихся друг с другом по параллельной шине, набором ОМЭВМ, связывающихся друг с другом по последовательному интерфейсу. Результаты исследования надежности КР с новой структурной организацией.

4. Новый подход к построению схем взаимодействия вторичного оборудования УУН, основанный на введении дополнительной связи между всеми КР.

5. Результаты исследования влияния вязкости на коэффициент преобразования ТПР. Метод повышения точности КР с помощью коррекции К-фактора по вязкости.

Апробация полученных результатов. Результаты работы обсуждались на НТК "Датчики и преобразователи систем измерения, контроля и управления" Судак, 2004г. и на первом международном форуме, Самара, 2005г.

Публикации. По результатам научных исследований опубликовано 8 печатных работ, в том числе 4 статьи, 1 свидетельство об официальной регистрации программы, 1 патент на полезную модель.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из перечня сокращений, введения, четырех глав, заключения, списка

литературы и приложения. Общий объем работы составляет 175 страниц, в том числе 23 таблицы, 52 рисунка.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и основные задачи, приведены результаты, выносимые на защиту, указана их научная новизна и практическая ценность.

В первой главе представлена классификация КР УУН согласно следующим четырем признакам: тип подключаемого преобразователя расхода, возможность управления запорной арматурой, тип устройства хранения информации, организация структуры КР УУН. Приведена сравнительная оценка характеристик следующих КР УУН: ИБК «Октопус» фирмы «ИМС» Россия; “Geoflo2” и “SyberTrol” фирмы “Smith” США; “ROC407” фирмы “Fisher” США; “OMNI 6000” фирмы “OMNI” США; “Solartron 7951” фирмы “Solartron” Великобритания. Приводится обобщенная схема и анализ структурной организации КР УУН. На основе проведенных исследований были сделаны выводы относительно дальнейших путей развития КР УУН, определены основные требования и сформулированы задачи исследования.

Во второй главе приведено обоснование математического аппарата исследования. Для расчетов параметров надежности удобно использовать структурно-логические схемы надежности, которые графически отображают взаимосвязь элементов и их влияние на работоспособность системы в целом. Структурно - логическая схема представляет собой совокупность ранее выделенных элементов, соединенных друг с другом последовательно или параллельно. Критерием для определения вида соединения элементов (последовательного или параллельного) при построении схемы является влияние их отказа на работоспособность системы в целом.

КР рассматривается как промышленный контроллер, содержащий набор микросхем и микромодулей, связанных друг с другом внутренними

интерфейсами. Безотказной работой КР считается осуществление учета откаченной нефти с погрешностью, не превышающей максимальное допустимое значение. В структурных схемах КР УУН содержатся практически одни и те же элементы, таким образом, надежность КР в значительной степени зависит от организации внутренней структуры.

Рассматривается 3 вида организации внутренней структуры КР: КР с цельной структурой; КР с отдельной платой ввода/вывода; КР с отдельной платой ввода/вывода, содержащей блок обработки данных. В настоящее время цифровая часть КР УУН в основном строится на основе нескольких мощных МС. Такая внутренняя структура обеспечивает высокое быстродействие и относительно небольшие затраты на программирование.

На рисунке 1 представлена характерная функциональная схема внутренней структуры КР УУН с цельной внутренней структурой, основанной на МС. Основными элементами данной схемы являются 3 микропроцессорные системы: МС ввода/вывода, МС обработки данных (супервизор), МС внешних интерфейсов. МС ввода/вывода осуществляет связь между периферийными микросхемами ввода/вывода и МС обработки данных. МС обработки данных является главным элементом данной структуры. Основными задачами, которые решает супервизор являются: математическая обработка полученных данных; вывод требуемых параметров в МС внешних интерфейсов; обмен данными с ППЗУ.

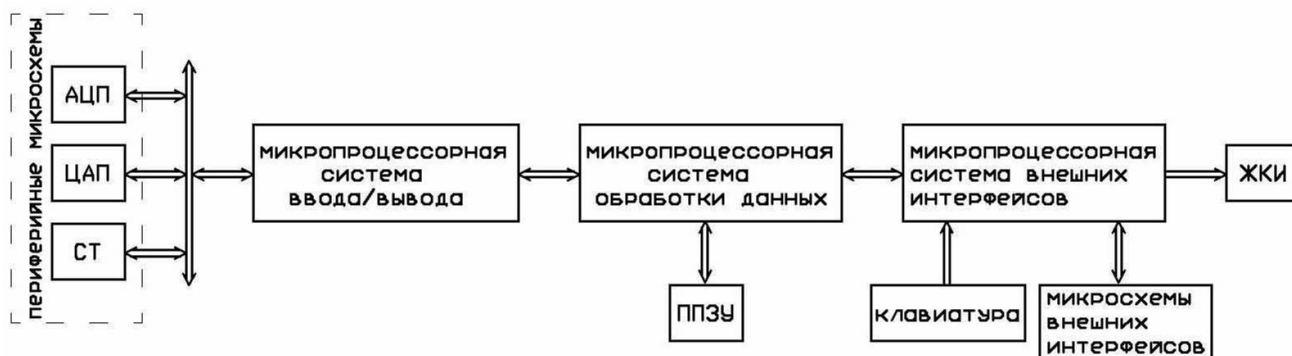


Рисунок 1 - КР с цельной внутренней структурой, основанной на МС

С точки зрения надежности эта структура не является оптимальной. В случае выхода из строя любой МС происходит отказ всего КР УУН. Кроме того, обмен данными между большинством микросхемами осуществляется по параллельной шине, что исключает возможность ее резервирования.

Вероятность безотказной работы всего КР за время t будет определяться следующей формулой:

$$P(t)_{K.P.} = P(t)_{M.C.}^3 \cdot P(t)_{ППЗУ} \cdot \left(1 - (1 - P(t)_M) \cdot (1 - P(t)_K \cdot P(t)_{ЖКИ}) \right) \quad (1)$$

где: $P(t)_M$ – вероятность безотказной работы микросхем внешних интерфейсов; $P(t)_K$ – вероятность безотказной работы клавиатуры.

На рисунке 2 представлена разработанная структурная схема КР УУН с цельной внутренней структурой, основанной на однокристальных микро-ЭВМ (ОМЭВМ).

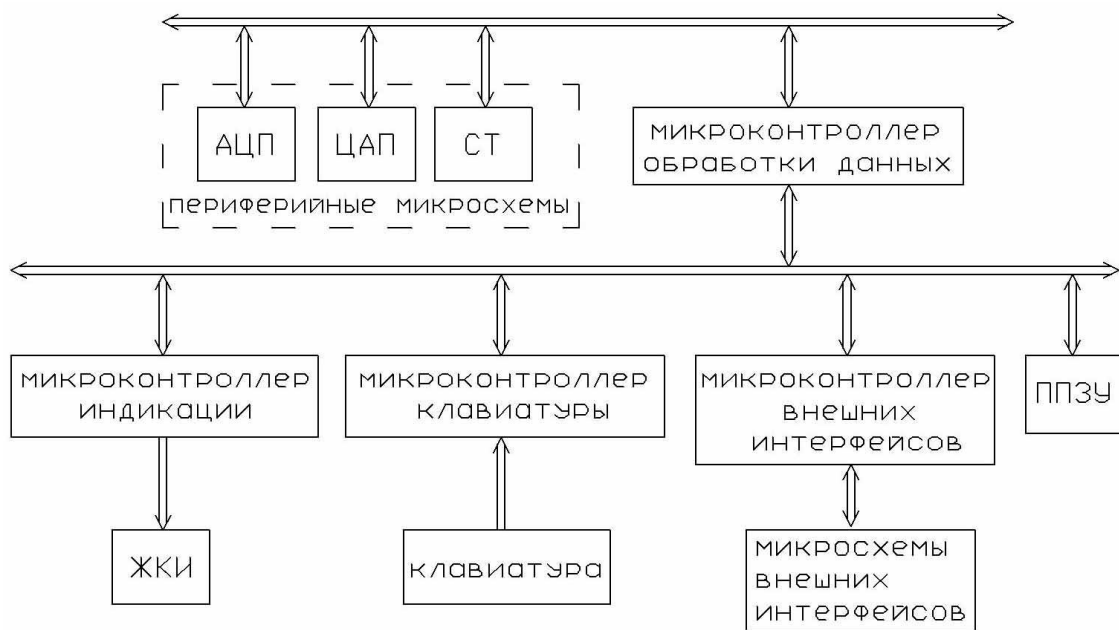


Рисунок 2 - КР с цельной внутренней структурой, основанной на ОМЭВМ

У данной структуры нет основного звена, каждый элемент выполняет свою особую функцию. Вместо мощных МС используются ОМЭВМ

(микроконтроллеры), что и позволило разбить задачу управления и обработки данных на ряд более простых задач.

В данном случае используется последовательная шина данных, что позволяет реализовать ее резервирование. Кроме того, в архитектуре современных микроконтроллеров присутствует модуль последовательного приемопередатчика, на основе которого достаточно легко реализовать последовательный интерфейс. Периферийные микросхемы и микроконтроллер обработки данных подключены к общей шине, что позволяет микроконтроллеру обработки данных получать информацию непосредственно с периферийных микросхем без какого-либо промежуточного звена. Все микроконтроллеры и ППЗУ объединены в общую сеть, что делает возможным реализовать обмен данными каждого устройства с каждым.

Отказ микроконтроллера обработки данных или ППЗУ приведет к отказу всего КР УУН. В случае выхода из строя ЖКИ или клавиатуры, показания о количестве откаченной нефти через внешний интерфейс будут поступать в компьютер верхнего уровня, а в случае отказа микросхем внешних интерфейсов, с помощью ЖКИ и клавиатуры информацию о количестве откаченной нефти можно посмотреть на дисплее.

Вероятность безотказной работы всего КР за время t будет определяться следующей формулой:

$$P(t)_{К.Р.} = P(t)_{МК} \cdot P(t)_{ППЗУ} \cdot \left(- (1 - P(t)_{МК} \cdot P(t)_M) \cdot (1 - P(t)_{МК}^2 \cdot P(t)_{ЖКИ} \cdot P(t)_K) \right) \quad (2)$$

На рисунке 3 представлен график зависимости вероятностей безотказной работы КР с цельной внутренней структурой, основанной на ОМЭВМ, согласно выражению (2) и на МС, согласно (1). Из данного графика видно, что структура, основанная на ОМЭВМ, имеет более высокую вероятность безотказной работы КР.

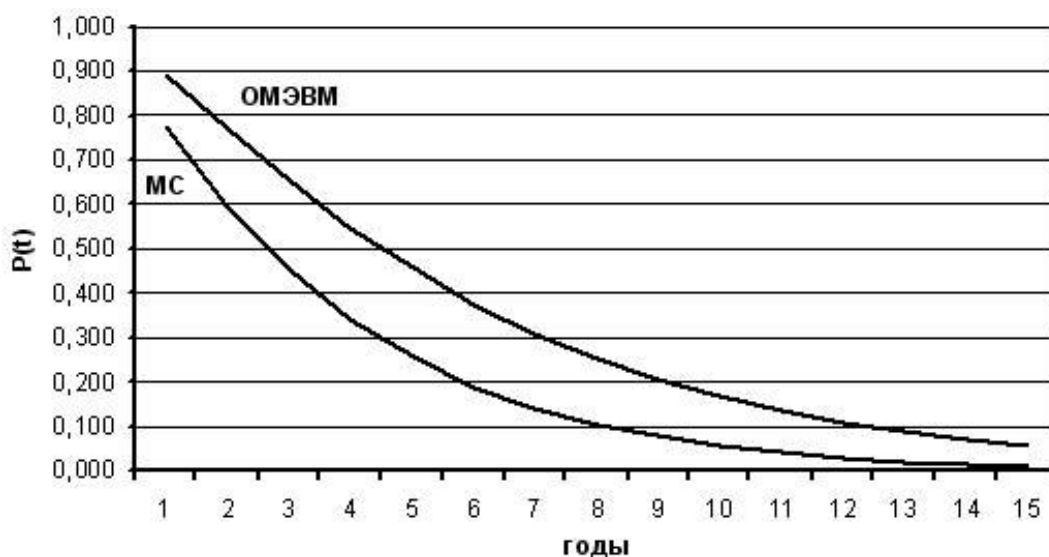


Рисунок 3 - График зависимости вероятностей безотказной работы КР

Аналогичным методом были проанализированы и другие организации внутренней структуры КР. В результате анализа было выявлено, что структуры, основанные на ОМЭВМ в любом случае имеют более высокую вероятность безотказной работы, по сравнению со структурами, основанными на МС. Среди внутренних структур КР, основанных на МС, наибольшая вероятность безотказной работы у структурной организации с отдельной платой ввода/вывода, содержащей МС обработки данных. Среди внутренних структур, основанных на ОМЭВМ, наибольшая вероятность безотказной работы у КР с цельной внутренней структурой.

В третьей главе КР рассматривается как составная часть вторичного оборудования УУН.

На рисунке 4 представлена функциональная схема взаимодействия КР с другим оборудованием УУН, которая наиболее часто используется при построении узлов учета нефти. Каждой измерительной линии соответствует отдельный КР. Данная структура обеспечивает независимость учета нефти по каждой измерительной линии, поэтому выход из строя какого-либо оборудования на любой из измерительных линий, повлечет за собой остановку только одной измерительной линии, а не всего УУН. Для организации связи между КР и устройством верхнего уровня (как правило, ПЭВМ) служит специализированный коммуникационный контроллер.

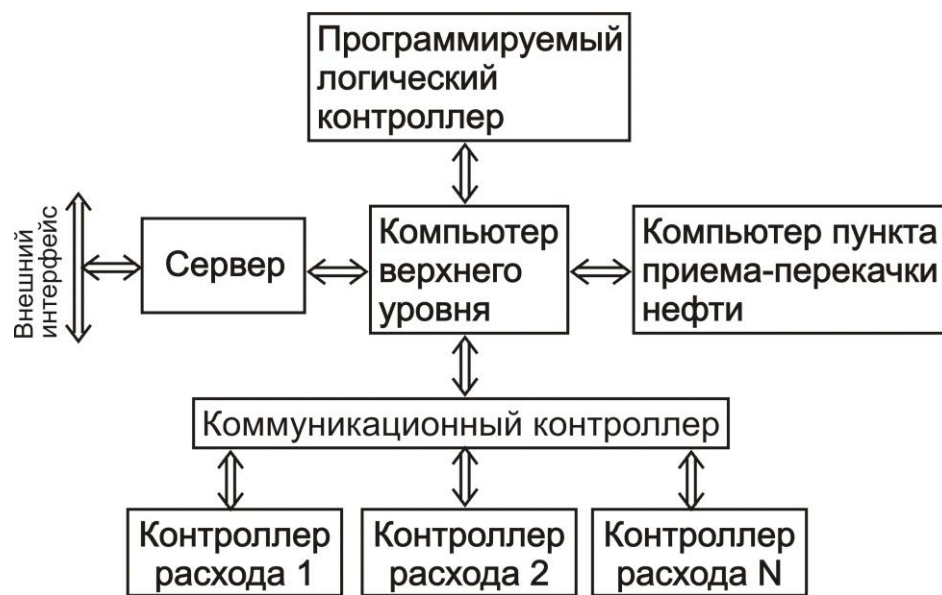


Рисунок 4 - Классическая функциональная схема взаимодействия КР

На рисунке 5 представлена предлагаемая функциональная схема взаимодействия КР с другим оборудованием УУН. Основное отличие от классической схемы построения вторичной аппаратуры УУН, заключается в том, что в данной схеме введена связь между всеми КР, которая позволяет реализовать обмен данными между ними. В случае отказа какого-либо датчика на измерительной линии или измерительного канала КР, эта связь позволяет использовать данные, введенные не «по умолчанию», а считывать их из КР ближайшей работающей линии. Одним из несомненных преимуществ введения двусторонней связи между КР является возможность обнаружения метрологического отказа датчика или измерительного канала, с помощью непрерывного сравнения значений измеряемых параметров на работающих измерительных линиях.

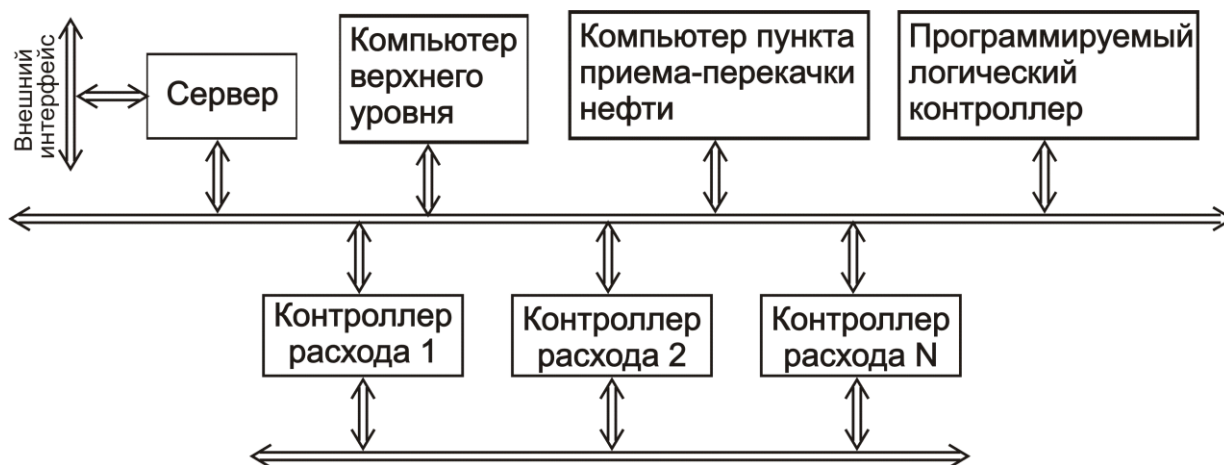


Рисунок 5 - Предлагаемая функциональная схема взаимодействия КР

В результате проведенного анализа было выявлено, что при использовании классической схемы взаимодействия, отказ любого датчика или измерительного канала приведет к полному отказу всего вторичного оборудования измерительной линии. При использовании разработанной автором схемы взаимодействия, полный отказ оборудования измерительной линии наступит только при отказе преобразователя расхода, его измерительного канала и нерезервированных датчиков в блоке контроля качества. Таким образом, предложенная схема взаимодействия вторичного оборудования УУН имеет более высокие показатели надежности по сравнению с классической.

Для реализации связи между КР УУН был разработан и зарегистрирован последовательный протокол передачи данных и написана программа на ассемблере для микроконтроллера PIC18F452.

В четвертой главе приводятся экспериментальные данные по влиянию вязкости нефти на коэффициент преобразования ТПР (К-фактор), и предлагается метод повышения точности КР с помощью введения поправочного коэффициента по вязкости.

В настоящее время на коммерческих узлах учета нефти коррекция К-фактора по вязкости не осуществляется, в связи с чем вносится дополнительная погрешность в измерения. Это обусловлено тем, что до

недавнего времени коммерческие узлы учета нефти не имели в своем составе вискозиметров, и в КР не была предусмотрена коррекция по вязкости.

Для каждого типа ТПР существует определенный коэффициент преобразования, который называется заводским (K_3). Для конкретного ТПР существует поправочный коэффициент (М-фактор), с помощью которого осуществляется коррекция К-фактора. При различных значениях расхода через ТПР М-фактор также будет разным. Таким образом, К-фактор ТПР при расходе Q равен:

$$K(Q) = \frac{K_3}{M\Phi(Q)} \quad (3)$$

Для корректировки К-фактора по вязкости предлагается ввести в дополнение к М-фактору поправочный коэффициент по вязкости M_v . Таким образом, коэффициент преобразования ТПР будет равен:

$$K(Q) = \frac{K_3}{M\Phi(Q) \cdot M_v} \quad (4)$$

В результате экспериментов с тремя ТПР «Smith 150» и пятью ТПР «Smith 200» было выявлено, что поправочный коэффициент по вязкости зависит не только от вязкости нефти, но и от текущего расхода через ТПР, причем для каждого ТПР это влияние индивидуально, поэтому К-фактор ТПР при расходе Q и вязкости v будет равен:

$$K(Q) = \frac{K_3}{M\Phi(Q) \cdot M_v(v, Q)} \quad (5)$$

Таким образом, поправочный коэффициент по вязкости M_v является функцией двух переменных: вязкости (v) и расхода (Q). Разработан алгоритм расчета поправочного коэффициента по вязкости для текущих значений вязкости нефти и расхода через ТПР. Экспериментально выявлено, что введение коррекции по вязкости уменьшает относительную ошибку

определения К-фактора на 0,01 – 0,05%. При наличии коррекции по вязкости существенно расширяется диапазон рабочих вязкостей для ТПР и становится ненужным использование мультвязкостных ТПР.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ПО РАБОТЕ

1. Разработана обобщенная схема КР УУН. Предложена классификация КР согласно различным признакам. Проведен сравнительный анализ существующих КР как оперативных, так и коммерческих узлов учета нефти, и выявлены их основные недостатки. Сформулированы современные требования к КР УУН.

2. Предложены разработанные структурные схемы КР УУН на основе замещения нескольких МС, связывающихся друг с другом по параллельной шине, набором однокристалльных микроЭВМ, связывающихся друг с другом по последовательному интерфейсу. Рассмотрены три вида организации внутренней структуры КР УУН: КР с цельной структурой; КР с отдельной платой ввода/вывода; КР с отдельной платой ввода/вывода, содержащей блок обработки данных.

3. В результате сравнительного анализа было выявлено, что использование структур, основывающихся на ОМЭВМ, существенно повышает надежность КР УУН во всех трех случаях. Для периода работы в 5 лет вероятность безотказной работы КР основанных на МС и на ОМЭВМ с цельной структурой составляет соответственно 0,26 и 0,46; с отдельной платой ввода/вывода соответственно 0,11 и 0,17; с отдельной платой ввода/вывода, содержащей блок обработки данных соответственно 0,31 и 0,37. Среди структурных схем, реализованных на МС, наибольшую вероятность безотказной работы имеет структурная организация с отдельной платой ввода/вывода, содержащей МС обработки данных. Среди структурных схем, основывающихся на ОМЭВМ, наибольшую вероятность безотказной работы имеет схема с цельной структурой.

4. В результате анализа классической схемы взаимодействия КР УУН было выявлено, что отказ любого датчика или измерительного канала приведет к полному отказу всего вторичного оборудования измерительной линии.

5. Предложен новый подход к организации взаимодействия КР УУН друг с другом и остальным оборудованием УУН. Разработана схема взаимодействия КР УУН, на основе введение дополнительной связи между всеми КР УУН. При аварии датчика давления или температуры, данная схема позволяет использовать значения параметров с ближайшей работающей линии, а не введенные по умолчанию. Разработан алгоритм взаимодействия КР УУН согласно предлагаемой функциональной схеме, в результате чего становится возможным определять метрологический отказ датчика, избавиться от избыточных звеньев, и просматривать суммарные данные по откачке нефти на дисплее одного КР УУН. Сформулированы требования к интерфейсу связи для КР УУН, на основе которых был разработан последовательный протокол передачи данных, и зарегистрирована программа для микроконтроллера PIC18F452.

6. Проведен сравнительный анализ надежности оборудования УУН согласно разработанной и классической схем взаимодействия КР УУН без резервирования и с резервированием отдельных элементов. В результате анализа выявлено, что в любом случае, предлагаемая схема существенно повышает вероятность безотказной работы всего вторичного оборудования УУН. Для периода работы в 1 год вероятность безотказной работы оборудования согласно классической и разработанной схеме взаимодействия без резервирования составляет соответственно 0,33 и 0,59, а с резервированием отдельных элементов соответственно 0,44 и 0,63.

7. Предложено ввести поправочный коэффициент по вязкости M_v , который компенсирует влияние вязкости нефти на К-фактор ТПР, для повышения точности измерений. Выявлено, что поправочный коэффициент по вязкости зависит не только от вязкости нефти, но и от текущего расхода

через ТПР. Разработан алгоритм расчета поправочного коэффициента по вязкости для текущих значений вязкости нефти и расхода через ТПР. Экспериментально выявлено, что введение коррекции по вязкости уменьшает относительную ошибку определения коэффициента преобразования ТПР, а, следовательно, и массы откаченной нефти, на 0,01 – 0,05%.

**Основные положения диссертации опубликованы в журналах,
рекомендованных ВАК и других изданиях:**

1. Выбор микроконтроллера для автономных измерительных устройств / Ясовеев В.Х., Мирский В.И. // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2003, №10, с 30-31.
2. Преобразователи сигналов УУН / Ясовеев В.Х., Мирский В.И. // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2004, №11, с 27-30.
3. Новый подход к построению компьютеров расхода узла учета нефти / Ясовеев В.Х., Мирский В.И. // Датчики и системы. 2006, №10, с.36-39.
4. Свидетельство № 2006610109 об официальной регистрации программы для ЭВМ от 10.01.2005. Протокол передачи данных для компьютеров расхода УУН / Мирский В.И.
5. Патент РФ на полезную модель №56025, Б.И. №24, 2006. Система вычисления расхода нефти / Мирский В.И.
6. Преобразователи сигналов УУН / Ясовеев В.Х., Мирский В.И. // Сборник материалов НТК Датчики и преобразователи систем измерения, контроля и управления. Судак, МГИЭМ, 2004, с 157-158.
7. Программатор / Мирский В.И. // Радиолюбитель г. Минск, 2005, №7, с 41-42.
8. Новый подход к построению компьютеров расхода УУН / Ясовеев В.Х., Мирский В.И. // Труды 1-го международного форума. Самара, 2005, часть №18, с 72-75.