Министерство образования и науки Российской Федерации

КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ

КАФЕДРА РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Направление: 011800.62 – Радиофизика

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(Бакалаврская работа)

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СКВАЖИНЫ НА БАЗЕ ЛАБОРАТОРНОГО ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА.

Работа завершена:

"___"_____2015 г**. _____**(Л.Р. Магнавеева)

Работа допущена к защите:

Научный руководитель

Доцент, канд. физ.-мат. наук

"___"_____2015 г. _____(А.Г. Гаврилов)

Заведующий кафедрой

Доцент, док. физ.-мат. наук

"___"_____2015 г. _____(М.Н. Овчинников)

Казань — 2015

Содержание

Введение …… 3

Глава 1. Фильтрационные волны давления (ФВД) ……... 5

1.1 Структура и характеристики технологических объектов ……... 5

1.2 Использования метода фильтрационных волн давления …… 10

Суть и особенности метода фильтрационных волн давления ……. 10

Расчет фильтрационных параметров пласта по методу ФВД …….. 14

(Прямая и обратная задачи)

Глава 2. Комплекс технических и программных средств …… 19

2.1. Структура учебно-лабораторного комплекса …….. 19

2.2 . Аппаратный блок ……. 23

Назначение аппаратного блока ……... 23

Структура аппаратного блока ……... 23

2.3. Оборудование аппаратного блока …….. 26

2.4. Программное обеспечение учебно-лабораторного комплекса ..44

Системное ПО ..... .44

Инструментальное ПО ..... .48

Структура программного обеспечения …… 49

Комплекс CoDeSys ……. .53

Структурированный текст (ST) ……. 57

Глава 3. Моделирование эксплуатационной скважины на базе лабораторного программно-аппаратного комплекса ……... . 58

Заключение 64

Список литературы 65

Приложение №1 67

Введение

Для управления оптимальной выработкой нефтяного пласта, необходимо постоянно следить за движением нефтяных и водяных потоков в разрабатываемом пласте. Наиболее эффективно это можно было сделать, применяя вид гидродинамических исследований пластов – метод фильтрационных волн давления. Идея использования метода (ФВД) для определения фильтрационных параметров пластов получила теоретическое и экспериментальное развитие и заключается в создании периодических изменений расхода на возмущающей скважине и регистрации откликов на него в виде изменений давления на возмущающей и реагирующей скважинах. Для этого был разработан программно-технический комплекс, предназначенный для непрерывного контроля и совершенствования процесса добычи нефти. На основе которого, при дальнейшем развитии, была создана структура «Учебно-лабораторного комплекса по применению автоматизированных систем для исследования явлений переноса в пористых средах» в целом, КТС (комплекс технических средств) и базовое ПО должны позволять создавать в лабораторных условиях прототипы систем автоматизации различных технологических объектов нефтедобычи.

Целью проекта является моделирование реальной скважины на основе ее физических характеристик и существующего математического аппарата. В основу данного моделирования заложен промысловый гидродинамический метод исследования скважин с помощью фильтрационных волн давления (ФВД).

Актуальность

Нефтедобывающее производство включает в себя большое количество разнообразных технологических объектов. Как правило, эти объекты

распределены по большой площади и зачастую труднодоступны. Оборудование находится на открытых площадках или в неотапливаемых помещениях. Технологический процесс добычи протекает непрерывно, без остановок на праздники и выходные. Такие суровые условия эксплуатации предъявляют серьезные требования к комплексу технических средств систем автоматизации. Гораздо удобнее и практичнее создавать код программы, отлаживать и эмулировать его на АРМ. Программа отлаживается в оффлайн режиме и лишь по окончанию работы загружаться в устройство (СРМ902),которое в дальнейшем будет установлено на технологическом объекте.

Задачи дипломной работы:

- Изучение комплекса CoDeSys;
- Изучение языка ST стандарта МЭК 61131-3;
- Сборка электрической схемы;
- Написание кода программы;
- Создание и проектирование конфигураций аппаратных средств;
- Визуализация программы

Глава 1. Фильтрационные волны давления (ФВД)

1.1 Структура и характеристики технологических объектов

При разработке нефтяных месторождений существенным элементом является проведение комплекса гидродинамических исследований, которые позволяют определить фильтрационные параметры нефтенасыщенных пластов и на основе этого оценить текущие запасы углеводородов, разработать оптимальную технологию их добычи.

Среди различных методов гидродинамических исследований значительными потенциальными возможностями и преимуществами обладает метод фильтрационных волн давления (ФВД). Его реализация предполагает одновременное включение в эксперимент нескольких скважин, автоматизацию управления их режимами и регистрацией данных, применение специфических способов интерпретации получаемых результатов.

Оптимальное решение задач автоматизации промысловых исследований должно ориентироваться на специфику условий действующих месторождений, которые в значительной степени отличаются от условий заводского производства. В связи с этим развитие способов проведения замеров по методу ФВД, автоматизация измерений, разработка алгоритмов и программ обработки данных являются актуальной задачей, решение которой имеет важное значение для контроля и управления разработкой месторождений.

Для решения задач автоматизации проведения экспериментов нужно рассмотреть структуру и характеристики технологических объектов, участвующих в исследованиях.

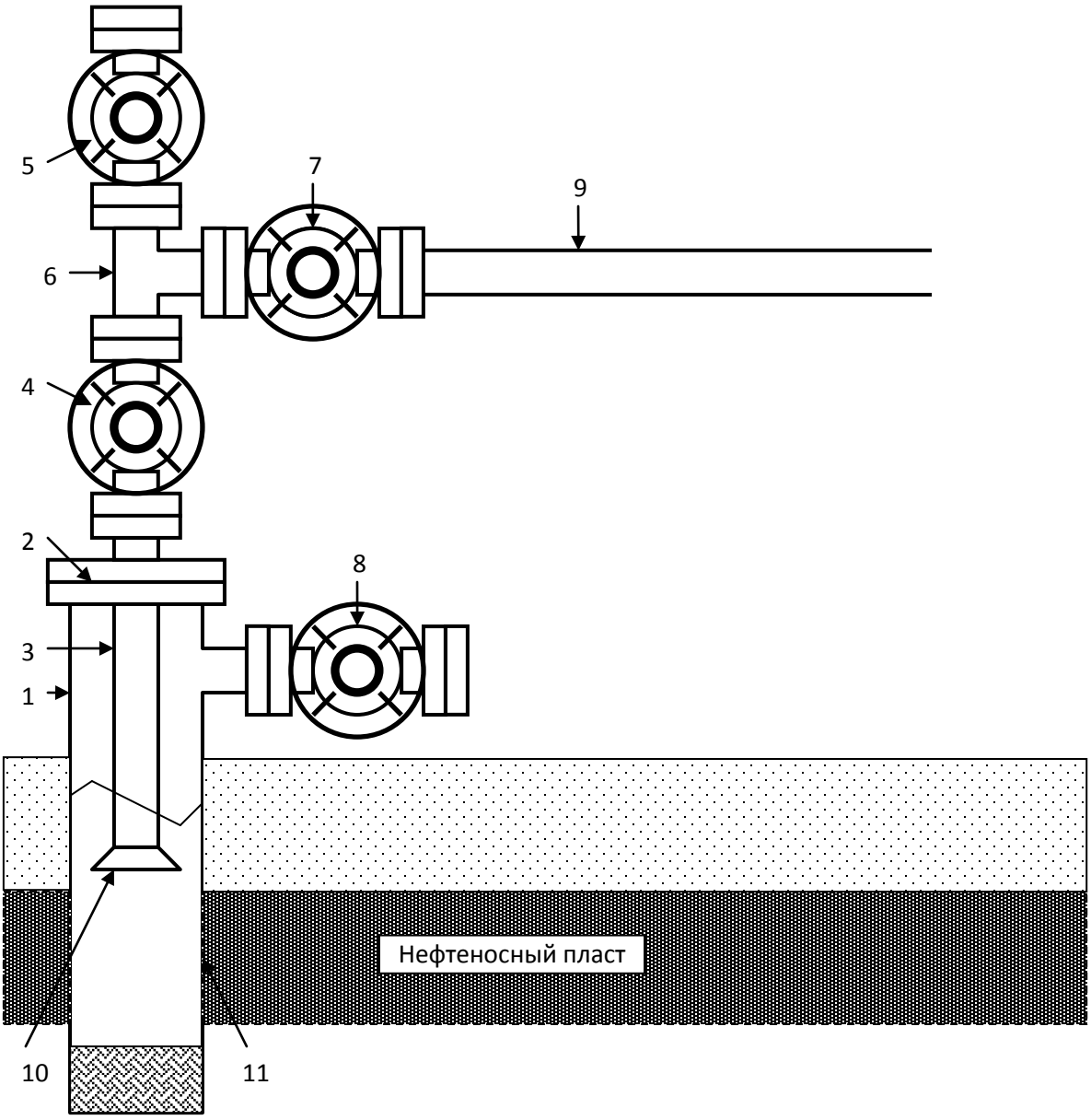

Рис. 1. Оборудование скважины для добычи нефти фонтанным способом: 1 – обсадная колонна; 2 – колонная головка; 3 – насосно-компрессорные трубы; 4 – центральная задвижка; 5 – буферная задвижка; 6 – тройник; 7 – линейная задвижка; 8 – задвижка отвода затрубного пространства; 9 – выкидной трубопровод; 10 – воронка НКТ; 11 – перфорация колонны

Скважина связывает объект разработки с поверхностью земли и обеспечивает технологический процесс добычи нефти. На рис.1 показан простейший вариант конструкции скважины, предназначенной для добычи нефти фонтанным способом, т.е. за счет собственного избыточного давления, или для закачки жидкости в пласт. Рассмотрим составные части оборудования более подробно:

- Обсадная колонна является основным несущим элементом конструкции скважины и обеспечивает гидроизоляцию неиспользуемых пластов от добываемой или закачиваемой жидкости. На уровне объекта разработки колонна перфорирована для обеспечения связи с эксплуатируемыми пластами. С наружной стороны и в нижней части колонна цементируется для исключения перетока жидкостей между пластами.
- Сверху обсадная колонна закрыта колонной головкой, на которой подвешены насосно-компрессорные трубы (НКТ) и сделан отвод для доступа в затрубное (межтрубное) пространство, т.е. пространство между колонной и НКТ. В скважинах более сложной конструкции может быть соосно подвешено несколько рядов НКТ, и к каждому ряду обеспечивается отдельный доступ.
- Насосно-компрессорные трубы предназначены для отбора через них продукции скважины, закачки жидкостей в нагнетательных скважинах, подвешивания на них насосов для механизированной добычи или другого оборудования, в том числе контрольно-измерительного. Отделение затрубного пространства от добываемой жидкости предохраняет колонну от коррозии, для чего в него может закачиваться нефть или другие неагрессивные жидкости. НКТ и подвешенное оборудование могут обслуживаться или заменяться при ремонте скважины.
- НКТ через центральную и линейную задвижки соединяются с выкидным трубопроводом, куда и направляется продукция скважины. В зависимости от параметров пласта, в частности пластового давления, и назначения скважины, количество задвижек, управляющих потоком, может быть и большим для обеспечения безопасности и возможности установки дополнительных приборов.
- Сверху через тройник и буферную задвижку в скважину на кабеле могут спускаться глубинные приборы. Для этого на фланец задвижки устанавливается лубрикатор – труба с сальником для кабеля или троса, вмещающая прибор вместе с грузами.

Если избыточного давления добываемой жидкости на буфере скважины недостаточно для обеспечения ее оптимальной производительности, то используются механизированные методы добычи с использованием насосов, подвешиваемых на конец НКТ. На скважинах с малым и средним суточным дебитом обычно используются глубинные насосы с приводом от наземного станка-качалки посредством штанг, которые прокладываются через НКТ. В арматуре такой скважины отсутствуют центральная и буферная задвижки и установлен сальник для штанги. Скважины с большим дебитом обслуживаются погружными электрическими насосами центробежного или винтового типа. В этом случае арматура скважины остается такой же, как и у фонтанной, а через колонную головку и затрубное пространство проложен кабель для питания насоса. Используется также газлифтный способ добычи, в котором нефть поднимается на поверхность пузырьками специально закачиваемого газа.

Перфорированный участок колонны скважины в середине уровня нефтеносного пласта называется забоем, а участок пласта вблизи забоя – призабойной зоной скважины.

При исследовании гидродинамических характеристик скважины измеряются давление и расход добываемой из нее или закачиваемой в нее жидкости. Давление и расход могут измеряться в различных точках конструкции скважины на глубине: в районе забоя, на разных уровнях затрубного пространства или НКТ, или на устье скважины: на отводе затрубного пространства или на буфере.

Гидродинамические параметры скважины определяются параметрами пласта в призабойной зоне и собственными параметрами, характеризующими технологические особенности ее конструкции. Интегральным параметром, характеризующим качество скважины, является ее эффективный (приведенный) радиус r_c. Если предположить, что пласт в призабойной зоне однороден, а перфорация колонны вскрывает пласт полностью, то эффективный радиус будет равен радиусу колонны. Неполное вскрытие пласта уменьшает эффективный радиус, а размыв пласта в зоне перфорации – увеличивает. Для

характеристики комплекса скважины и призабойной зоны пласта используется комплексный параметр – отношение пьезопроводности пласта в призабойной зоне к квадрату эффективного радиуса (приведенная пьезопроводность): χ/r_c^2. Именно этот параметр вычисляется из результатов гидродинамических исследований призабойной зоны.

Гидродинамические методы исследования основаны на изучении параметров притока жидкости или газа к скважине при установившихся или при неустановившихся режимах ее работы.

Исследования в установившихся режимах предназначены для определения притока жидкости к скважине из пласта или приема скважиной закачиваемой жидкости в зависимости от величины депрессии или репрессии после длительной работы скважины при постоянных режимах. Результатом таких исследований является индикаторная диаграмма $Q= f(\Delta P)$, где Q – расход жидкости, ΔP – депрессия или репрессия. Отношение $K=Q/\Delta P$ называется коэффициентом продуктивности или коэффициентом приемистости скважины. При исследовании могут измеряться коэффициенты продуктивности для различных участков толщи эксплуатируемого пласта с помощью глубинных пакерных расходомеров. Нестационарные методы позволяют получать гидродинамические параметры пласта в призабойной зоне и в межскважинных интервалах по реакции во времени скважины или системы скважин, вскрывающих пласт, на изменение режимов эксплуатации скважин. Далее мы будем рассматривать именно нестационарные гидродинамические методы исследований. Рассмотрим некоторые из этих методов.

Регистрация кривой восстановления давления (КВД) или кривой восстановления уровня (КВУ). Методы используются для исследования свойств призабойной зоны пласта добывающих и нагнетательных скважин.

При длительной работе скважины в режиме отбора или нагнетания с постоянным дебитом (расходом жидкости) в призабойной зоне пласта образуется так называемая воронка депрессии или репрессии, т.е. равновесная зависимость давления в пласте от расстояния от оси скважины. При замере

скважина останавливается выключением насоса и перекрытием задвижек и регистрируется изменение давления на устье скважины, ее забое, или уровень жидкости в затрубном пространстве во времени, т.е. в процессе рассасывания воронки.

Этот же метод может использоваться для гидропрослушивания, т.е. зондирования межскважинных интервалов, когда регистрируются изменения пластового давления на соседних скважинах участка месторождения, находящихся в режиме простоя.

1.2. Использование метода фильтрационных волн давления

Во многом более помехоустойчив метод фильтрационных волн давления (ФВД), в котором регистрируются параметры реакции объекта на периодические воздействия. Источником возмущающих колебаний служит скважина, на забое которой задается по периодическому во времени закону изменение дебита и давления. В этом случае в пласте по радиусу от скважины-источника будут распространяться фильтрационные волны давления, затухание амплитуды и скорость распространения которых будут определяться частотой ФВД, гидродинамическими параметрами пласта и возмущающей скважины. Работа скважины в периодическом режиме должна быть довольно длительной, обычно более трех периодов колебаний, для установления в любой точке исследуемого интервала пласта квазистационарного периодического режима, характеризующегося постоянством амплитуд колебаний дебита, давления и сдвигов фаз.[12][13]

Суть и особенности метода фильтрационных волн давления

Суть метода фильтрационных волн давления состоит в:

1. возбуждении в исследуемой области насыщенного пласта колебаний давления путем периодического изменения дебита возмущающей скважины;
2. наблюдении за их распространением путем регистрации изменений пластового давления в точках пласта, вскрываемых скважинами;

3. определение параметров распространения волн – затухания амплитуды колебаний и сдвига фаз при применении к зарегистрированным временным зависимостям дебита и давления гармонического Фурье-анализа;
4. расчете по ним фильтрационных параметров пласта в исследуемой области.

Перечислим преимущества и дополнительные возможности, которые имеет метод ФВД перед импульсными методами исследования пластов. Для фильтрации в трещиновато-пористых средах позволяет определять характерные времена перетоков в системе блоки-трещины:

- При использовании метода ФВД из отклика на воздействие выделяется периодическая составляющая, что позволяет существенно снизить влияние на результат помех, не связанных с полезным сигналом, таких как дрейф пластового давления, возникающий за счет неучтенных изменений режима соседних скважин. При исследовании межскважинных интервалов ФВД фактически является единственным методом, позволяющим получать повторяющиеся результаты.
- При одновременном исследовании нескольких межскважинных интервалов возможно определение анизотропии параметров пласта и потоков жидкости в разных направлениях.
- Ряд преимуществ метода ФВД определяются возможностью исследования частотной зависимости волновых параметров или ФПП, которой нет в традиционных методах:
  - Возможно определение положения фронта поршневого вытеснения нефти водой.
  - При исследовании призабойной зоны скважины позволяет выделять близкие радиальные неоднородности свойств пласта, тогда как импульсные методы дают усредненные характеристики для всей исследуемой области.
  - Является диагностическим инструментом для определения моделей фильтрации в пласте[14]

В то же время ФВД имеет некоторые специфические трудности в практическом применении:

- Более сложное управление оборудованием скважин, необходимость автоматической регистрации и обработки данных с использованием компьютеров.
- Требует достижения установившихся колебаний во всем исследуемом пространстве пласта, то есть большей длительности эксперимента.

Рассмотрим некоторые возможности интерпретации результатов исследования пластов методом ФВД.

Горная порода, из которой состоит нефтеносный пласт, обладает специфическими свойствами, характеризующими ее способность содержать и отдавать нефть и другие жидкости, и газы: пористостью и проницаемостью.

Пористостью называется отношение объема пор к полному объему породы:

$$m = \frac{V_{\text{ï î ð}}}{V}. \qquad (1.2.1)$$

Проницаемость характеризует способность породы пропускать через свои поры жидкость или газ. В простейшей модели фильтрации – классической модели упругого режима Щелкачева [11] – скорость фильтрации флюида прямо пропорциональна градиенту давления и обратно пропорциональна вязкости флюида (закон Дарси):

$$w(r,t) = -\frac{k}{\mu}\nabla p(r,t), \qquad (1.2.2)$$

где $w(r,t)$ – скорость фильтрации флюида, k – коэффициент проницаемости, μ – динамическая вязкость флюида, $p(r,t)$ – давление.

Нефтеносный пласт, сложенный из горных пород, обладающих коллекторскими свойствами и насыщенных флюидами, имеющий определенную толщину, ограниченную непроницаемыми пропластками, имеет собственные макроскопические параметры: пьезопроводность и

гидропроводность. Именно эти два фильтрационных параметра пласта независимо определяются в эксперименте методом ФВД в межскважинном интервале: пьезопроводность $\chi = \frac{k}{\mu\beta*}$ и гидропроводность $\varepsilon = \frac{kh}{\mu}$.

Пьезопроводность характеризует способность пласта передавать давление и зависит от проницаемости породы, вязкости жидкости и сжимаемости жидкости и породы:

$$\chi = \frac{k}{\mu\beta^*}, \tag{1.2.3}$$

где β^* - коэффициент упругоемкости пласта по Щелкачеву, вычисляемый по формуле:

$$\beta^* = m\beta_{æ} + \beta_{ñ}, \tag{1.2.4}$$

где m – пористость, $\beta_ж$ – сжимаемость жидкости, β_c – сжимаемость скелета.

Гидропроводность характеризует способность пласта пропускать жидкость, и связана с проницаемостью породы и вязкостью заполняющей жидкости простой формулой:

$$\varepsilon = \frac{kh}{\mu}, \text{ где } h \text{ – толщина пласта.} \tag{1.2.5}$$

Уравнение для давления (уравнение пьезопроводности) для случая плоскорадиальной фильтрации записывается так:

$$\frac{\partial p(r,t)}{\partial t} = \chi \Delta p(r,t). \tag{1.2.6}$$

Решается оно с учетом граничного условия в точке вскрытия скважиной:

$$q(t) = 2\pi\varepsilon\left(r\frac{\partial p(r,t)}{\partial r}\right), \tag{1.2.7}$$

где $q(t)$ – расход жидкости скважины.

Если предположить постоянство фильтрационной проводимости k/μ, зная значения упругоемкости $\beta*$ по значению пористости породы пласта и сжимаемости жидкости и толщины h по данным каротажа, можно вычислить гидропроводность через пьезопроводность. Далее, сравнивая измеренное и вычисленное значение гидропроводности, можно делать выводы о

неоднородностях состояния пласта в соответствующем интервале, т.е. об анизотропии свойств пласта по направлениям или об отклонении эффективно работающей толщины пласта от полной.

Расчет фильтрационных параметров пласта по методу ФВД

Метод фильтрационных волн давления позволяет проводить два вида гидродинамических исследований – *самопрослушивание* (зондирование призабойной зоны скважины) и *гидропрослушивание* (зондирование межскважинных интервалов). В первом случае исследуется отклик системы пласт-скважина на периодическое возмущение по дебиту или давлению. На забое исследуемой скважины, создаются и регистрируются одновременно колебания дебита $q(t)$ и давления $P_c(t)$ с заданным периодом T. Амплитуда колебаний и величина постоянной составляющей дебита выбираются с учетом требования сохранения линейности системы «пласт-скважина». В идеальном случае желательно, чтобы периодическое изменение дебита (давления) скважины происходило по гармоническому закону. На практике реализовать чисто гармоническую форму возмущающих колебаний сложно. Значительно проще, изменяя режим работы скважины, реализовать периодическое возмущение близкое по форме к ступенчатой функции, а затем при математической обработке периодических кривых $q(t)$ и $P_c(t)$ применить метод гармонического (спектрального) анализа для выделения значений амплитуд и фаз необходимых гармоник. При обработке данных выделяется и учитывается непериодический тренд, выполняются преобразования Фурье для временных зависимостей дебита и давления, затем вычисляются отношение амплитуд первой гармоники дебита и давления и сдвиг фаз между ними. Исходя из модели классического упругого режима фильтрации, описываемой законом Дарси (1.2.2), можно решить прямую и обратную задачи для плоскорадиальной фильтрации в однородном бесконечном пласте с установившимся периодическим возбуждением и получить формулы для вычисления параметров пласта в призабойной зоне:

- ***Прямая задача.***

В рамках «классической» модели упругого режима фильтрации движение жидкости в пласте осуществляется по закону Дарси

$$\overline{W} = -\frac{\kappa}{\mu} gradP \ , \qquad (1.2.8)$$

выполняется линеаризованное уравнение неразрывности фильтрационного потока

$$div\overline{W} + \beta^* \frac{\partial P}{\partial t} = 0 \ , \qquad (1.2.9)$$

а уравнения состояния для капельно-сжимаемой жидкости и упругой пористой среды имеют вид

$$\rho = \rho_0 \left[1 + \beta_{ж} \left(P - P_0 \right)\right] , \qquad (1.2.10)$$

$$m = m_0 + \beta_c \left(P - P_0\right) \ . \qquad (1.2.11)$$

В рамках этой модели дифференциальное уравнение относительно давления, описывающее нестационарную плоско - радиальную фильтрацию будет иметь вид

$$\frac{\chi}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial P}{\partial r}\right) = \frac{\partial P}{\partial t} \ . \qquad (1.2.12)$$

Для квазистационарного периодического режима фильтрации, когда на забое исследуемой скважины задано периодическое изменение дебита, имеем

$$q(t) = q_0 + \sum_{n=1}^{\infty}\left(a_n \cos\omega_n t + b_n \sin\omega_n t\right) = q_0 + \sum_{n=1}^{\infty} q_n \cos\left(\omega_n t - \delta_n\right), \text{ где}$$

$$\omega_n = 2\pi n / T \ , \ \ q_0 = \frac{1}{T}\int_0^T q(t)dt \ , \ a_n = \frac{2}{T}\int_0^T q(t)\cos\omega_n t dt \ , \ b_n = \frac{2}{T}\int_0^T q(t)\sin\omega_n t dt \ ,$$

$$q_n = \sqrt{\left(a_n^2 + b_n^2\right)}\,, \qquad tg\delta_n = b_n / a_n\,.$$

Решение уравнения (1.2.12), описывающее изменение давления в пласте на расстоянии r_* от возмущающей скважины имеет вид:

$$P(r_*,t) = P_r(t) = P_0 - \frac{1}{2\pi\varepsilon}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{q_n}{X_{cn}}\left[\frac{Ker^2 X_{*n} + Kei^2 X_{*n}}{Ker_1^2 X_{cn} + Kei_1^2 X_{cn}}\right]^{1/2}\cos(\omega_n t - \delta_n - \delta_{*n})$$

- ***Обратная***

$$\frac{\chi}{r_c^{\,2}} = \frac{\omega}{X_c^{\,2}}, \tag{1.2.13}$$

где $\omega = \dfrac{2\pi}{T}$ – циклическая частота воздействия,

$$\varepsilon = \frac{q_1}{2\pi P_{c1} X_c}\left[\frac{\mathrm{Ker}_0^{\,2} X_c + \mathrm{Kei}_0^{\,2} X_c}{\mathrm{Ker}_1^{\,2} X_c + \mathrm{Kei}_1^{\,2} X_c}\right]^{\frac{1}{2}} \tag{1.2.14}$$

где q_1, P_{c1} – амплитуды первых гармоник дебита и давления соответственно, а безразмерный параметр X_c определяется решением уравнения

$$\delta_c = \mathrm{arctg}\frac{\mathrm{Ker}_0 X_c \cdot \mathrm{Kei}_1 X_c - \mathrm{Kei}_0 X_c \cdot \mathrm{Ker}_1 X_c}{\mathrm{Ker}_1 X_c \cdot \mathrm{Ker}_0 X_c + \mathrm{Kei}_1 X_c \cdot \mathrm{Kei}_0 X_c} - \frac{\pi}{4} \tag{1.2.15}$$

где δ_c – сдвиг фаз между первыми гармониками дебита и давления, Ker, Kei – функции Томсона (Кельвина). При X_c<<1, т.е. больших периодах воздействия можно использовать асимптотические формулы:

$$\frac{\chi}{r_c^{\,2}} = \left(\frac{\gamma}{2}\right)^2 \omega \cdot \exp\left(\frac{\pi}{2 \cdot \mathrm{tg}\,\delta_c}\right), \tag{1.2.16}$$

где γ = 1.781072418 – постоянная Эйлера

$$\varepsilon = \frac{q_1}{8P_1 \cdot \left|\sin\delta_c\right|} \tag{1.2.17}$$

В случае гидропрослушивания используются данные прохождения ФВД разной частоты в межскважинных пространствах пласта. Периодические колебания дебита $q(t)$ или давления $P_c(t)$, состоящие из одной частоты или набора частот (спектра), задаются на возмущающей скважине, а на реагирующей скважине, расположенной на некотором расстоянии r от возмущающей, регистрируются колебания давления $P_r(t)$ на основной частоте с периодом T или часть спектра с набором частот, дошедших до реагирующей скважины. Амплитуда воздействия выбирается из возможности регистрации на реагирующей скважине полезного сигнала необходимой частоты (периода), влияние нелинейности сказывается только в призабойной зоне скважины, которая обычно составляет незначительную часть интервала. При обработке данных выделяется и учитывается непериодический тренд данных, а затем вычисляются отношение амплитуды первой гармоники колебаний давления на принимающей скважине к амплитуде первой гармоники дебита задающей P_1/q_1 и разность фаз между этими гармониками δ. Из этих данных по формулам соответствующей модели фильтрации можно получить искомые усредненные параметры: гидропроводность и пьезопроводность пласта в соответствующем межскважинном интервале. Для классической модели упругого режима:

$$\chi = \omega \frac{r^2}{X^2} \tag{1.2.18}$$

$$\varepsilon = \frac{q_1}{2\pi P_1 X_c} \left(\frac{\mathrm{Ker}_0{}^2\, X + \mathrm{Kei}_0{}^2\, X}{\mathrm{Ker}_1{}^2\, X_c + \mathrm{Kei}_1{}^2\, X_c} \right)^{\frac{1}{2}}, \tag{1.2.19}$$

где X находится решением уравнения

$$\delta = \mathrm{arctg} \frac{\mathrm{Kei}_0\, X \cdot \mathrm{Ker}_1\, X_c - \mathrm{Ker}_0\, X \cdot \mathrm{Kei}_1\, X_c}{\mathrm{Ker}_1\, X_c \cdot \mathrm{Ker}_0\, X + \mathrm{Kei}_1\, X_c \cdot \mathrm{Kei}_0\, X} - \frac{\pi}{4} \tag{1.2.20}$$

а X_c определяется из данных самопрослушивания (1.2.15).

В подавляющем большинстве случаев для больших периодов воздействия, используемых в гидропрослушивании, $X_c \ll 1$, тогда расчетные формулы упрощаются, и нет необходимости использовать данные самопрослушивания:

$$\varepsilon = \frac{q_1}{2\pi P_1}\sqrt{\mathrm{Ker}_0{}^2\, X + \mathrm{Kei}_0{}^2\, X}\ , \tag{1.2.21}$$

$$\delta = \frac{\pi}{2} + \mathrm{arctg}\frac{\mathrm{Ker}_0\, X}{\mathrm{Kei}_0\, X} \tag{1.2.22}$$

Если еще и X>>1, можно использовать асимптотические формулы:

$$\chi = \frac{r^2\omega}{2\left(\delta - \frac{\pi}{8}\right)^2} \tag{1.2.23}$$

$$\varepsilon = \frac{q_1}{2^{\frac{7}{4}}\sqrt{\pi}P_1}\,\frac{\exp\left(\frac{\pi}{8} - \delta\right)}{\left(\delta - \frac{\pi}{8}\right)^{\frac{1}{2}}} \tag{1.2.24}$$

Метод фильтрационных волн давления (ФВД) является на сегодняшний день наиболее эффективным и точным методом получения фильтрационных параметров нефтеводонасыщенных пластов в промысловых условиях. В то же время он требует значительных затрат времени, поскольку предусматривает достижение установившихся периодических колебаний, т.е. прохождения перед обрабатываемым замером 3-4 периодов воздействия.

Важным фактором снижения трудоемкости промысловых экспериментов, повышения качества получаемых результатов и уменьшения затрат времени является автоматизация операций с использованием современных средств измерения, управления оборудованием и компьютерных технологий.

Глава 2. Комплекс технических и программных средств

Для управления оптимальной выработкой нефтяного пласта, необходимо постоянно следить за движением нефтяных и водяных потоков в разрабатываемом пласте. Наиболее эффективно это можно было сделать, применяя вид гидродинамических исследований пластов – метод фильтрационных волн давления. Идея использования метода (ФВД) для определения фильтрационных параметров пластов получила теоретическое и экспериментальное развитие и заключается в создании периодических изменений расхода на возмущающей скважине и регистрации откликов на него в виде изменений давления на возмущающей и реагирующей скважинах. Для этого был разработан программно-технический комплекс, предназначенный для непрерывного контроля и совершенствования процесса добычи нефти. На основе которого, при дальнейшем развитии, была создана структура «Учебно-лабораторного комплекса по применению автоматизированных систем для исследования явлений переноса в пористых средах» в целом, КТС (комплекс технических средств) и базовое ПО должны позволять создавать в лабораторных условиях прототипы систем автоматизации различных технологических объектов нефтедобычи.

2.1. Структура учебно-лабораторного комплекса

Структура учебно-лабораторного комплекса показана на (рис.2) . Ее условно можно поделить на три уровня:

I - нижний уровень**:** оборудование КИПиА (контрольно-измерительные приборы и аппаратура). Сюда входят различные датчики и исполнительные механизмы.

II – средний уровень**:** аппаратный блок (АБ).

III – верхний уровень**:** автоматизированное рабочее место (АРМ).

Так как целью данной работы является моделирование работы эксплуатационной скважины, то более подробно в этой работе будут описываться 2 уровня, средний и верхний.

На среднем уровне иерархии АБ в зависимости от целей исследования и лабораторной задачи реализуют следующие функции:

- прием дискретной, аналоговой и цифровой информации от датчиков объекта исследования;
- обработка информации от датчиков и управление исполнительными механизмами по заданному алгоритму;
- накопление архивных данных;
- визуализация данных по объекту исследования на локальной графической панели;
- управление исполнительными механизмами с локальной графической панели;
- передача данных по объекту исследования на верхний уровень иерархии (АРМ) по сети Ethernet или по сетям операторов сотовой связи стандарта GSM900/1800;
- прием и исполнение команд управления от верхнего уровня иерархии (АРМ) по сети Ethernet или по сетям операторов сотовой связи стандарта GSM900/1800.

На верхнем уровне иерархии, расположено автоматизированное рабочее место (АРМ). Оно предназначено для приема информации по объекту исследования от АБ. На основе этой информации проводится анализ и интерпретация полученных данных, корректируются теоретические расчеты по явлениям переноса в пористых средах, исходя из эмпирических показателей.

На АРМ могут проводиться следующие виды работ:

- настройка и калибровка оборудования КИПиА;
- разработка и отладка прикладных программ для универсальных промышленных контроллеров СРМ902 (АБ)

- создание экранных форм локальных графических панелей WT3010 (АБ)
- создание АРМ операторов псевдо-реальных объектов с привязкой к оборудованию учебно-лабораторного комплекса.

АБ, АРМ с помощью промышленного коммутатора EKI-2528 объеденены в единую локальную IP-сеть. Со стороны АБ в структуру этой локальной сети входят универсальные промышленные контроллеры CPM902 и графические панели WT3010.

За каждым узлом локальной сети учебно-лабораторного комплекса закреплен свой статический IP-адрес.

Наличие GSM-терминала TC65 в аппаратном блоке позволяет организовывать беспроводной канал связи с верхним уровнем иерархии через сети операторов сотовой связи стандарта GSM900/1800.

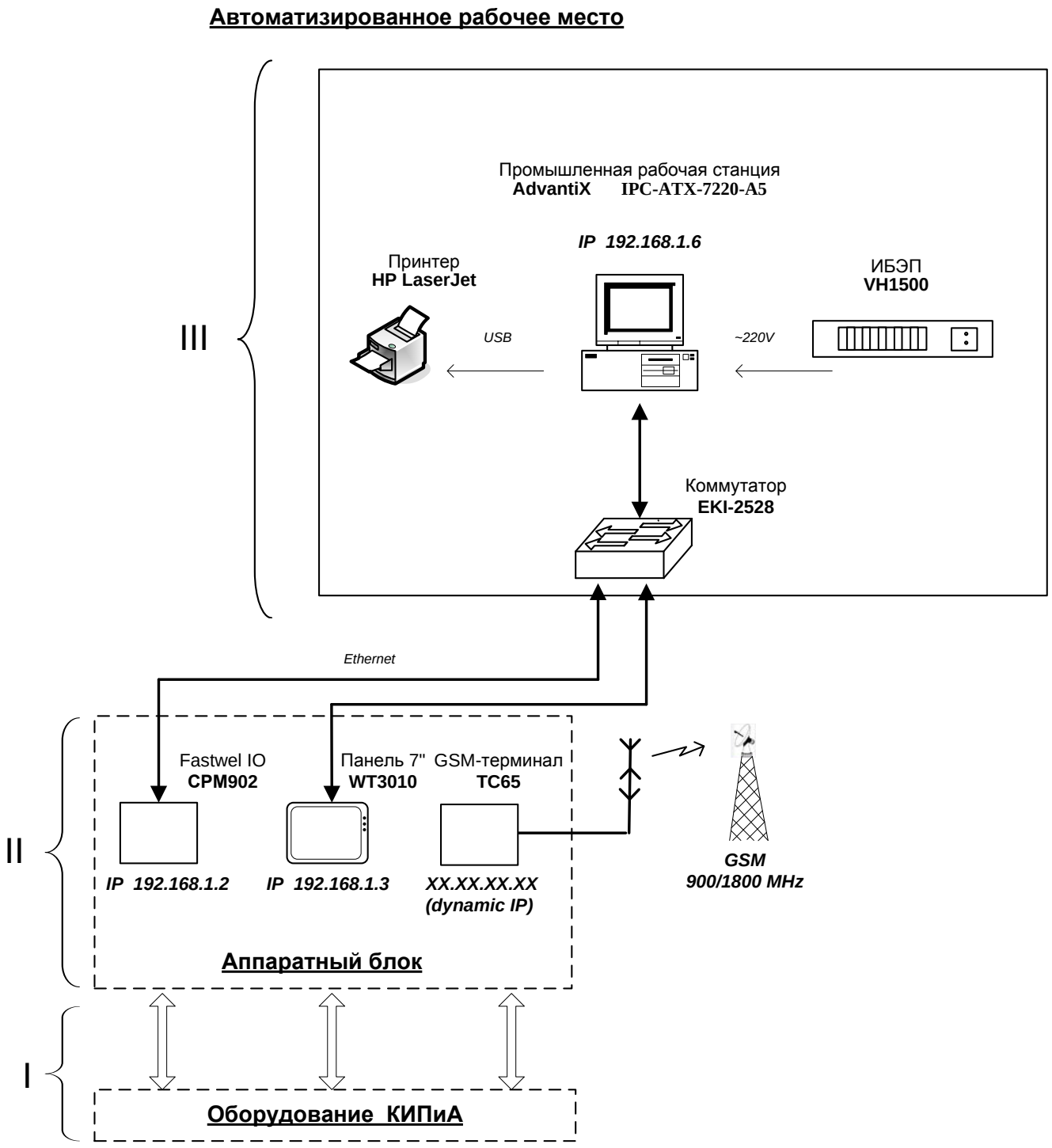

Рис. 2. Структурная схема АРМ

2.2 . Аппаратный блок

Назначение аппаратного блока

В зависимости от целей исследования и лабораторной задачи аппаратный блок (АБ) способен реализовать следующие функции:

- прием дискретной, аналоговой и цифровой информации от датчиков объекта исследования;
- обработка информации от датчиков и управление исполнительными механизмами по заданному алгоритму;
- накопление архивных данных;
- визуализация данных по объекту исследования на локальной графической панели;
- передача данных по объекту исследования на верхний уровень иерархии по сети Ethernet или по сетям операторов сотовой связи стандарта GSM900/1800;
- прием и исполнение команд управления от верхнего уровня иерархии по сети Ethernet или по сетям операторов сотовой связи стандарта GSM900/1800.

Структура аппаратного блока

Структурная схема АБ представлена на (рис.3). АБ состоит из следующих функциональных узлов:

- Контроллер промышленный универсальный CPM902 серии Fastwel I/O;
- Набор модулей Fastwel I/O для ввода/вывода дискретных и аналоговых сигналов;
- Локальная графическая панель WT3010 с диагональю 7";
- GSM-терминал TC65;
- Источник вторичного электропитания серии DNR;
- Нагреватель;
- Термостат.

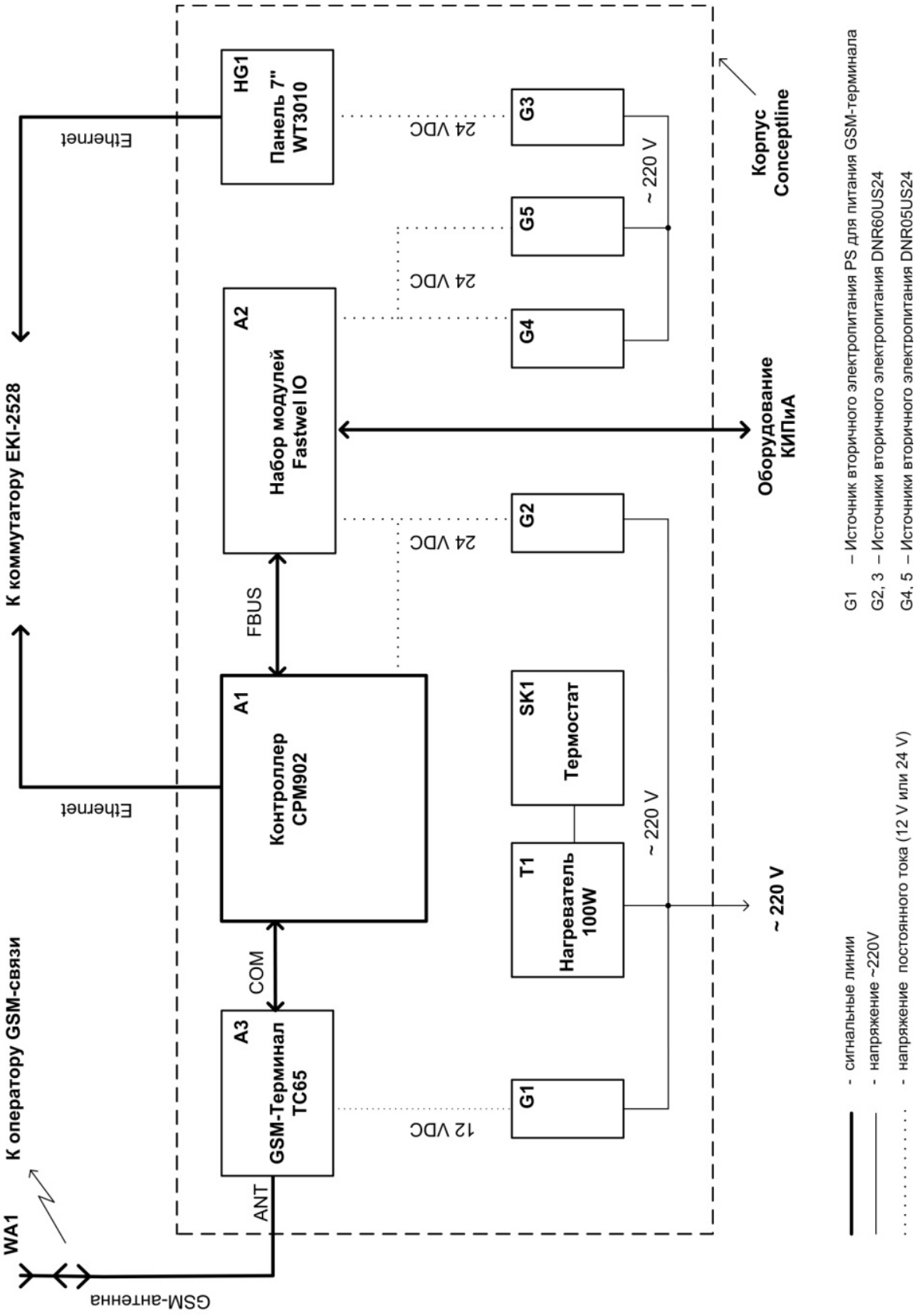

Рис.3. Структурная схема аппаратного блока.

Контроллер промышленный универсальный CPM902 серии Fastwel I/O является основным узлом аппаратного блока. Это компактное вычислительное устройство с интерфейсом скоростной шины FBUS, через который осуществляется взаимодействие с модулями Fastwel I/O для ввода/вывода дискретных и аналоговых сигналов.

Для питания контроллера CPM902 используется напряжение +24 VDC от источника типа DNR60US24.

Модули ввода-вывода и вспомогательные модули системы Fastwel I/O механически соеденены в единую конструкцию через пазы на корпусе каждого модуля .

Данный набор модулей Fastwel I/O в составе аппаратного блока был определен исходя из того, что он позволяет охватить весь перечень типовых сигналов полевого оборудования (КИПиА), применяемого при исследованиях явлений переноса в пористых средах.

CPM902 является IBM PC–совместимым устройством с предустановленной операционной системой Windows CE 5.0. Диалог с ним может вестись через клавиатуру, “мышь” и VGA-монитор, подключенные к соответствующим разъемам контроллера. Однако основным методом взаимодействия контроллера с другими узлами учебно-лабораторного комплекса является сетевой обмен данными через локальную сеть Ethernet. При этом используется стандартный промышленный протокол ModbusTCP, что однако не исключает возможности использовать другой открытый протокол обмена, если это будет определено задачей.

По протоколу ModbusTCP в сети Ethernet контроллер CPM902 осуществляет информационный обмен как с верхним уровнем иерархии (АРМ), так и с *локальной графической панелью WT3010.* На ней отображаются данные по объекту исследования на одной или нескольких экранных формах в виде индикаторов, стрелочных приборов, графиков и т.д.

2.3. Оборудование аппаратного блока

а) Контроллер CPM902

Контроллер промышленный универсальный CPM902 производства Fastwel (торговая марка ЗАО «НПФ «ДОЛОМАНТ», Россия) предназначен для управления модулями распределенной системы ввода-вывода FASTWEL I/O и так же рассчитан на работу в расширенном диапазоне температур -40..+85 C^{o}.

Для решения сложных вычислительных задач CPM902 оснащён совместимым с x86 процессором с тактовой частотой 200 МГц. В комплектацию контроллера входит твердотельный диск CompactFlash ёмкостью 1 Гбайт с предустановленной операционной системой Windows CE и средой исполнения прикладных программ CoDeSys с поддержкой визуализации. Разработка прикладной программы осуществляется в среде разработки Fastwel CoDeSys Adaptation.

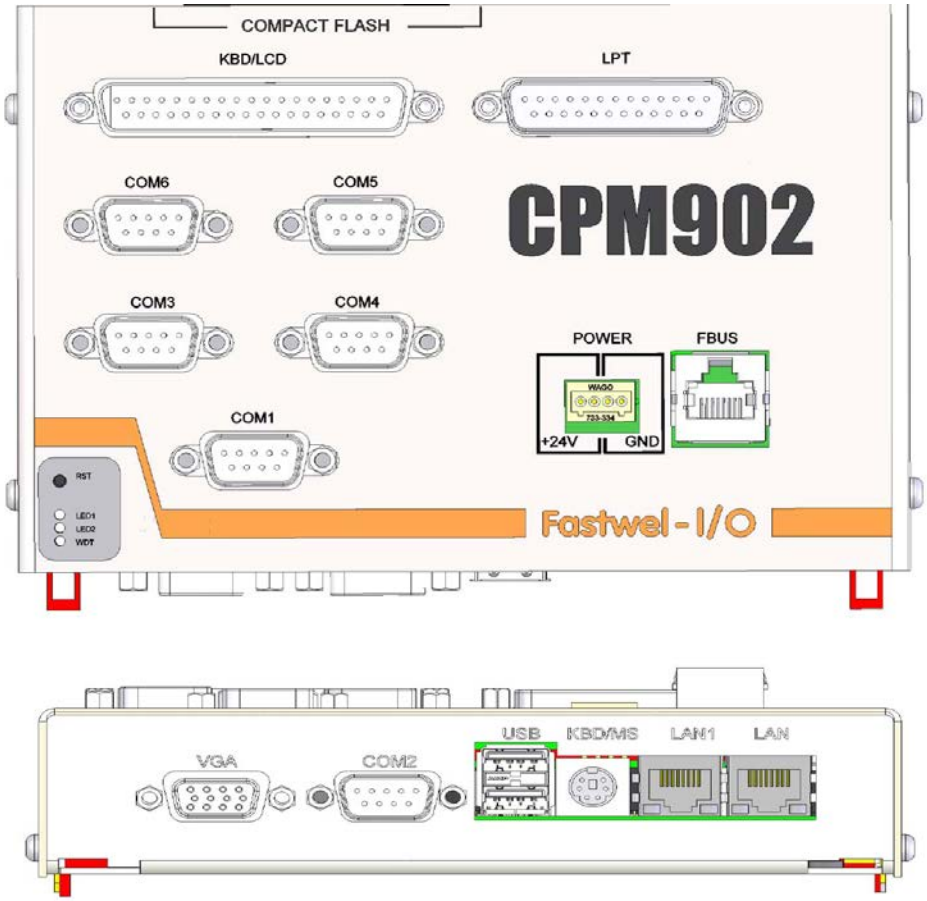

Рис. 4. Внешний вид контроллера CPM902

CPM902 имеет следующие аппаратные интерфейсы:

1. **COM1** – универсальный асинхронный приемо-передатчик (УАПП) интерфейса RS-232, предназначенный для взаимодействия между средой разработки CoDeSys и CPM902 (консольного ввода-вывода и загрузка файлов) по протоколу "точка–точка" (P2P). Для подключения COM1 к последовательному порту компьютера необходим ноль модемный кабель.
2. **COM2** – УАПП интерфейса RS-232, который может использоваться для обмена данными между прикладной программой и другими устройствами по протоколу прикладного уровня MODBUS RTU или ASCII в качестве мастера или подчиненного узла сети.
3. **COM3, COM4, COM5, COM6** – УАПП интерфейсов RS-232/RS-422/RS-485, которые могут использоваться для обмена данными между прикладной программой и другими устройствами по протоколу прикладного уровня MODBUS RTU или ASCII в качестве мастера или подчиненного узла сети.
4. **FBUS** – интерфейс скоростной шины системы Fastwel I/O для взаимодействия с модулями ввода/вывода дискретных и аналоговых сигналов. Шина FBUS выведена на стандартный разъем RJ-45. Подключение набора модулей Fastwel I/O производится с помощью кабеля ACS00055 и вспомогательного модуля OM796.
5. **USB** -два адаптера, которые могут использоваться для подключения съемных дисковых накопителей. Поддерживается спецификация USB 1.1. Каждый из каналов имеет свою схему управления питанием.
6. **VGA** - разъем для подключения стандартного монитора. Сигналы выведены на стандартный разъем DSUB-15.
7. **KBD/MS** - разъем для переходника (стандартный “Y”-кабель) с двумя отдельными соединителями PS/2 для подключения клавиатуры и мыши. Если мышь не используется, то клавиатура может быть непосредственно

подключена к разъему KBD/MS. Через подключенные клавиатуру, “мышь” и VGA-монитор пользователю предоставляется возможность работать с операционной системой Windows CE 5.0 и просматривать визуализацию прикладной программы среды исполнения CoDeSys.

8. **LAN1 и LAN2** - адаптеры сети Ethernet, которые могут использоваться для обмена данными между прикладной программой и другими устройствами сети по протоколу прикладного уровня MODBUS TCP в качестве мастера или подчиненного узла сети. Каналы Ethernet выведены на стандартные разъемы RJ-45.

9. **KBD/LCD** - порт предназначен для подключения жидкокристаллического дисплейного модуля (LCD) и матричной клавиатуры.

10. **LPT** – порт предназначен для подключения принтера, поддерживаются режимы EPP и EC.

Табл.1. Технические характеристики контроллера CPM902

Сетевой интерфейс	Ethernet и RS-232/RS-422/RS-485
Протокол передачи	Modbus TCP (Master/Slave); Modbus RTU (Master/Slave)
Последовательные порты	COM1: RS-232, трехпроводный, до 115 кбит/с; COM2: RS-232, полный, до 115 кбит/с; COM3-COM6: RS-232/RS-422/RS-485, от 19,2 кбит/с до 115 кбит/с
Порт для подключения модулей ввода–вывода FASTWEL I/O	1x FBUS (до 64 модулей FASTWEL I/O)
Порт USB	2x USB 1.1
Порт PS/2	1x PS/2
Порт Ethernet	2x 10/100 Fast Ethernet

Размер сегмента кода	1 Мбайт
Размер конфигурации	1 Мбайт
Размер сегмента внутренних переменных	1 Мбайт
Размер сегмента входных данных	128 кбайт
Размер сегмента выходных данных	128 кбайт
Размер сегмента энергонезависимых переменных	2 кбайт
Сложение и вычитание операндов типа REAL	18 285 700 опер/с
Умножение операндов типа REAL	18 285 700 опер/с
Деление операндов типа REAL	3 926 300 опер/с
Напряжение питания	24 В (+50/–60%) постоянного тока
Ток потребления	Не более 0,15 А (при напряжении 24 В)
Суммарный ток нагрузки встроенного источника питания для модулей ввода–вывода	Не более 1 А
Часы реального времени	Есть, питание от литиевой батареи
Размер элемента конфигурации	1189 байт
Среднее время наработки на отказ	100 000 ч
Масса	0,9 кг
Рабочая температура, C^0	-40..+70
ПО для разработки приложений	Fastwel CoDeSys Adaptation

В CPM902 предусмотрена световая индикация режимов работы светодиодами LED1 и LED2.

LED1:

- Прерывистое свечение с частотой около 5 Гц – БЕЗОПАСНЫЙ РЕЖИМ, при котором контроллер не обращается к модулям ввода-вывода и ожидает загрузки приложения пользователя. Контроллер может перейти в безопасный режим самостоятельно, если при запуске или во время функционирования приложения произошла какая-либо ошибка.
- Прерывистое свечение с частотой около 0,5 Гц – все циклические задачи укладываются в заданный период - НОРМАЛЬНЫЙ РЕЖИМ**,** при котором выполняются основные функции контроллера, включая исполнение задач и обработчиков системных событий, входящих в приложение, обмен данными с модулями ввода-вывода, обслуживание и формирование запросов внешней сети и т.д.
- Прерывистое свечение с частотой около 1 Гц – хотя бы одна циклическая задача не успевает укладываться в заданный период. "Укладываться в заданный период" означает, что все программы, исполняемые под управлением данной задачи, заканчивают свою работу на очередном цикле до наступления времени начала следующего цикла.

LED2:

- Непрерывное свечение – все модули ввода-вывода, определенные в конфигурации проекта, обнаружены и успешно сконфигурированы. Обмен с модулями ввода-вывода, подключенными к контроллеру, успевает завершиться за время, равное значению параметра SampleRate в конфигурации сервиса ввода-вывода контроллера (Resources–PLC Configuration–CPB902 CPU Board–I/O Modules).
- Прерывистое свечение – обмен с модулями ввода-вывода, подключенными к контроллеру, не может быть выполнен за время, заданное в конфигурации контроллера (Resources–PLC Configuration–CPB902 CPU Board –I/O Modules:SampleRate), в связи с чем используется расчетное минимально достижимое время обмена данными со всеми модулями при загрузке внутренней шины на 50%.

- Отсутствие свечения – в конфигурации загруженного приложения отсутствуют описания модулей ввода-вывода или конфигурация модулей ввода-вывода, определенная в проекте, не совпадает с аппаратной конфигурацией модулей, подключенных к контроллеру.

б) Модуль AIM722

2-канальный модуль аналогового ввода сигнала 0...20 мА.

Модуль предназначен для измерения постоянного тока в диапазоне от 0 до 20мА. Режим измерения – дифференциальный. Каналы гальванически изолированы между собой и от шины FBUS.

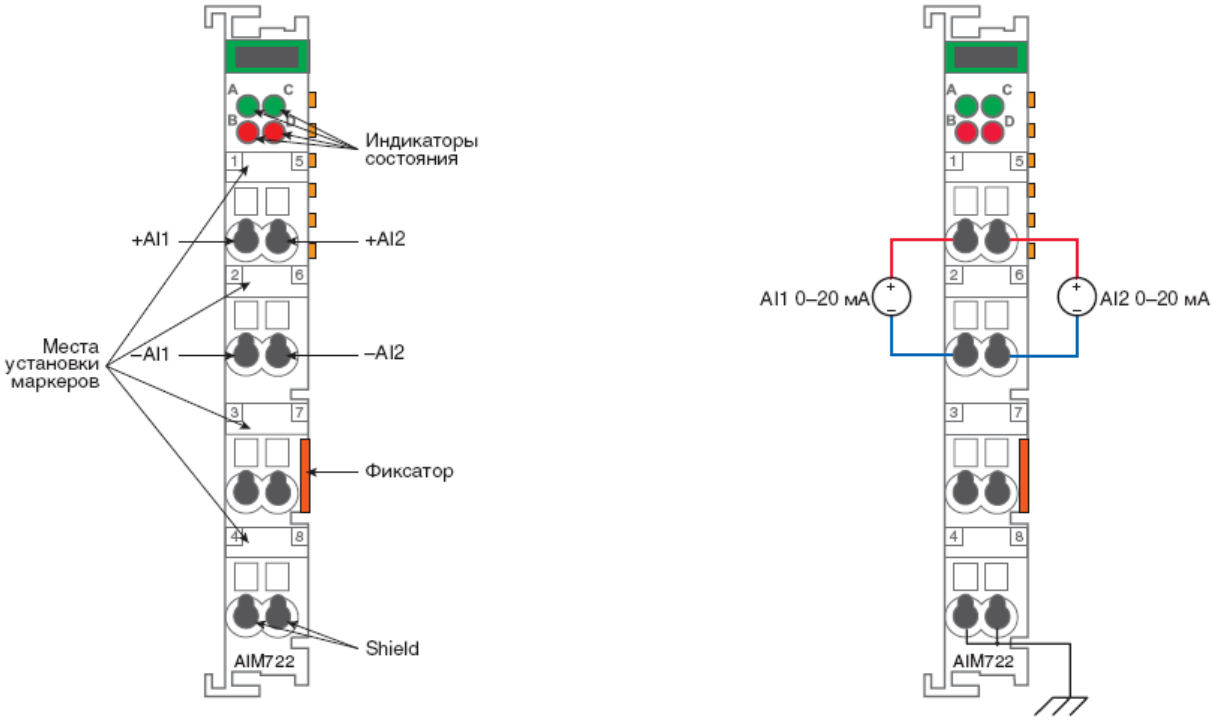

Рис. 5. Модуль AIM722

Табл.2. Технические характеристики модуля

Число каналов измерения тока	2
Диапазон измерения тока	0...20 мА
Входное сопротивление каналов измерения тока	<120 Ом при 20 мА

Полное время преобразования входного сигнала по одному каналу (выбирается установкой частоты режекторного фильтра в конфигурации модуля)	1000 Гц – 8,4 мс 100 Гц – 84,5 мс 50 Гц – 160,3 мс 25 Гц – 320,8 мс
Разрядность АЦП	22 разряда
Режим измерения	Дифференциальный
Основная приведённая погрешность при 25°C	≤ 0,02% от полной шкалы при частоте фильтра 1000 Гц
Напряжение изоляции система / питание	500 В
Защита по току	Импульсное ограничение
Максимальное входное напряжение	120 В, постоянно
Ток потребления	≤ 120 мА
Размер элемента конфигурации	242 байт
Среднее время наработки на отказ	700 000 ч

в) Модуль AIM730

2-канальный модуль аналогового вывода постоянного тока 0...20 мА или 4...20 мА

Модуль предназначен для вывода постоянного тока в диапазонах 0-20 мА или 4-20 мА.

Диапазон вывода устанавливается программно. Оба канала имеют общую «землю». Для питания формирователей тока используется напряжение, формируемое гальванически изолированным преобразователем из напряжения потенциальной шины 24В. Каналы также гальванически изолированы от шины FBUS.

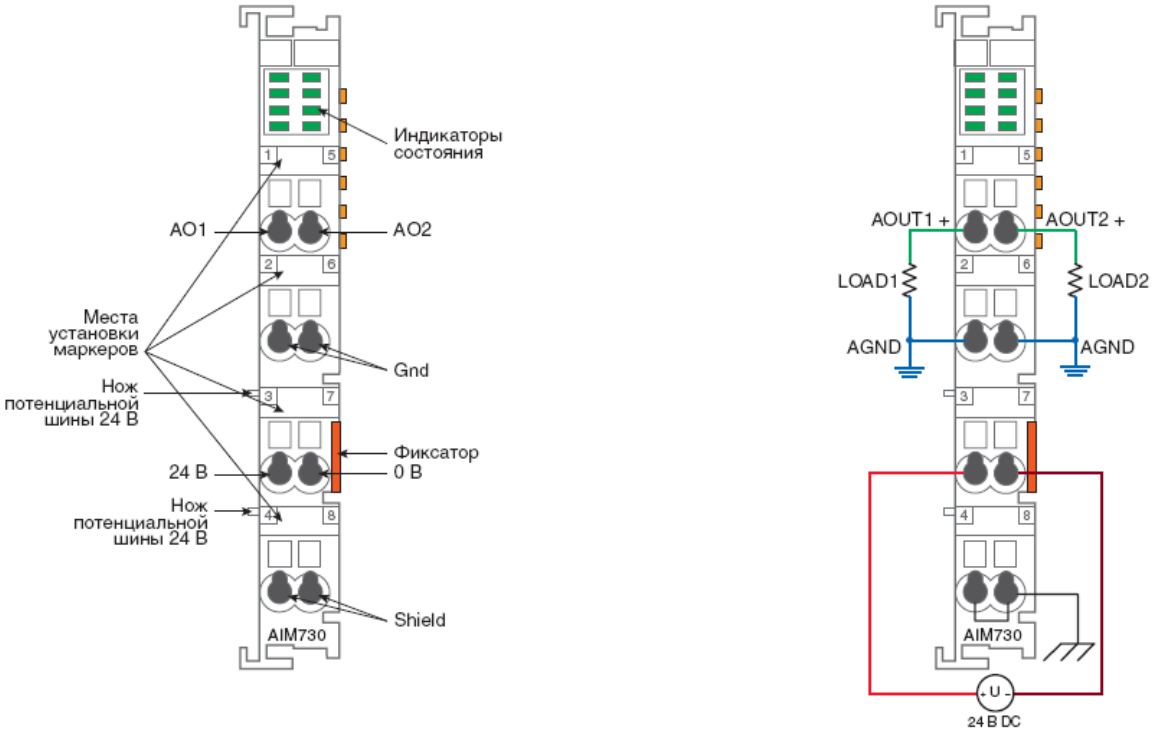

Рис. 6. Модуль AIM730

Табл.3. Технические характеристики модуля

Число каналов формирования тока	2
Диапазоны вывода постоянного тока	0...20 мА; 4…20 мА
Разрядность ЦАП	16 разрядов
Основная погрешность формирования тока	AIM73001 – 0,04% AIM73002 – 0,08%
Температурная погрешность формирования тока	0,002%
Время установления сигнала	0,8 мс
Сопротивление нагрузки	600 Ом максимально
Напряжение изоляции система / питание	500 В
Защита от перегрузки по току	30 мА (программная)
Ток потребления по шине FBUS	Не более 60 мА
Ток потребления от источника питания	24 В Не более 80 мА
Размер элемента конфигурации	431 байт
Среднее время наработки на отказ	800 000 ч

г) Модуль OM751

Модуль ввода питания 24В DC с предохранителем и диагностикой.

Модуль предназначен для ввода, индикации и диагностики питающего напряжения 24В постоянного тока. Все каналы изолированы от системы. Используется светодиодная индикация статуса / ошибки входного напряжения 24В постоянного тока. Для изоляции входных сигналов от системы используется оптическая развязка.

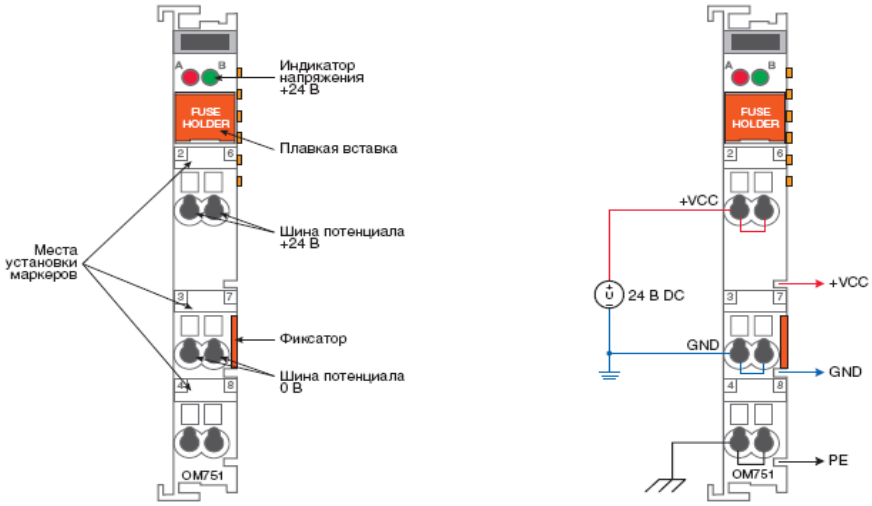

Рис. 7. Модуль OM751

Табл.4.Технические характеристики модуля

Максимальный ток входного напряжения	6,3 А
Уровни детектирования входного напряжения	OK: > 15В постоянный ток ERROR: < 12В постоянный ток
Индикация уровня / ошибки входного напряжения	Светодиодная Предохранитель 5x20; T 6,3 A; допускается ограничение по току до 10 А при установке предохранителя 5x20, T 10 A, удовлетворяющего ГОСТ Р 50030.1-2000 (МЭК 60947-1-99)
Изоляция входных цепей	Оптическая, 500В (вход/система) 500В (вход/DIN-рейка)
Напряжение на входных контактах питания	24В

Потребляемый ток по внутренней шине	Не более 50 мА
Размер элемента конфигурации	195 байт
Среднее время наработки на отказ	3 500 000 ч

д) Модуль ОМ796

Модуль системы Fastwel I/O для расширения шины FBUS.

Служит для подключения набора модулей ввода-вывода к контроллеру СРВ902. Модуль также служит для формирования напряжения питания внутренней шины (FBUS) модулей ввода-вывода. +5В формируется из напряжения 24В постоянного тока, подключаемого к клеммам 1 (+24В) и 5 (0 В) Модуль имеет клеммы для разводки потенциала шин питания.

Табл.5.Технические характеристики модуля

Соединение шины	1 x RJ-45, розетка
Напряжение питания	24В постоянного тока (-15% … +20%)
Максимальный ток нагрузки	2А
Напряжение на шине разводки потенциала	24В постоянного тока (-15% … +20%)
Максимальный ток на шине разводки	потенциала 10А
Ток потребления	Не более 50 мА
Напряжение изоляции	500В (система/питание)
Среднее время наработки на отказ	2 300 000 ч

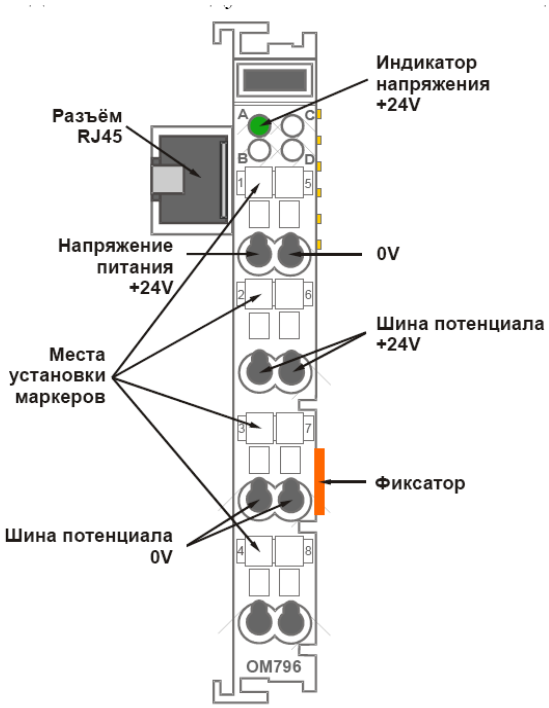

Рис. 8. Модуль OM796

е) Модуль OM750

Оконечный модуль – заглушка шины FBUS

Модуль используется для согласования электрических цепей шины FBUS. Каждая система, использующая модули Fastwel I/O, должна включать в себя модуль OM750. Этот модуль устанавливается последним в линейке на шине FBUS по отношению к контроллеру узла сети.

Табл.6.Технические характеристики модуля

Ток потребления по шине FBUS	Не более 5 мА
Среднее время наработки на отказ	30 000 000 ч

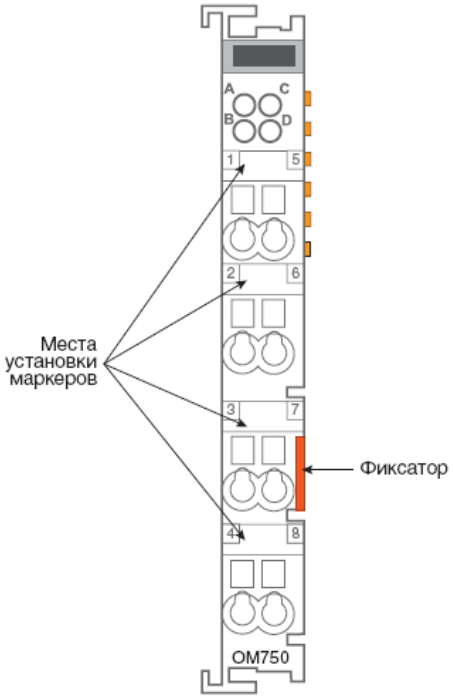

Рис. 9. Модуль OM750

ж) GSM/GPRS-терминал Cinterion TC65

Cinterion TC65- четырехдиапазонный GSM/GPRS-терминал промышленного применения, обладающий возможностями голосовой связи, высокоскоростной беспроводной передачи данных, приема и передачи SMS и факсов.

Терминал оснащен поддержкой GPRS Class 12, стандартными промышленными интерфейсами и Java-платформой разработки ПО для создания приложений. При этом запуск и управление приложениями возможен непосредственно через микропроцессор Cinterion TC65 Terminal.

Благодаря встроенному TCP/IP-стеку данные, например показания датчиков, могут быть переданы с терминала на сервер через Интернет, безопасность среды передачи данных обеспечивается использованием HTTPS и PKI-шифрования.

Важнейшие функциональные возможности Cinterion TC65 Terminal:

- Поддержка четырех GSM-диапазонов: EGSM 900 и GSM 850/1800/1900;
- Открытая платформа разработки приложений Java;

- Встроенный микропроцессор и TCP/IP-стек;
- Поддержка режима пакетной передачи данных GPRS Multislot Class 12;
- Поддержка канала управления широковещательной передачей пакетов (PBCCH);
- Стандартные интерфейсы: RS-232 и RJ-9;
- Набор инструментов для SIM-приложений.

Рис. 10. GSM/GPRS-терминал Cinterion TC65

На (рис.10) обозначены следующие интерфейсы и элементы конструкции GSM/GPRS-терминала Cinterion TC65:

1. Разъем 24-х контактный Micro-N-Lock: I2C-шина, SPI-шина, аналоговых входа (АЦП), 10 х GPIO.

2. Разъем 9-ти контактный DB9 для подключения коммуникационного кабеля (интерфейс RS-232).

3. SMA-разъем для подключения внешней антенны GSM. (50 Ом)

4. Кнопка ON/OFF

5. Голосовой интерфейс.

6. Держатель SIM карты на 3V, 1.8V

7. Разъем для подключения блока питания

Табл.7.Технические характеристики GSM/GPRS-терминала Cinterion TC65

Диапазоны радиочастот	GSM 850 / 900 / 1800 / 1900 GSM Release 99 Совместимость с GSM Phase 2/2+
Параметры открытой программной платформы	Процессор ARM7 Память: 400 Кб (RAM), 1.7 Мб (Flash) Экономичный режим питания Управление стеками TCP/IP с помощью AT-команд (Hayes GSM 07.05 и GSM 07.07)
Передача данных, SMS и факсов	GPRS Class B Multislot Class 12 Прием и передача SMS: ▪ Передача через GSM и GPRS ▪ Точка-точка MO и MT ▪ Широковещательная передача ▪ Текстовый режим, режим PDU Факс Group 3, Class 1 Полная поддержка PBCCH CSD (до 14.4 кбит/с) USSD Непрозрачный режим V.110 Схема кодирования CS 1, 2, 3, 4
Параметры Java	CLDC 1.1 Hl J2ME с поддержкой IMP 2.0 Защищённая передача данных с поддержкой HTTPS и PKI Поддержка TCP, UDP, HTTP, FTP, SMTP, POP3 Удалённое обновление приложений (OTAP)
Голосовая связь	Кодирование речи HR/FR/EFR/AMR Базовые операции hands-free Функции снижения шума, подавления эха
Выходная мощность	Class 4 (2 Вт) для EGSM850/900

	Class 1 (1 Вт) для GSM1800/1900
Напряжение питания	8...30 В
Диапазон рабочих температур	-30...+65 °С
Автоматическое отключение при температуре	выше +75 °С
Температура хранения	-40...+85 °С

з) Источник питания серии DNR

Источник питания AC/DC для монтажа на DIN-рейку с выходной мощностью 60 Вт (DNR60US24) для питания оборудования комплекса.

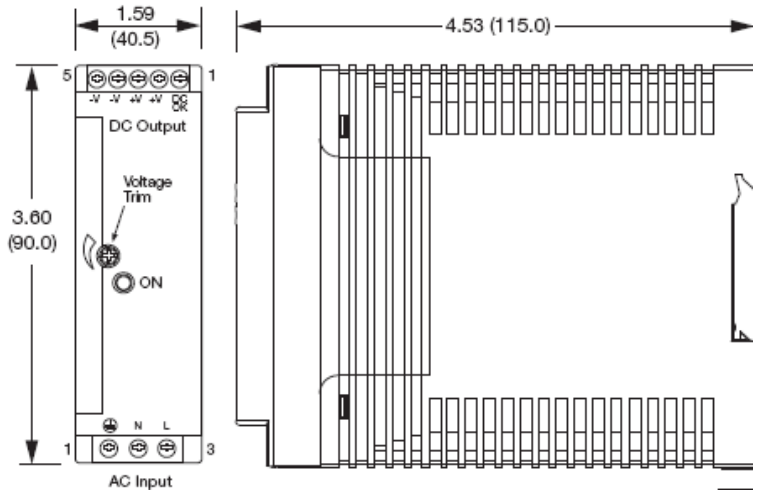

Рис. 11. Источник питания DNR60US24

Табл.8.Технические характеристики источника питания серии DNR

Номинальное значение выходного напряжения	24 В с возможностью ручной подстройки (регулятор Voltage Trim).
Диапазон входных напряжений	90…264 В переменного тока (частота 47-63 Гц)/ 120…370 В постоянного тока
Электрическая прочность гальванической развязки между входными и выходными цепями	3000 В переменного тока
Частота преобразования	100 кГц

Диапазон рабочих температур	от -40 до +70ºС (DNR60)
Диапазон температур хранения	от -40 до +85ºС
Сервисные функции	защита от перенапряжения защита от перегрузки по току и короткого замыкания; выход DC OK

и) Промышленный коммутатор EKI-2528

Неуправляемый 8-портовый коммутатор EKI-2528 производства компании Advantech (Тайвань).

Рис. 12. Промышленный коммутатор EKI-2528

Табл.9.Технические характеристики

Порты	8×10/100Base-TX (RJ-45) Автоматическое распознавание полярности и типа кросс-кабеля
Напряжение питания	от 10 до 48 В пост. тока (2 входа)
Защита портов от электростатического разряда	до 4 кВ
Защита цепей питания от перенапряжения	до 3 кВ
Монтаж	DIN-рейка, панель
Класс защиты	IP30
Рабочая температура	от -10 до +60°С

и) ИБП VH1500

Источник бесперебойного питания серии VH 1500 производства компании GE (General Electric) Digital Energy представляет собой устройство, работающее в режиме on-line (VFI, Voltage and Frequency Independent — напряжение и частота на выходе не зависят от входа), предназначенное для обеспечения высокого уровня защиты электрооборудования. ИБП накапливает электроэнергию в аккумуляторных батареях, расположенных в его корпусе. Это позволяет ИБП осуществлять электропитание нагрузки, даже если напряжение электросети на входе полностью отсутствует.

ИБП серии VH (Vertical-Horizontal) может устанавливаться вертикально или устанавливаться в 19” стойку.

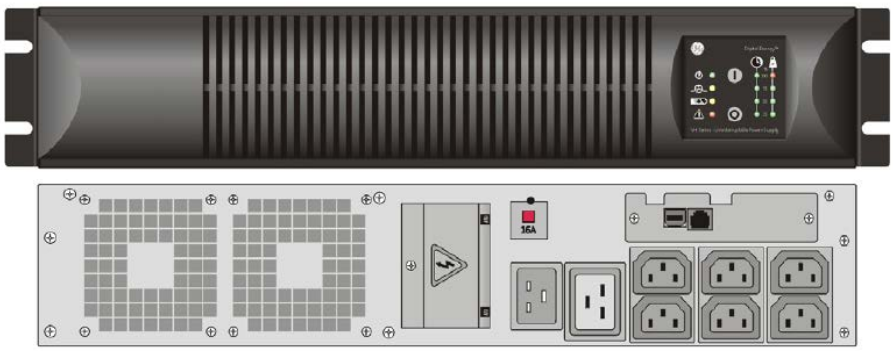

Рис. 13. Источник бесперебойного питания серии VH 1500

Табл.10.Технические характеристики

Выходная мощность	1500 В·А.
Диапазон входного напряжения (при 70% нагрузке)	130-280 В
Диапазон входной частоты	45-66 Гц
Время автономной работы при 50%/70% нагрузке	16/8 мин
Выходной коэффициент мощности при 70% нагрузке	1
Выходное напряжение	220/230/240 В +/- 2% (выбирается с лицевой стороны)
Выходная частота	50/60 Гц (выбирается с лицевой стороны)
Количество выходных розеток (IEC 320)	4

Размер корпуса	440 (19”)×87 (2U)×472 мм
Вес, включая батареи	19,3 кг

к) Промышленная рабочая станция AdvantiX IPC-ATX-7220-A5

IPC-ATX-7220-A5 имеет настольное исполнение, и, так же как сервер IPC-SYS1-3-A5, может устанавливаться в помещениях, где не исключены воздействия вибрации и присутствие пыли.

Рис. 14. Промышленная рабочая станция AdvantiX IPC-ATX-7220-A5

Табл.11.Технические характеристики

Процессор	INTEL Pentium E5200
Чипсет	Intel Q45 + ICH10DO
Память	2ГБ (2 x DIMM DDR2-667/800)
Видеоподсистема	интегрированный графический адаптер Intel GMA X4500, поддержка DirectX 10
Слоты расширения	4 x PCI полной высоты, 2x PCI-E x1 PCI-E x16
Отсеки	2x 3.5” (внутренний и внешний) 3 x 5,25”
Дисковая подсистема	HDD 320 GB SATA 1 x оптический привод DVD±RW 1 x FDD 1.44” 6 SATA-300 портов (2 свободных); поддержка RAID 0,1,5,10 на базе ICH10DO
Сеть	2 x Ethernet 10/100/1000
Звуковая подсистема	5.1канальная , HDA, на основе ALC 663

Порты	9 x USB 2.0 (из них 2 на передней панели, 1 внутренний) 1 x VGA 2 x LAN (RJ-45) 2 x PS/2 2 x COM (RS-232) 1 x LPT Line In, Line Out, Mic
Watchdog	Программный
Питания	2x400W
Рабочая температура	5...40º (работа) , -20...60º (хранение)
Влажность	10-85% без образования конденсата

2.4. Программное обеспечение (ПО) учебно-лабораторного комплекса

ПО можно условно разделить на три категории:

- *Системное ПО* - это комплекс программ, которые осуществляет управление аппаратными ресурсами вычислительной системы (процессор, оперативная память, устройства ввода-вывода и т.д), обеспечивая при этом выполнение прикладных программ и их взаимодействие с оборудованием;
- *Инструментальное ПО* - комплекс программ, предназначенных для проектирования, разработки и сопровождения прикладных программ;
- *Прикладное ПО* - комплекс программ, предназначенных для выполнения определенных пользовательских задач.

Системное программное обеспечение

Системное ПО - это комплекс программ, которые осуществляет управление аппаратными ресурсами вычислительной системы (процессор, оперативная память, устройства ввода-вывода и т.д), обеспечивая при этом выполнение прикладных программ и их взаимодействие с оборудованием.

В состав учебно-лабораторного комплекса входят следующее системное ПО:

1. *Операционная система Windows 7 Professional.*

Установлена на АРМ. Операционная система (ОС) Windows 7 Professional (32-битная версия), установленная на рабочих станциях AdvantiX, обеспечивает выполнение пользовательских программ, планирование и управление вычислительными ресурсами оборудования.

Ключевые возможности этой ОС . [2]:

- Высокая производительность: быстрый запуск и завершение работы, быстрое переключение сеансов и режимов;
- Наличие модулей управления ресурсами системы, оптимизация распределения нагрузки, защита от непредвиденных сбоев и зависаний, незаметная для пользователя автоматическая диагностика системы;
- Гибкая система настройки Microsoft Windows 7 Professional;
- Обеспечение совместимости устройств, предоставление всех необходимых драйверов через центр обновлений Windows.

Дополнительные возможности Windows 7 Professional:

- Фундаментальные функции безопасности: защита ядра от изменений, защита служб, предотвращение несанкционированного исполнения данных, предохранение от случайных изменений структуры адресного пространства, сохранение обязательных уровней целостности.
- Увеличенное время работы от аккумулятора за счёт снижения общего числа фоновых задач, диагностики причин перерасхода энергии, автоматическое сохранение питания во время простоя, снижение яркости дисплея, спящий режим и т.д.
- Конструктивная поддержка 64-разрядных процессоров.
- Предусмотрена работа через командную строку, поддержка WMI-сценариев для просмотра данных средства анализа стабильности системы (RAC), мониторинг стабильности системы.

2. *Операционная система Windows CE. Среда исполнения Fastwel CoDeSys.*

Установлены на промышленном контроллере Fastwel IO CPM902. Промышленный контроллер Fastwel IO CPM902 работает под управлением операционной системы Windows CE версии 5.0.

WindowsCE (WinCE) – это компонентная, многозадачная, многопоточная, многоплатформенная операционная система с поддержкой реального времени [7] .Windows CE оптимизирована для устройств, имеющих минимальный объём памяти: ядро может работать на 32 КБ памяти. Для поддержания графического интерфейса Windows CE необходимо не менее 5 МБ.

В контроллере Fastwel IO CPM902 образ ОС Windows CE установлен на носитель CompactFlash. Графический интерфейс ОС не скрыт от пользователя: подключив клавиатуру, “мышь” и VGA-монитор к устройству, можно получить доступ к Windows CE и, например, сменить IP-адрес. Однако основным методом взаимодействия контроллера с другими узлами учебно-лабораторного комплекса является сетевой обмен данными по протоколам ModbusTCP и FTP под управлением сервиса внешней сети. Помимо сервиса внешней сети в образ ОС WinCE контроллера CPM902 интегрированы адаптированная среда исполнения CoDeSys и сервис ввода-вывода.[1]

Среда исполнения Fastwel IO CoDeSys предназначена для исполнения кода приложения, запускаемого на контроллере в автоматическом режиме при старте системы. Сервис ввода-вывода предназначен для управления, инициализации и обмена данными с модулями ввода-вывода Fastwel IO. Структурная схема системного ПО контроллера показана на рис. 15.

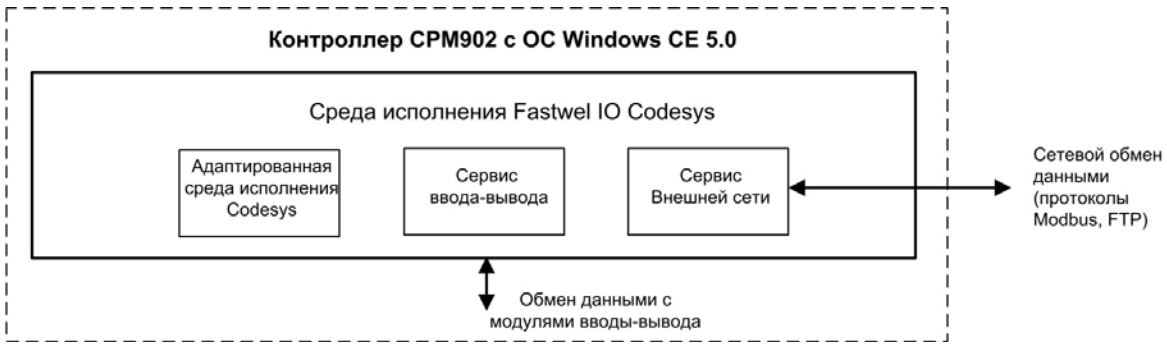

Рис.15. Системное ПО контроллера CPM902

Разработка прикладных программ контроллера выполняется в адаптированной среде разработки Fastwel IO CoDeSys Adaptation. Это инструментальное ПО предназначено для подготовки, отладки и загрузки прикладной программы в контроллер CPM902.

3. *Операционная система Linux. Среда исполнения Weintek EasyBuilder RunTime.*

Локальная графическая панель WT3010 работает под управлением операционной системы Linux. Linux – это UNIX-подобная многозадачная многопользовательская операционная система. Дистрибутивы на основе Linux имеют широкое применение в различных областях: от встраиваемых систем до промышленных серверов. Дистрибутив Linux состоит из ядра, утилит и библиотек GNU, вспомогательных программ, документации, графической подсистемы, подсистемы управления оконным интерфейсом и менеджера рабочего стола.[8][9]

В панели WT3010 графический интерфейс операционной системы Linux скрыт от пользователя - предоставлена лишь возможность ограниченного администрирования системы через ярлык “Настройки” в правом нижнем углу экрана панели. В процессе эксплуатации панели пользователь в основном работает только с графическим интерфейсом (экранными формами) прикладной программы, запускаемой на WT3010 в автоматическом режиме при старте системы. Исполнением кода этой прикладной программы управляет среда исполнения Weintek EasyBuilder RunTime. Взаимодействие локальной графической панели WT3010 с другими узлами учебно-лабораторного комплекса осуществляется посредством сетевого обмена данными по протоколам ModbusTCP и RFB (протокол системы удалённого доступа к рабочему столу Virtual Network Computing- VNC). Описание Разработка прикладных программ для локальной панели WT3010 выполняется в среде Weintek EasyBuilder 8000. Это инструментальное ПО предназначено для подготовки, отладки и загрузки прикладной программы в панель.

Инструментальное программное обеспечение

Ключевым этапом в проведении лабораторных работ и научных исследований на учебно-лабораторном комплексе является подготовка прикладных программ для оборудования комплекса. На каждом АРМ для этих целей установлено соответствующее инструментальное программное обеспечение (ПО):

1. *Пакет Genesis32*.

ПО предназначено для создания АРМ операторов псевдо-реальных объектов с привязкой к оборудованию учебно-лабораторного комплекса.

Пакет GENESIS32 является комплексом клиентских и серверных приложений, основанных на технологии OPC (OLE for Process Control – технология связывания и внедрения объектов для промышленной автоматизации) и предназначен для создания программного обеспечения сбора данных и оперативного диспетчерского управления верхнего уровня систем промышленной автоматизации.

Технология OPC представляет собой универсальный механизм обмена данными между узлами подсистем промышленной автоматизации (датчики, контроллеры, системы диспетчерского управления), основанный на модели распределенных компонентных объектов Microsoft DCOM [10]. Драйверы устройств, соответствующие спецификации OPC, называются OPC-серверами. OPC-сервер содержит определенный структурированный набор параметров – теги, посредством которых и происходит обмен данными (запись и чтение). OPC-сервера можно отнести к прикладному ПО.

2. *Среда разработки Weintek EasyBuilder 8000.*

ПО предназначено для подготовки, отладки и загрузки прикладной программы в локальную графическую панель WT3010.

3. *Среда разработки Fastwel IO CoDeSys Adaptation.*

ПО предназначено для подготовки, отладки и загрузки прикладной программы в универсальный контроллер СРМ902.

Адаптированная среда разработки Fastwel IO CoDeSys обеспечивает выполнение следующих функций [1][4][5][6]:

а) Создание конфигурации контроллера CPM902, которая включает в себя перечень описаний модулей ввода-вывода, входящих в его состав, параметры каждого модуля, параметры протокола внешней сети и перечень описаний сообщений, поступающих из внешней сети и выдаваемых в сеть контроллером, и параметры исполнения прикладной программы в контроллере.

б) Описание информационных связей между разрабатываемой прикладной программой и сообщениями, передаваемыми во внешнюю сеть и получаемыми по внешней сети, а также между прикладной программой и каналами модулей ввода-вывода.

в) Реализацию прикладного алгоритма обработки данных и управления на языках ST, IL, LD, FBD, SFC стандарта IEC 61131-3 (МЭК 61131-3) и трансляцию разработанной программы в исполняемый код процессора.

г) Отладку разработанной прикладной программы в режиме эмуляции.

д) Загрузку прикладной программы в контроллер

е) Удаленную отладку и управление исполнением прикладной программы в контроллере.

Структура программного обеспечения

Структура программного обеспечения Fastwel IO CoDeSys отображена на рис.9.

В состав ПО Fastwel IO CoDeSys входят:

- Адаптированная среда разработки прикладных программ на языках стандарта IEC 61131-3, установленная на каждом автоматизированном рабочем месте.
- Адаптированная среда исполнения прикладных программ, поставляемая в каждом контроллере CPM902.

а. Пакет адаптированной среды разработки Fastwel IO CoDeSys

Пакет адаптированной среды разработки Fastwel IO CoDeSys устанавливает на АРМ в следующем составе:

1. Интегрированная среда разработки (Integrated development environment - IDE) CoDeSys фирмы 3S Smart Software Solutions

2. Файлы описания платформы CPM902, интегрируемые с IDE CoDeSys и позволяющие генерировать исполняемый код прикладных программ для CPM902 средствами IDE CoDeSys

3. Файлы описания конфигурации модулей ввода-вывода, интегрируемые с IDE CoDeSys и позволяющие генерировать конфигурационную информацию для контроллера CPM902 средствами IDE CoDeSys

4. Драйверы коммуникационного сервера CoDeSys Gateway Server, интегрируемые с CoDeSys Gateway Server и позволяющие выполнять загрузку прикладных программ в контроллер, удаленную отладку и мониторинг переменных.

5. Библиотеки поддержки платформы CPM902, содержащие функциональные блоки и функции, обеспечивающие доступ к специфическим функциональным возможностям платформы CPM902 из приложений пользователя, разрабатываемых в среде CoDeSys.

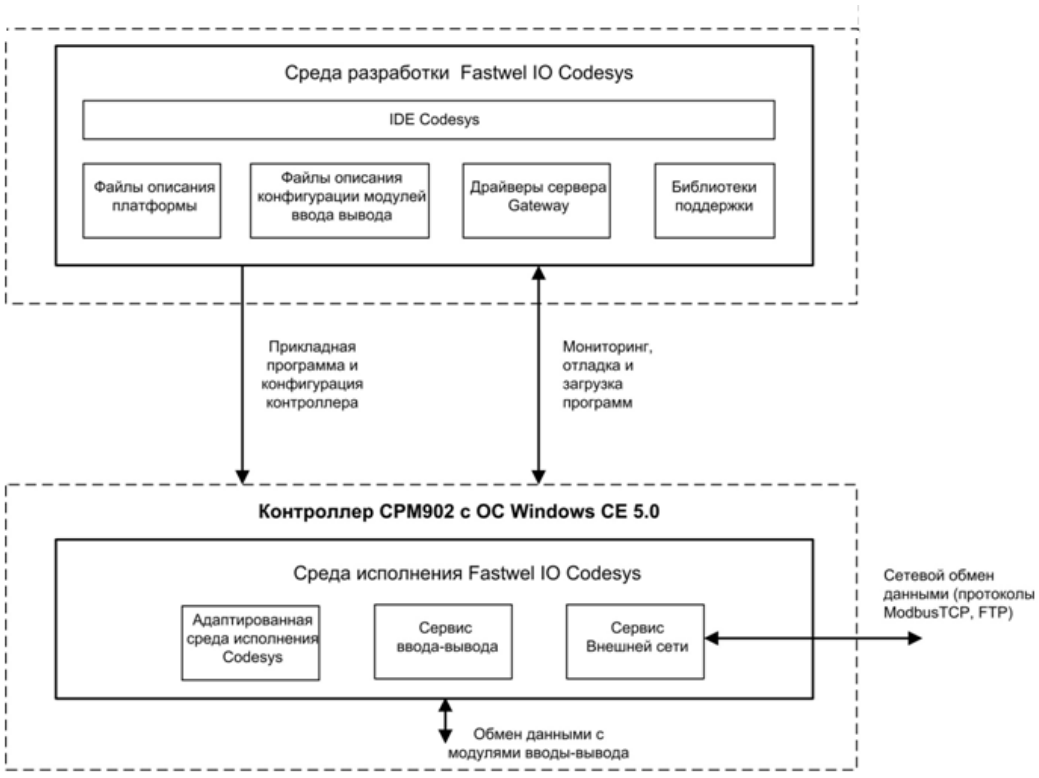

Рис.16. Структура программного обеспечения Fastwel IO CoDeSys

б. Адаптированная среда исполнения CoDeSys

Адаптированная среда исполнения CoDeSys является одним из сервисов системного программного обеспечения контроллера CPM902 и интегрирована в образ ОС WinCE контроллера CPM902. Адаптированная среда исполнения CoDeSys выполняет следующие функции:

1. Исполнение приложения пользователя, разработанного в среде CoDeSys, с возможностью просмотра и изменения значений переменных и удаленной загрузки измененной версии.

2. Обмен данными между приложением пользователя и модулями ввода-вывода.

3. Прием данных по сети и передачу их приложению.

4. Передачу по сети данных приложения.

5. Светодиодную индикацию режима работы среды исполнения.

6. Диагностику функционирования основных подсистем среды исполнения и предоставление диагностической информации приложению пользователя.

7. Управление режимами работы контроллера, обработку ошибок и нештатных ситуаций.

Приложение, разрабатываемое пользователем в среде CoDeSys, должно состоять хотя бы из одной программы, и может содержать до 32-х циклических и до 64-ти ациклических задач, а также функций обработки системных событий.

Циклической задачей далее называется множество программ (в терминах IEC 61131-3), запускаемых на исполнение с заданным периодом под управлением отдельного потока исполнения операционной системы контроллера. Помимо периода запуска, каждая циклическая задача имеет приоритет, согласно которому планировщик операционной системы выбирает, какому потоку операционной системы выделить процессорное время в тот или иной момент времени.

Ациклической задачей далее называется множество программ (в терминах IEC 61131-3), запускаемых на исполнение на контексте высокоприоритетного потока исполнения операционной системы в момент перехода некоторой булевой переменной (источника события), определенной в приложении пользователя, из состояния FALSE в состояние TRUE. Помимо переменной-источника события, каждая ациклическая задача имеет приоритет и порядковый номер, согласно которым среда исполнения выбирает очередность запуска ациклических задач.

Обработчиком системного события далее называется функция (в терминах IEC 61131-3), вызываемая средой исполнения при возникновении некоторого системного события. К системным событиям относятся моменты запуска и останова приложения, окончание подготовки приложения к запуску, начало загрузки нового приложения, момент перед заменой текущего приложения на вновь загруженное и другие.

Данные окружения (модулей ввода-вывода, подключаемые к внутренней шине контроллера, и внешней сети), представляется так называемым *образом процесса*, состоящим из двух областей памяти с непересекающимися адресами, через которые происходит взаимодействие между циклическими и ациклическими задачами приложения и окружением.

Первая область образа процесса, называемая *областью входных данных*, предназначена для буферизации значений входных данных приложения в процессе приема информации от устройств ввода-вывода и сетевых интерфейсов.

Вторая область называется *областью выходных данных* и предназначена для буферизации

значений выходных данных приложения в процессе выдачи информации устройствам ввода-вывода и в сетевые интерфейсы.

Комплекс CoDeSys

Комплекс CoDeSys разработан фирмой 3S Smart Software Solutions (Кемптен, Германия). Это универсальный инструмент программирования контроллеров и встраиваемых систем на языках стандарта МЭК 61131-3, не привязанный, к какой-либо аппаратной платформе и удовлетворяющий современным требованиям быстрой разработки программного обеспечения.

Ядро системы исполнения CoDeSys написано на языке С. Существует несколько модификаций оптимизированных для различных микропроцессоров (включая PC-совместимые). Для привязки к конкретному ПЛК требуется адаптация ,касающаяся низкоуровневых ресурсов – распределение памяти, интерфейс связи и драйверы ввода-вывода.

Среди особенностей данного пакета можно отметить следующее.

- Прямая генерация машинного кода. Генератор кода CoDeSys – это классический компилятор, что обеспечивает очень высокое быстродействие программ пользователя.
- Полноценная реализация МЭК-языков, в некоторых случаях даже расширенная.
- «Разумные» редакторы языков построены таким образом, что не дают делать типичные для начинающих МЭК программистов ошибки.
- Встроенный эмулятор контроллера позволяет проводить отладку проекта без аппаратных средств. Причем эмулируется не некий абстрактный контроллер, а конкретный ПЛК с учетом аппаратной платформы. При подключении реального контроллера (режим online) отладчик работает аналогичным образом.
- Встроенные элементы визуализации дают возможность создать модель объекта управления и проводить отладку проекта без изготовления средств имитации. Существует «операционная» версия CoDeSys. Это компактное приложение, выполняющее только визуализацию, без средств разработки. Во многих простых случаях нет необходимости приобретать отдельно

SCADA- систему. Серверы данных (DDE и OPC) также входят в стандартный пакет поставки.

- Очень широкий набор сервисных функций, ускоряющих работу программиста.
- В настоящее время создано более 150 адаптаций комплекса CoDeSys. Фирма 3S не скрывает своих клиентов. Все они открыто взаимодействуют друг с другом и совместно работают над совершенствованием программного инструментария. Наиболее интересные решения и опыт применения обсуждаются на ежегодном семинаре и учитываются в новых версиях пакета. Благодаря этому и, безусловно, наличию хорошей команды разработчиков и грамотного руководства, пакет развивается исключительно динамично.
- Для CoDeSys доступен адаптированный русский перевод документации, выполненный ПК «Пролог»

В последние годы фирма 3S предпринимает весьма успешные усилия для интегрирования различных инструментов в одном пакете (конфигуратор распределенных систем, специализированный модуль управления перемещение, графический логический анализатор, система управления версиями и др.). Определение систем класса CoDeSys как инструментов программирования ПЛК является, безусловно, слишком скромным. Знание системы программирования CoDeSys , полученное в процессе работы с оборудованием учебно-лабораторного комплекса, позволит при необходимости с легкостью освоить оборудование других производителей, у которых CoDeSys так же является штатным ПО: ABB, Beckhoff, Beck IPC, Berger Lahr, Bosch Rexroth, ifm, Keb, Kontron, Lenze, Moeller, WAGO и др.

Строение комплекса CoDeSys

Базовый состав комплекса программирования ПЛК состоит из двух обязательных частей: системы исполнения и рабочего места программиста. Система исполнения функционирует в контроллере и, кроме непосредственно

исполнения управляющей программы, обеспечивает загрузку кода прикладной программы и отладочные функции. Естественно, система исполнения должна иметь связь с компьютером рабочего места программиста. Как физически организована связь ПК и ПЛК, не столь важно. В простейшем случае ПЛК подключается к компьютеру через стандартный com-порт (RS232) нуль-модемным кабелем. В условиях цеха может использоваться более помехоустойчивый и дальнобойный интерфейс (RS-422, RS-485 или токовая петля).

В комплексе CoDeSys посредником между средой разработки и ПЛК служит специальное приложение – шлюз связи (gateway). Шлюз связи взаимодействует с интегрированной средой через Windows сокет-соединение, построенное на основе протокола TCP/IP. Такое соединение обеспечивает единообразное взаимодействие приложений, работающих на одном компьютере. ПК, выполняющий задачу шлюза связи, может одновременно взаимодействовать с ПК программиста через Интернет и с ПЛК через модемное соединение.

По умолчанию шлюз связи настроен на локальную работу (local host) и запускается автоматически при установлении связи с ПЛК из интегрированной среды. Для соединения с ПЛК через com-порт достаточно только настроить параметры драйвера интерфейса в соответствии с руководством по применению ПЛК (порт, скорость, контроль паритета и число стоп-бит).

В состав любого комплекса обязательно входит руководство по применению и электронная справочная система. Ассортимент дополнительных приложений CoDeSys включает серверы данных (DDE, OPC), утилиты конфигурирования комплекса, средства управления проектами и версиями, тестовые инструменты, специализированные библиотеки функций и функциональных блоков.

Системное и прикладное программное обеспечение

Системное и программное обеспечение (СПО) непосредственно контролирует аппаратные средства ПЛК. СПО отвечает за тестирование и индикацию работы памяти, источника питания, модулей ввода-вывода и интерфейсов, таймеров и часов реального времени. Система исполнения кода прикладной программы является составной частью СПО. Система исполнения включает драйверы модулей ввода-вывода, загрузчик кода программ пользователя, интерпретатор команд и отладочный монитор. Код СПО расположен в ПЗУ и может быть изменен только изготовителем ПЛК.

Код прикладной программы размещается в энергонезависимой памяти, чаще всего это электрически перепрограммируемые микросхемы. Изменение кода прикладной программы выполняется пользователем ПЛК при помощи системы программирования и может быть выполнено многократно.

В CoDeSys для программирования доступны все пять определяемых стандартом МЭК 61131-3 языков.

Текстовые:

Instruction List (IL) - Список инструкций

Structured Text (ST) – Структурированный текст

Графические:

Sequential Function Chart (SFC) – Последовательные Функциональные Схемы

Function Block Diagram (FBD) – Функциональные Блоковые Диаграммы

Ladder Diagram (LD) – Релейно-Контактные Схемы

Кроме того, CoDeSys включает поддержку основанного на языке FBD редактор Continuous Function Chart (CFC) – Непрерывные Функциональные Схемы.

В нашей работе мы будем использовать язык ST стандарта МЭК 61131-3

Структурированный текст (ST)

ST (Structured Text) - Pascal-подобный язык. ST представляет собой набор инструкций высокого уровня, которые могут использоваться в условных операторах (такие как "IF…THEN…ELSE") и в циклах (такие как WHILE…DO).

В ST важной категорией является выражение.

Выражение – это конструкция, возвращающая определенное значение после его вычисления. Выражение состоит из операторов и операндов. Операндом может быть константа, переменная, функциональный блок или другое выражение.

Вычисление выражений выполняется согласно правилам приоритета. Оператор с самым высоким приоритетом выполняется первым, оператор с более низким приоритетом – вторым и т.д., пока не будут выполнены все операторы. Операторы с одинаковым приоритетом выполняются слева направо.

Глава 3. Моделирование эксплуатационной скважины на базе лабораторного программно-аппаратного комплекса

Важным фактором снижения трудоемкости промысловых экспериментов, повышения качества получаемых результатов и уменьшения затрат времени является автоматизация операций с использованием современных средств измерения, управления оборудованием и компьютерных технологий.

Разработать оптимальную технологию добычи, создать и поддерживать постоянно действующую компьютерную модель месторождения, управлять процессом его разработки. Одним из таких комплексов является комплекс CoDeSys .

Данная практическая работа состоит из нескольких задач:

1. Изучение комплекса CoDeSys;
2. Изучение языка ST стандарта МЭК 61131-3;
3. Сборка электрической схемы;
4. Написание кода программы;
5. Создание и проектирование конфигураций аппаратных средств;
6. Визуализация программы

Проект в среде CoDeSys включает следующие объекты:

- POU;
- Типы данных;
- Ресурсы;
- Визуализации.

Каждый компонент в POU (программный модуль) представляет из себя функцию, функциональный блок или программу. Для написания нашего программного кода мы будем использовать POU типа программа.

Программа - это POU, способный формировать произвольное значение во время вычислений. Значения всех переменных программы сохраняются между вызовами. Для написания кода используется один из языков программирования стандарта МЭК, в данном случае ST.

Мы моделируем скважину, на забое которой задается по периодическому во времени закону изменение дебита и давления. В этом случае в пласте по радиусу от скважины-источника будут распространяться фильтрационные волны давления, затухание амплитуды и скорость распространения которых будут определяться частотой ФВД и гидродинамическими параметрами пласта.

В создании проекта мы решаем 2 задачи:

Прямая - задаем параметры пласта и находим давление в любой точке пласта по радиусу от центра скважины, в том числе и у стенки скважины (на забое).

Обратная - замеряем давление в пласте на забоях существующих скважин и по затуханию амплитуды сигнала давления и по задержке его во времени по известным формулам находим параметры пласта. При реализации созданного проекта взяты параметры реального пласта, рассчитанные по гидродинамическим исследованиям скважины Ромашкинского месторождения (табл.12).

Табл.12. Реальные параметры скважины

T,с	q_0*E6, m^3/c	q_1*E6, m^3/c	q_3*E6, m^3/c	q_5*E6, m^3/c	P_0*E-5,Па	æ/rc², 1/c	ε, м³/Па*с
42	1440,0	1193,4	402	120	51,9	16,675	4,2953E-09

По заданным математическим выражениям (3.1-3.2) моделируем реакцию пласта и скважины на периодическое возмущение в виде расхода.

Для прямой задачи:

$$q(t) = \sum_{n=1}^{\infty} q_n sin\omega_n t \qquad (3.1)$$

$$P(r_c,t)=\sum_{n=1}^{\infty}\frac{q_n}{4\pi\varepsilon}\frac{1}{cos\alpha_n}\ln\left(\frac{1.26æ}{\omega_n r_c^2}\right)\cos\left(\omega_n t-\operatorname{arctg}\frac{\pi}{2\ln\left(\frac{1.26æ}{\omega_n r_c^2}\right)}\right) \quad (3.2)$$

Для обратной задачи:

$$\frac{æ}{r_c^2}=\frac{\omega_n}{1.26}e^{\frac{\pi}{2tg\alpha_n}} \quad (3.3)$$

$$\varepsilon=\frac{kh}{\mu}=\frac{q_n}{8P_{cn|sin\alpha_n|}} \quad (3.4)$$

Для проверки параметров выводим значения дебита и давления на модули. Код программы представлен в приложении № 1. Визуально реализация программы представлена на (рис.17-18).

В первом случае граничные условия дебита скважины заданы в виде первой гармоники, периодическое изменение дебита скважины происходит по гармоническому закону.

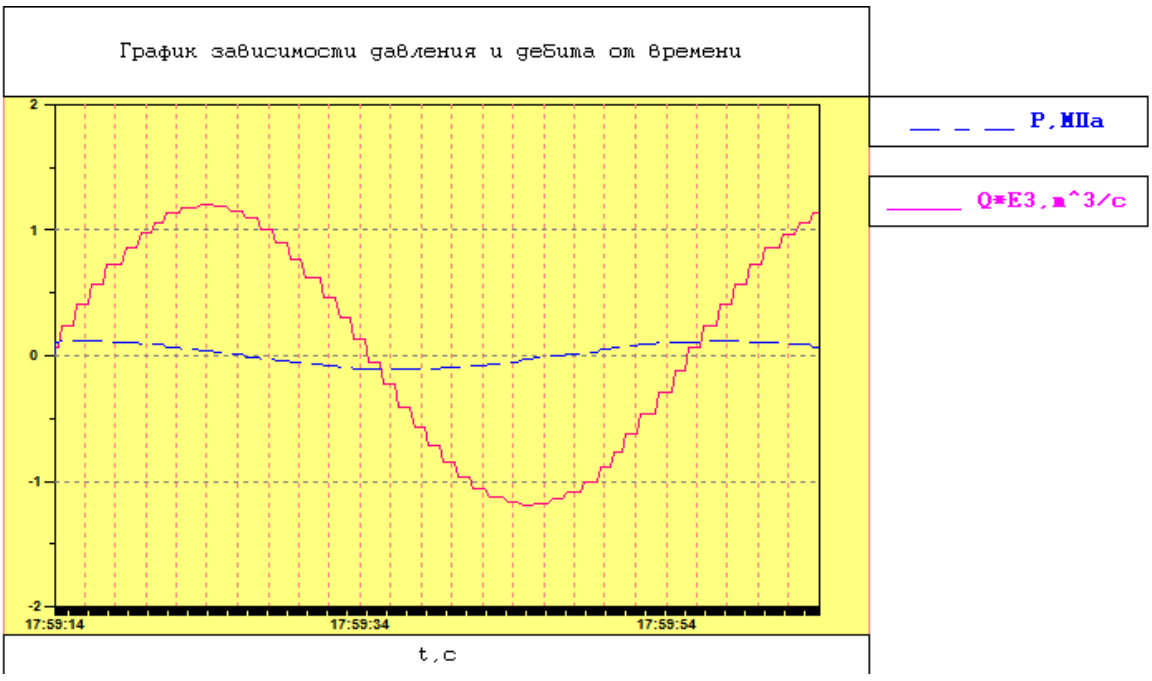

Рис.17. График зависимости дебита и давления от времени для 1 гармоники.

Во втором случае граничные условия дебита скважины заданы в виде суммы первой, третей и пятой гармоник. В этом случае будет реализовано

периодическое возмущение колебаний близкое по форме к ступенчатой функции.

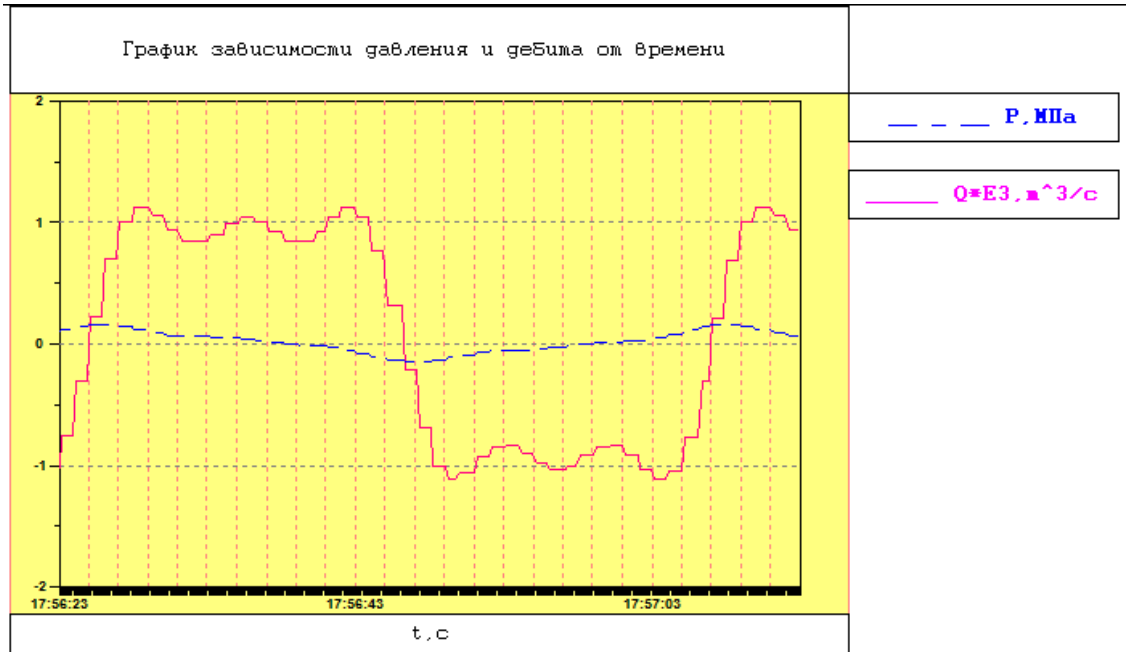

Рис.18. График зависимости давления и дебита от времени для 1,3,5 гармоник.

Для моделирования работы скважины в области аппаратной части проекта для вывода сигнала аналога дебита на модули АЦП и ЦАП была собрана электрическая принципиальная схема (рис.19). Она состоит из:

1. Контроллера промышленного универсального CPM902 серии Fastwel I/O;
2. Набора модулей Fastwel I/O для ввода/вывода дискретных и аналоговых сигналов;
    - Модуль аналогового ввода постоянного тока *Модуль AIM722;*
    - Модуль аналогового вывода постоянного тока *Модуль AIM730;*
    - Модуль ввода питания *Модуль OM751;*
    - Модуль для расширения шины FBUS *Модуль OM796;*
    - Оконечный модуль – заглушка шины FBUS *Модуль OM750;*
3. Cinterion TC65- четырехдиапазонного GSM/GPRS-терминала для беспроводной передачи данных;
4. Источника питания AC/DC 60 Вт (DNR60US24) для питания оборудования комплекса.

Контроллер промышленный универсальный CPM902 серии Fastwel I/O является основным узлом аппаратного блока. Это компактное вычислительное устройство с интерфейсом скоростной шины FBUS, через который осуществляется взаимодействие с модулями Fastwel I/O для ввода/вывода дискретных и аналоговых сигналов.

Для питания контроллера CPM902 используется напряжение +24 VDC от одного из источников типа DNR60US24.

Модули ввода-вывода и вспомогательные модули системы Fastwel I/O механически соеденены в единую конструкцию через пазы на корпусе каждого модуля . Данный набор модулей Fastwel I/O был определен исходя из того, что типовые стандартизованные выходные сигналы датчиков дебита и давления есть ток, напряжение и частота. Питание входных и выходных цепей модулей дискретного и аналогового ввода-вывода напряжением +24 VDC осуществляется от источников DNR60US24.

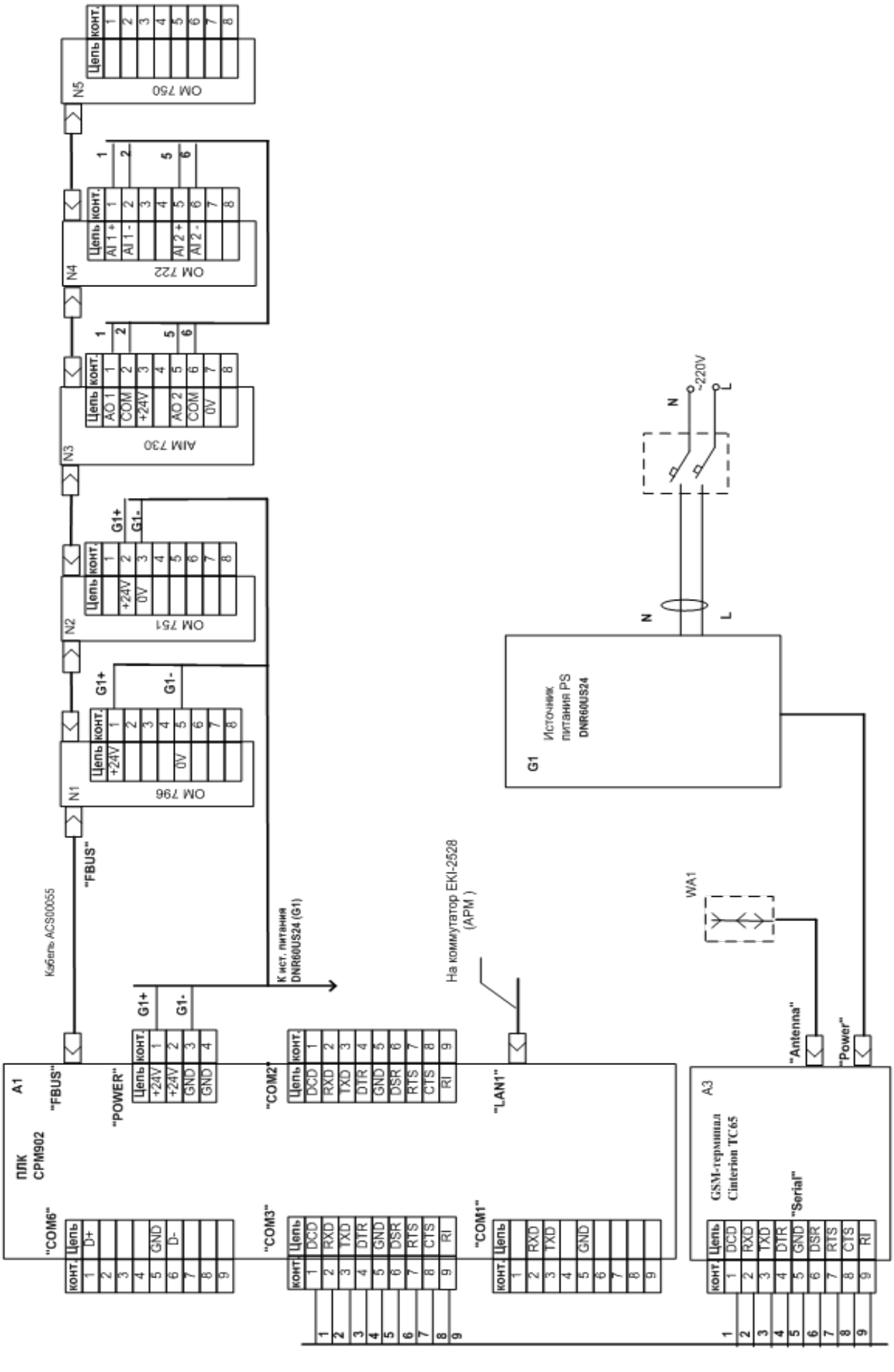

Рис.19. Электрическая принципиальная схема.

Заключение

В адаптированной среде разработки Fastwel IO CoDeSys мной созданы и спроектированы конфигурации контроллера CPM902, которые включают в себя перечень описания модулей ввода-вывода. Описаны информационные связи между разрабатываемой прикладной программой и каналами модулей ввода-вывода, отлажена разработанная прикладная программа в режиме эмуляции и загружена в контроллер.

Цель работы достигнута. Задачи, поставленные в начале работы, выполнены.

- Изучение комплекса CoDeSys;
- Изучение языка ST стандарта МЭК 61131-3;
- Сборка электрической схемы;
- Написание кода программы;
- Создание и проектирование конфигураций аппаратных средств;
- Визуализация программы

На основании выполненных задач можно утверждать, что с помощью среды разработки Fastwel IO CoDeSys можно создавать в лабораторных условиях прототипы систем автоматизации различных технологических объектов нефтедобычи.

Список литературы:

[1] ЗАО «НПФ «ДОЛОМАНТ». Контроллер промышленный универсальный СРМ902.Система исполнения прикладных программ CoDeSys/ Руководство программиста Версия 2.0 - 175 с.

[2] Знакомство с Windows 7// URL: http://windows.microsoft.com/ru-RU/windows7/get-know-windows-7.

[3] Зозуля Ю. Windows 7 на 100%. – С.-П: Питер, 2011 -432 с.: ил. ISBN 978-5-49807-567-9;

[4] Локотков А. Fastwel I/O изнутри// Современные технологии автоматизации -№2007 — № 1 — с. 58-64.

[5] Локотков А. Fastwel I/O изнутри// Современные технологии автоматизации -№2007 — № 2 — с. 80-92

[6] Локотков А. Fastwel I/O изнутри// Современные технологии автоматизации -№2007 — № 3 -с. 68-74

[7] Павлов С., Белевский П. Введение в Windows Embedded CE 6. Версия R2. - ДМК,2009 - 245 с. ISBN: 978-5-94074-580-8

[8] Распространение_Linux//URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Распространение_Linux

[9] Руководство пользователя по программированию ПЛК в CoDeSys 2.3. - ПК Пролог, 2008 -452 с.

[10] Швецов Д. Новые технологии работы с данными OPC// Современные технологии автоматизации -№2007 — № 1 -с. 66-69

[11] Щелкачев В.Н. Разработка нефтеводоносных пластов при упругом режиме / В.Н. Щелкачев. – М.: Гостоптехиздат, 1959. – 467с.

[12] Тихонов А.И. Уравнения математической физики / А.И. Тихонов, А.А. Самарский. – М.-Л.: ГИТТЛ, 1973. – 736с.

[13] Лыков А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков – М.: Высшая школа, 1967.- 600с

[14] Овчинников М.Н. Интерпретация результатов исследований пластов методом фильтрационных волн давления / М.Н. Овчинников – Казань: ЗАО «Новое знание», 2003. – 84с.

[15] Щелкачев В.Н. Разработка нефтеводоносных пластов при упругом режиме / В.Н. Щелкачев. – М.: Гостоптехиздат, 1959. – 467с.

[16] Одиванов В.Л. Способы и средства контроля гидродинамических параметров нефтеводонасыщенных пластов с использованием фильтрационных волн давления. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н., КГТУ им.А.Н.Туполева, 2011.

[17] Овчинников М.Н., Куштанова Г.Г., Гаврилов А.Г. Средства контроля гидродинамических потоков в сважинных условиях и расчеты фильтрационных параметров пластов. Учебное пособие – Казань: Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2012. – 130с

[18] Руководство пользователя по программированию ПЛК в CoDeSys 2.3. - ПК Пролог, 2008 -452 с.

Приложение №1

Раздел объявлений

```
PROGRAM PLC_PRG
VAR
                (*Текущее время в секундах*)
TD: REAL;
                (*Дебит м^3/с *)
q: REAL ;
                (*Период, с*)
T: REAL:=42;
                (*дебит 1,3,5 гармоник*)
q1: REAL:=1193E-6; q3: REAL := 397.6E-6 ; q5: REAL := 238.6E-6;
                (*давление,Па*)
p: REAL  ;
                (*Гидропроводность, м³/Па*с*)
E: REAL := 4.2953E-09;
                (*Пьезопроводность деленая на раст.в кв.,1/с*)
y: REAL := 16.6748;
                (*Связь с модулями АЦП и ЦАП*)
C2: WORD; N2: REAL; I2: REAL; X2: DWORD;
L2: WORD; D2: REAL; F2: REAL; Z2: DWORD;
                (*уравнение давления записанное по частям для первой гармоники*)
A1: REAL; B1: REAL; C1: REAL;D1: REAL;
                (*уравнение давления записанное по частям для третей гармоники*)
A3: REAL; C3: REAL; B3: REAL;D3: REAL;
                (*уравнение давления записанное по частям для пятой гармоники*)
A5: REAL; C5: REAL; B5: REAL;D5: REAL;
                (*переводим дебит *)
qv: REAL;
                (*значение альфа*)
o1: REAL;o3: REAL;o5: REAL;
                (*переводим давление в МРа*)
W: REAL;
                (*обратная формула для пьезопроводности*)
L: REAL;
                (*обратная формула для гидропроводности*)
U: REAL;

END_VAR
```

```
VAR CONSTANT
        pi: REAL := 3.14;
END_VAR
```

Код программы

```
(*Вычисляем текущее время в секундах от включения контроллера*)
TD:=TIME_TO_REAL(TIME()/1000);

(*Прямая задача*)
(*Вычисляем значение дебита в м^3/с для 1,3,5 гармоник *)
q:=q1*SIN(2*pi*TD/T)+q3*SIN(3*2*pi*TD/T)+q5*SIN(5*2*pi*TD/T);
(*Переводим дебит в  *)
qv:=q*1E3;

(*Вычисляем значение давления в МРа для 1 гармоники*)
          A1:=q1/(4*pi*E);
          C1:=(((1.26*T)/(2*pi))*y);
(*Вычисляем  угол a*)
      o1:=ATAN(pi/(2*LN(C1)));
    B1:=1/COS(o1);
          D1:=COS((2*pi*TD/T)-o1);
```

```
(*Вычисляем значение давления в МРа для 3 гармоники*)
          A3:=q3/(4*pi*E);
          C3:=(((1.26*T)/(3*2*pi))*y);
                    o3:=ATAN(pi/(2*LN(C3)));
               B3:=1/COS(o1);
               D3:=COS((3*2*pi*TD/T)-o1);
(*Вычисляем значение давления в МРа для 5 гармоники*)
               A5:=q5/(4*pi*E);
               C5:=(((1.26*T)/(5*2*pi))*y);
                    o5:=ATAN(pi/(2*LN(C5)));
               B5:=1/COS(o5);
               D5:=COS((5*2*pi*TD/T)-o5);
(*Суммарное значение давления 1,3,5 гармоник в МРа*)
p:=(A1*B1*LN(C1)*D1)+(A3*B3*LN(C3)*D3)+(A5*B5*LN(C5)*D5);
(*Переводим значение давления в МРа*)
W:=p/1E6;

(*Обратная задача. Вычисление гидропроводности,м^3/Па*с *)
U:=q1/(8*A1*B1*LN(C1)*ABS(SIN(o1)));
(*Обратная задача. Вычисление пьезопроводности делен. на раст.в кв,1/с*)
L:=((2*pi)/(1.26*T))*EXP(pi/(2*TAN(o1)));

I2:=q*1E3; (*калибровка*)
C2:=REAL_TO_WORD(I2/0.00030517); (*ЦАП для q*)
N2:=DWORD_TO_REAL(X2)*2.40802793E-006; (*АЦП для q*)

D2:=p*1E3;
L2:=REAL_TO_WORD(D2/0.00030517); (*ЦАП для p*)
F2:=DWORD_TO_REAL(Z2)*2.40802793E-006; (*АЦП для p*)
```