

ООО «МОНИТРОН»

На правах рукописи



Кузнецов Николай Алексеевич

РАЗРАБОТКА ВИДЕОГИДРОСТАТИЧЕСКОГО НИВЕЛИРА
С ИЗМЕРЕНИЕМ ВЫСОТНЫХ И УГЛОВЫХ ПОЛОЖЕНИЙ
КОНТРОЛИРУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

Специальность 1.6.22. Геодезия

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель: доктор технических наук
Буюкян Сурен Петросович

Москва 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ.....	10
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОТНЫХ И УГ- ЛОВЫХ ПОЛОЖЕНИЙ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ И ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ВИДЕОГИДРОСТАТИЧЕСКОГО НИВЕЛИРА	25
2.1 Принцип действия видеогидростатического нивелира.....	25
2.2 Теоретические основы для измерения высотных и угловых положений контролируемых объектов и повышения точности видеогидростатического ниве- лира	27
2.3 Разработка алгоритмов исследования, калибровки и измерения уровня жидкости в сосудах видеогидростатического нивелира	27
2.4 Разработка алгоритмов исследования, калибровки и угловых измерений видеогидростатического нивелира.....	30
3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ АПРОБАЦИЯ ВИДЕОГИДРОСТАТИЧЕСКО- ГО НИВЕЛИРА С ИЗМЕРЕНИЕМ ВЫСОТНЫХ И УГЛОВЫХ ПОЛОЖЕНИЙ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ.....	38
3.1 Экспериментальная апробация видеогидростатического нивелира с из- мерением высотных и угловых положений контролируемых объектов в лабора- торных условиях.....	38
3.2 Экспериментальная апробация видеогидростатического нивелира с из- мерением высотных положений контролируемых объектов в производственных условиях.....	89
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	100
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	102
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	103
ПРИЛОЖЕНИЕ А Выписка из устава ООО «МОНИТРОН».....	112
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Сертификат утверждения типа средства измерения.....	113
ПРИЛОЖЕНИЕ В Сертификат соответствия	114

ПРИЛОЖЕНИЕ Г Декларация о соответствии ЕАС	115
ПРИЛОЖЕНИЕ Д Микроконтроллерная программа видеодатчика видео- гидростатического нивелира	116

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность диссертационной работы. Развитие производства и высотного строительства, освоение природных ресурсов в сейсмоопасных районах и районах вечной мерзлоты, возведение уникальных объектов требуют обеспечения безопасной эксплуатации зданий, сооружений и промышленных объектов. Один из способов обеспечения безопасного функционирования различных объектов – геодезический мониторинг деформаций. Традиционные методы геодезического мониторинга обладают рядом недостатков – разделение контроля высотных деформаций (осадки) и угловых (крен). Деформационный мониторинг, как правило, носит периодический характер. В то же время аварийные ситуации, спровоцированные природными и техногенными факторами, могут возникнуть в интервале, не охваченном наблюдениями за деформациями. Отмеченное делает актуальным разработку универсального средства производства геодезического мониторинга, обеспечивающего одновременное измерение высотного и углового положений контролируемого объекта в непрерывном режиме с автоматизацией процессов измерений и анализа полученных данных для выявления критических деформаций и оперативного реагирования на возникновение аварийной ситуации. Удовлетворяющий вышеперечисленным требованиям прибор может быть создан на основе видеогидростатического нивелира (ВГН), в котором применение метода видеоизмерений позволяет одновременно определять высотные и угловые положения контролируемых объектов и автоматизировать процесс измерений.

Целесообразность исследования. По мере развития промышленности и строительства происходит освоение новых регионов со сложными природными условиями, в частности регионов вечной мерзлоты и повышенной сейсмичности. Здания и сооружения в таких регионах подвержены риску внезапной деформации, что делает целесообразным разработку систем удаленного автоматического круглосуточного мониторинга высотного и углового положения зданий и сооружений.

Степень разработанности темы. Над разработкой методов контроля высотного положения объекта, основанного на измерении уровня жидкости в сосу-

дах работали многие отечественные ученые, в числе которых: Васютинский И.Ю., Уставич Г.А., Мовсесян Р.А., Кавунец Д.Н., Миронович М.Н., Буюкян С.П. и др.

Теория, характерные особенности и области применения гидростатических нивелиров подробно изложены в монографиях д.т.н., профессора, лауреата государственной премии РФ И.Ю. Васютинского^{1, 2}.

Цель и задачи диссертационной работы. Целью является разработка видеогидростатического нивелира, предназначенного для мониторинга в удаленном круглосуточном автоматическом режиме одновременно высотного и углового положения контролируемого объекта в процессе его строительства и эксплуатации.

Задачи, которые было необходимо решить для достижения цели:

- 1 Выполнить анализ методов, используемых для измерения высотного и углового положения контролируемого объекта в процессе его строительства и эксплуатации.
- 2 Обосновать технические требования к ВГН, обусловленные его назначением.
- 3 Разработать функциональную модель и конструкцию ВГН, отвечающие обоснованным техническим требованиям.
- 4 Изготовить опытный образец ВГН.
- 5 Разработать алгоритмы математической обработки результатов измерений, выполненных ВГН.
- 6 Исследовать в лабораторных и производственных условиях опытный образец ВГН с целью оценки его точностных возможностей.

Научная новизна диссертационной работы. Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что разработанная конструкция ВГН отличается использованием нескольких источников света, создающих на поверхности жидкости в сосуде ВГН изображения нескольких визирных целей, что позволяет одновременно определять высотное положение контролируемого объекта по расстоянию между изображениями визирных целей и угловое положение контролируемого объекта по положению общего центра группы визирных целей.

¹ Васютинский И.Ю. Гидростатическое нивелирование. М.: Недра, 1976. 174 с.

² Васютинский И.Ю. Гидронивелирование. М.: Недра, 1983. 180 с.

Теоретическая значимость диссертационной работы. Принципиально новые конструктивные и алгоритмические решения развивают научную основу геодезических методов производства автоматизированного контроля деформаций объектов в процессе их строительства и эксплуатации.

Практическая значимость диссертационной работы. Разработанный прибор предоставляет потребителю возможность получения одним прибором данных как о высотном, так и об угловом положении контролируемого объекта, что повышает производительность и снижает ресурсозатратность деформационного мониторинга.

Востребованность исследования. Востребованность выполненного исследования подтверждается успешным внедрением разработанного ВГН в следующих областях промышленности и строительства:

1 Потенциально опасные здания и сооружения особой важности – плотины гидроэлектростанций Сулакского каскада ГЭС в Дагестане, плотина Саяно-Шушенской ГЭС.

2 Здания и сооружения в зонах повышенной сейсмичности – фундаменты исследовательского ядерного реактора и промышленной гамма-установки в Центре ядерных исследований и технологий в Многонациональном Государстве Боливия.

3 Здания и сооружения в зонах вечной мерзлоты – здание аэровокзала, фундаменты хранилищ нефтепродуктов в г. Норильск.

4 Здания и сооружения в зоне деформации грунтов вследствие строительства перегонных туннелей метро – фундаменты зданий и сооружений в г. Москве, в том числе фундаменты комплекса зданий Российского государственного университета нефти и газа имени И.И. Губкина; фундаменты жилых домов в г. Нижний Новгород.

Методология и методы исследования, примененные в диссертационной работе, состоят в решении упомянутых выше задач с использованием современных компьютерных технологий, обеспечивающих обработку результатов экспериментальных исследований на основе методов математической статистики, в

представлении результатов экспериментальных исследований в графическом виде, в аппроксимации соответствующих зависимостей нелинейными функциями с оценкой погрешности измерений.

Положения и результаты, выносимые на защиту.

1 Выполнен анализ методов и средств деформационного мониторинга, показавший отсутствие общедоступных методов и средств, обеспечивающих одновременное измерение одним устройством высотного и углового положения контролируемого объекта в автоматическом режиме.

2 Обоснованы технические требования к видеогидростатическому нивелиру, обусловленные его назначением, включающие требования к диапазону и допустимой погрешности измерения высотного и углового положения контролируемого объекта, а также к обеспечению непрерывного измерения в автоматическом режиме.

3 Разработаны функциональная модель и конструкция видеогидростатического нивелира, базирующиеся на методе видеоизмерений с цифровой обработкой изображений визирных целей в видеокадре и удовлетворяющие обоснованным техническим требованиям.

4 Изготовлен опытный образец видеогидростатического нивелира, обеспечивающий одновременное измерение высотного и углового положения контролируемого объекта в автоматическом режиме.

5 Разработаны алгоритмы определения углового и высотного положения контролируемого объекта, а также алгоритм определения поправки к высотному положению контролируемого объекта за наклон сосуда с использованием зависимости значений высотного и углового положения контролируемого объекта от координат визирных целей в видеокадре.

6 Выполнены лабораторные и производственные исследования опытного образца ВГН с одновременным измерением высотных и угловых положений контролируемых объектов, доказавшие обеспечение измерения высотного и углового положения контролируемого объекта со средними квадратическими отклонениями (СКО), не превышающими 0.1 мм и 0.15°, соответственно.

Апробация результатов исследований, изложенных в диссертационной работе, состоит в использовании разработанного прибора в производственной деятельности ООО «Монитрон» по автоматизированному круглосуточному удаленному геодезическому мониторингу объектов промышленности и строительства на территории РФ и за рубежом. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались на международной научной конференции «Пространственные данные: наука и технологии», МИИГАиК, Москва, 28-29 мая 2024 г. и неоднократно обсуждались на Научно-техническом совете ООО «Монитрон».

Достоверность результатов исследований подтверждается расчетами с применением теории вероятности и методов статистического анализа, а также сравнением результатов геодезического мониторинга контролируемых объектов, полученных с помощью разработанного прибора, и результатов, полученных с помощью традиционных методов мониторинга.

Объектом исследования в диссертационной работе служат нетрадиционные методы и средства контроля деформаций зданий и сооружений, обеспечивающие одновременный контроль углового и высотного положения контролируемых объектов в автоматизированном круглосуточном удаленном режиме..

Соответствие диссертационной работы Паспорту научной специальности. Результаты исследования соответствуют п. 11 паспорта научной специальности 1.6.22. Геодезия: «Методы, технические средства и технологии геодезического обеспечения строительно-монтажных работ, юстировки и эксплуатации технологического оборудования и других прикладных задач» и п. 12: «Геодезическое обеспечение эксплуатации крупных инженерных комплексов, в том числе гидротехнических сооружений, атомных и тепловых электростанций, промышленных предприятий, линейных сооружений. Геодезический мониторинг устойчивости зданий и сооружений».

Публикации по теме диссертации: соискателем в соавторстве получены пять Патентов РФ на изобретения и опубликованы четыре научные работы в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 118 страницах, включает введение, три раздела основной части, заключение, список сокращений и условных обозначений, список литературы, содержащий 103 наименования, и пять приложений. Диссертация содержит 58 рисунков и 16 таблиц.

Диссертационная работа выполнена в ООО «МОНИТРОН», г.Москва, РФ, одним из видов деятельности которого согласно Уставу является производство инструментов и приборов для измерений [ПРИЛОЖЕНИЕ А].

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для контроля высотного и углового положения контролируемых объектов могут применяться традиционные методы и средства измерения с использованием различных оптических приборов (теодолитов, нивелиров, и др.), для которых характерны следующие особенности:

- 1 Необходима прямая видимость контролируемой точки с места установки прибора.
- 2 Измерения выполняются с непосредственным участием оператора, ошибки которого служат дополнительным источником погрешности измерений.
- 3 Присутствие оператора невозможно в сложных условиях окружающей среды.
- 4 Участие оператора ограничивает быстродействие измерения и длительность периода измерений.
- 5 Для достижения конечного результата решаемой задачи, как правило, требуется дополнительная обработка результатов измерений, что не позволяет обеспечить необходимые быстродействие измерений и выдачу результата в реальном времени.

Для контроля высотного и углового положения контролируемых объектов могут также применяться новейшие геодезические методы с использованием оптоэлектронных приборов и радиочастотных систем (тахеометров, лазерных сканеров, глобальных спутниковых навигационных систем и др.), для которых характерны следующие особенности:

- 1 При использовании оптических приборов необходима прямая видимость контролируемой точки с места установки прибора.
- 2 Измерения выполняются, как правило, без непосредственного участия оператора.
- 3 Непрерывность измерения с требуемых периодом получения данных в течение длительного времени.

4 Изменения с использованием спутниковых навигационных систем невозможны в закрытых (подземных) сооружениях.

Технические требования к прибору, обусловленные его назначением.

Разрабатываемый прибор должен соответствовать следующим требованиям:

1 Одновременно производить измерение высотного и углового положения контролируемых объектов.

2 Диапазон измерения высотного положения и погрешность измерения должны соответствовать значениям диапазона и погрешности современных гидростатический нивелиров (обзор современных гидростатических нивелиров см. ниже), в связи с чем принимается диапазон 100 мм и погрешность измерения не более 0.1мм.

3 Диапазон измерения углового положения определяется потребностью измерять изменения углового положения фундаментов сооружений в зоне вечной мерзлоты, могущие достигать значений в несколько градусов, в связи с чем принимается диапазон измерения углового положения $\pm 5^\circ$ с погрешностью измерения не более 0.15° .

4 Производить измерения автоматически, без участия оператора.

5 Производить измерения дистанционно, передавая результаты измерения по линии связи на удаленное регистрирующее устройство.

6 Производить измерения круглосуточно, за все время существования контролируемого объекта.

7 Производить измерения в условиях окружающей среды не допускающих участия оператора.

8 Производить измерения в составе группы датчиков, распределенных по территории контролируемого объекта вне пределов видимости от регистрирующего устройства.

Функциональная модель прибора

Представляется рациональным использовать в конструкции прибора метод видеоизмерений. Сущность метода видеоизмерений состоит в формировании с помощью видеокамеры телевизионного кадра с изображениями визирных целей, установленных на контролируемых объектах, определении координат изображений визирных целей в телевизионном кадре и получении координат визирных целей и их изменения на объекте. Применительно к датчику ВГН использование метода видеоизмерений выглядит следующим образом:

1 На верхнюю открытую часть сосуда датчика устанавливается блок электроники с несколькими источниками света, создающими на поверхности жидкости изображения визирных целей, также в блоке электроники установлена видеокамера, объектив которой направлен на жидкость в сосуде. При изменении уровня жидкости в сосуде изменяется расстояние между поверхностью жидкости и объективом видеокамеры.

2 Вследствие изменения расстояния от поверхности жидкости до объектива видеокамеры изменяется расстояние между изображениями визирных целей в телевизионном кадре. Микроконтроллер в составе электронного блока определяет координаты центров визирных целей и расстояние между ними.

3 Микроконтроллер по расстоянию между визирными целями вычисляет уровень жидкости в сосуде ВГН, используя коэффициенты функции, аппроксимирующей выходную характеристику датчика. Коэффициенты функции получаются в процессе калибровки датчика.

4 Вычисленное значение уровня жидкости в сосуде ВГН передается по линии связи в регистрирующее устройство.

Конструкция макета прибора

Конструкция макета датчика сформирована с учетом технических требований к датчику и выбранной функциональной моделью датчика.

Датчик ВГН является комбинацией сосуда, связанного гидравлической и воздушной магистралями с другими датчиками ВГН и заполненного жидкостью, и электронного блока, установленного на верхнюю часть сосуда. Электронный блок соединен силовой линией с источником питания и линией данных с регистрирующим устройством – промышленным компьютером, управляющим работой ВГН.

На сосуде находятся элементы крепления датчика к контролируемому объекту и патрубки для подключения гидравлической и воздушной магистралей.

Электронный блок состоит из следующих основных частей:

- 1 Модульной видеокамеры с объективом и светочувствительной матрицей.
- 2 Платы электроники с микроконтроллером и микросхемами выделения из телевизионного сигнала кадрового и строчного синхроимпульсов, а также фиксации координат точек изображения визирных целей.
- 3 Платы вторичных источников питания, снабжающей необходимыми напряжениями видеокамеру и электронные элементы датчика.
- 4 Платы светодиодов, формирующих изображение визирных целей на поверхности жидкости в сосуде.
- 5 Платы коммутации, на которой расположены клеммы для подключения силовой линии и линии данных.

Примеры реализации гидростатических нивелиров.

К наиболее известным ГН с визуальным способом считывания информации относится уровень гидростатический (УГС) модели 114 производства Московского инструментального завода «Калибр» [34], представленный на Рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 УГС модели 114 завода «Калибр», Москва.

УГС модели 114 содержит цилиндрический корпус, снабженный стеклянным окном и перемещаемым с помощью микрометричного винта штоком с коническим концом.

В данном ГН используется ручной съем результатов измерений, ввиду чего ГН присущи недостатки, связанные с непосредственным участием человека в процессе измерений. Измерения выполнялись путем перемещения штока до момента касания его концом поверхности жидкости с последующим снятием отсчета по шкале микрометричного винта.

Основные технические характеристики УГС модели 114:

- 1 Диапазон измерений: (0-50) мм.
- 2 Погрешность измерений ± 0.02 мм.
- 3 Не обладает функцией измерения угла наклона сосуда.

Известны ГН производства фирмы Freiburger Präzisionsmechanik, ФРГ.

В модели FG-PSW2 [35], представленной на Рисунке 1.2, используется ручной съем результатов измерений, ввиду чего ей присущи недостатки, связанные с непосредственным участием человека в процессе измерений.



Рисунок 1.2 ГН модели FG-PSW2

Основные технические характеристики ГН FG-PSW2:

- 1 Диапазон измерения: (0–100) мм.
- 2 Погрешность измерений ± 0.01 мм.
- 3 Не обладает функцией измерения угла наклона сосуда.

Примером современного типа ГН служит FG-ASW 101N [35] производства фирмы Freiburger Präzisionsmechanik (ФРГ), представленный на Рисунке 1.3.



Рисунок 1.3 ГН модели FG-ASW 101N

Измерения выполняются дистанционным, бесконтактным, автоматизированным способами.

Основные технические характеристики ГН ASW 101N:

- 1 Диапазон измерений: (0–100) мм.
- 2 Погрешность измерений с поправкой на температуру: ± 0.02 мм.
- 3 Не обладает функцией измерения угла наклона сосуда.

К числу современных также относится ГН модели HSSG-D01[36] производства научно-технического предприятия «ГОРИЗОНТ», РФ, г.Москва. В модели,

представленной на Рисунке 1.4, измерения производятся дистанционным, бесконтактным, автоматизированным способами с помощью емкостных датчиков.



Рисунок 1.4 ГН модели HSSG-D01

Основные технические характеристики HSSG-D01:

- 1 Диапазон измерений: (0–100) мм.
- 2 Предел допускаемой основной погрешности измерений.
 $\pm (0.001 * |L| + 1)$ мм, где L – измеряемая величина.
- 3 Не обладает функцией измерения угла наклона сосуда.

Известен ГН модели NIVOLIC SG [37-41] производства фирмы «ROCTEST», Канада (Рисунок 1.5), содержащий ряд сосудов (Рисунок 1.6), соединенных между собой гидравлической и воздушной магистралями. ГН предна-

значен для высокоточного измерения относительных смещений узлов контролируемых объектов.

В каждый сосуд помещен поплавок, подвешенный к струне датчика, измеряющего резонансную частоту струны. При изменении уровня жидкости в сосуде изменяется подъемная сила поплавка, при этом меняется натяжение струны, что ведет к изменению ее резонансной частоты.

В состав сосуда входит термистор, предназначенный для измерения температуры жидкости в сосуде.

Основные технические характеристики ГН NIVOLIC SG:

- 1 Диапазон измерений: 100, 150, 300, 450, 600 мм.
- 2 Предел допускаемой основной погрешности значения уровня ± 0.1 %.
- 3 Разрешение значения уровня ± 0.02 %.
- 4 Разрешение температуры 0.1 °С.
- 5 Вес поплавка 28 кг.
- 6 Не обладает функцией измерения угла наклона сосуда.



Рисунок 1.5 ГН модели NIVOLIC SG



Рисунок 1.6 Сосуд ГН модели NIVOLIC SG, на переднем плане изображен поплавок, помещаемый в жидкость

В производственных программах крупных иностранных производителей геодезических инструментов [43–49] ГН не обнаружены.

К числу современных также относится ВГН, разработанный и производимый в ООО «МОНИТРОН», РФ, г.Москва, в котором уровень жидкости измеряется посредством компьютерной обработки изображений визирных целей (ВЦ) в телевизионном видеокадре (ТВК) видеосигнала (ВС), формируемого видеокамерой (ВК), входящей в состав видеодатчика (ВД).

Модель ВГН ДГЦ-19 [42] представлена на Рисунке 1.7.



Рисунок 1.7 ВГН модели ДГЦ-19

На технические решения по совершенствованию ВГН модели ДГЦ-19 получены девять патентов РФ на изобретения [67–75], включая 5 патентов с участием автора [69,71,72,74,75].

В патенте № RU 2 693 007 [69] «Способ измерения уровня жидкости в гидростатическом нивелире» описывается способ измерения уровня, основанный на компьютерной обработке изображений ВЦ в ТВК, отличающийся тем, что с целью повышения точности измерения уровня жидкости при наклоне сосуда ВГН уровень жидкости вычисляется с учетом наклона сосуда по формуле

$$h = \frac{\sqrt{C^2 - L^2 R_{ВД}^2}}{R}, \text{ мм} \quad (1.1)$$

где h - измеренный уровень жидкости, мм;

C - константа, определяемая на основе калибровочных испытаний, мм*пиксель;

L - смещение центра вероятнейшей окружности, на которой располагаются изображения ВЦ в ТВК от положения при вертикальном положении сосуда НГ, пиксель;

$R_{вд}$ - радиус окружности, на которой установлены ВЦ в ВД, мм;

R - радиус вероятнейшей окружности, на которой располагаются изображения ВЦ в ТВК, пиксель.

В патенте [71] № RU 2 689 282: «Видеодатчик гидростатического нивелира» предлагается ВЦ размещать симметрично вокруг объектива видеокамеры на отрезках линий, параллельных координатной оси X ТВК, а расстояния между ВЦ в ВД устанавливать по формату ТВК. Измерение уровня жидкости в сосуде ВГН предлагается осуществлять на основе только Y - координат центров изображений ВЦ в ТВК, что существенно упрощает схему видеопроцессора.

В патенте [72] № RU 2 691 160: «Видеодатчик видеоизмерительной системы» предлагается оснастить ВД электронным узлом для выделения координат точек изображения, а также микроконтроллером (МК) для формирования массива цифровых данных, передаваемых по линии связи в промышленный компьютер (ПК).

В патенте [74] № RU 2 748 721: «Датчик гидростатического нивелира с расширенным диапазоном работы» предлагается с целью расширения рабочего диапазона температуры оснастить ВД системой терморегулирования, обеспечивающей работу в диапазоне от -60°C до 50°C .

В патенте [75] № RU 2 809 208: «Способ расширения функциональности и повышения точности видеогидростатического нивелира» предлагается наряду с уровнем жидкости также измерять угол наклона сосуда ВГН – угол наклоны контролируемого узла сооружения, являющийся не менее важным фактором деформационного состояния сооружения. В свою очередь, знание угла наклона сосуда позволяет вводить поправки в измеряемый уровень жидкости, что существенно повышает точность ВГН.

Измерение угла наклона сосуда выполняется на основе калибровочных измерений, выполняемых на специальном стенде в направлениях координатных осей X,Y ТВК в следующей последовательности:

1 При изменении углов наклона сосуда определяется положение общего центра изображения ВЦ в ТВК и значение уровня жидкости в сосуде.

2 На основе результатов измерений определяются вид аппроксимирующей функции и значения ее коэффициентов.

Для измерения уровня жидкости и наклона сосуда ВГН выполняется следующее:

1 Определяются текущие (на момент измерений) X,Y-координаты общего центра изображений ВЦ в ТВК.

2 Определяется уровень жидкости в сосуде без поправок.

3 По X,Y-координатам общего центра изображений ВЦ в ТВК определяются проекции угла наклона сосуда в направлениях координатных осей ТВК.

4 На основе проекций углов наклона сосуда в направлениях координатных осей ТВК вычисляется полный угол наклона сосуда.

5 Исходя из X,Y-координат общего центра изображений ВЦ в ТВК с использованием аппроксимирующих функций определяются поправки к измеренному уровню жидкости в сосуде в направлениях координатных осей X,Y ТВК.

Выводы по разделу 1

Проведен анализ характеристик существующих моделей ГН отечественного и зарубежного производства.

Характерной особенностью современных ГН является широкое использование средств вычислительной техники и компьютерных технологий как в конструкции датчиков ГН, так и в процессе измерения и обработки результатов измерений.

Наличие программного обеспечения – программ МК ВД ГН и программ ПК позволяет автоматизировать процессы управления измерениями, архивирования

данных измерений, формирование сообщений о превышении измеряемыми перемещениями допустимых значений, а также формирование отчетов о результатах измерений.

Следует отметить, что существующие ГН не позволяют одновременно определять высотное и угловое положение контролируемых объектов, что требует увеличения количества измерительных приборов на объекте контроля, а также не корректируют значение высотного положения за счет поправки за угол наклона сосуда датчика ГН.

На основе проведенного анализа определены следующие направления исследований:

- 1 Разработка методик, алгоритмов и на их основе программы МК ВД ГН одновременного определения высотного и углового положения контролируемых объектов.

- 2 Разработка методик, алгоритмов и на их основе программы МК ВД ГН корректировки значения высотного положения контролируемых объектов за счет поправки за угол наклона сосуда датчика ГН.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОТНЫХ И УГЛОВЫХ ПОЛОЖЕНИЙ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ И ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ВИДЕОГИДРОСТАТИЧЕСКОГО НИВЕЛИРА

2.1 Принцип действия видеогидростатического нивелира

К числу современных ГН, отвечающих требованию автоматизации измерений, относится ВГН, в котором уровень жидкости измеряется компьютерной обработкой изображений визирных целей ВЦ в ТВК, формируемого видеокамерой, являющейся составной частью ВД.

На Рисунке 2.1 приведена схема ВГН.

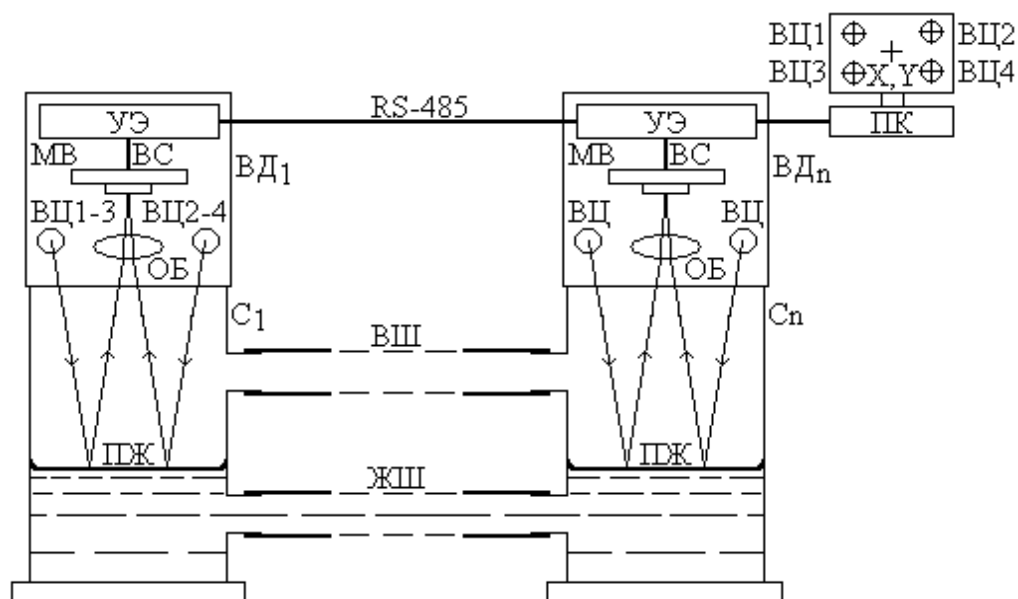


Рисунок 2.1 - Схема ВГН

ВГН содержит: систему сообщающихся сосудов с жидкостью C_1 - C_n с установленными на них $ВД_1$ - $ВД_n$ и соединенные между собой воздушным ВШ и жидкостным ЖШ шлангами. ВД посредством линии связи RS-485, последовательно соединены друг с другом и с промышленным компьютером ПК, на мониторе ко-

торого наблюдаются изображения ВЦ1-ВЦ4 в ТВК с координатами X,Y общего центра изображений.

Изображения ВЦ, отраженные от поверхности жидкости ПЖ, объективом ОБ проецируются на координатно-чувствительный матричный фотоприемник [80-90] модуля видеокамеры МВ, формирующей видеосигнал ВС, содержащий эти изображения в ТВК, передаваемые в узел электроники УЭ, в котором определяются координаты контурных точек изображений ВЦ в ТВК, передаваемые по запросу в ПК.

Вышеописанная схема реализована в ВГН модели ДГЦ-19 производства ООО «МОНИТРОН», РФ, г.Москва. На Рисунке 2.2 представлен внешний вид сосуда ВГН модели ДГЦ-19 [42] с установленным на нем ВД.

На технические решения, реализованные в ВГН модели ДГЦ-19, получены девять патентов РФ на изобретения [67-75], включая 5 патентов с участием автора [69,71,72,74,75].



Рисунок 2.2 ВГН модели ДГЦ-19

Основные технические характеристики модели ДГЦ-19 производства ООО «МОНИТРОН»:

- диапазон измерений: (0-100)мм.
- погрешность измерений уровня жидкости в сосуде ± 0.1 мм.

2.2 Теоретические основы для измерения высотных и угловых положений контролируемых объектов и повышения точности ВГН

В соответствии со схемой, представленной на Рисунке 2.1, теоретически обосновывается возможность, наряду с измерением уровня жидкости, также измерять угол наклона сосуда ВГН - угол наклона здания или сооружения, на котором крепится сосуд с ВД. Возможность состоит в том, что при наклоне сосуда, ввиду того, что уровень жидкости неизменно устанавливается горизонтально, общий центр изображений ВЦ в ТВК смещается - меняются координаты общего центра X,Y в ТВК в строгой зависимости от угла наклона сосуда.

Из представленной схемы также следует, что ход световых лучей, проецируемых объективом ОБ на координатно-чувствительный матричный фотоприемник, меняется в зависимости от угла наклона сосуда, что служит источником погрешности измерений уровня жидкости, ввиду изменения масштаба изображений ВЦ в ТВК.

Знание угла наклона сосуда создает возможность для внесения поправок в измеряемый уровень жидкости за угол наклона сосуда, тем самым повышая точность ВГН.

2.3 Разработка алгоритмов исследования, калибровки и измерения уровня жидкости видеодатчика видеогидростатического нивелира

Автором разработаны алгоритмы исследования, калибровки и измерения уровня жидкости ВД ВГН, на основе которых разработаны микроконтроллерная и специальная прикладная компьютерная программы.

Блок-схема алгоритма вычисления коэффициентов аппроксимирующего полинома для измерения уровня жидкости в сосуде ВГН приведена на Рисунке 2.3.

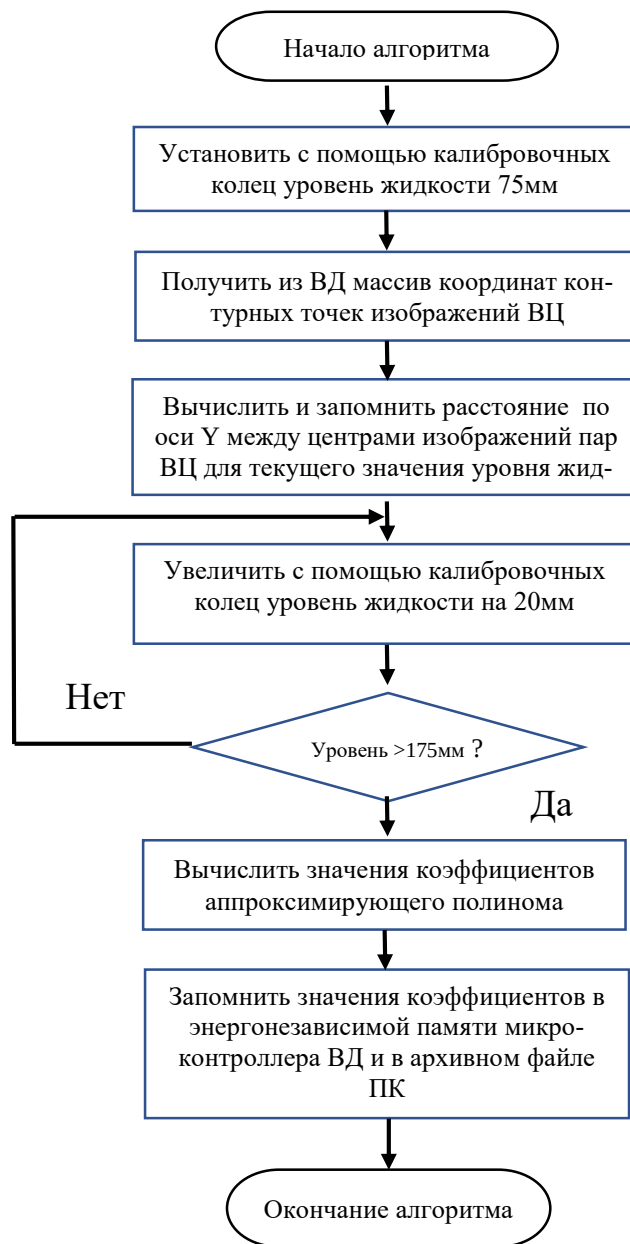


Рисунок 2.3 Блок-схема алгоритма вычисления коэффициентов аппроксимирующего полинома для измерения уровня жидкости в сосуде ВГН

Методика измерений состояла в следующем:

1 С помощью калибровочных колец, устанавливаемых между ВД и сосудом, с шагом порядка 20мм задавался уровень жидкости в диапазоне (75–175)мм, что соответствует диапазону шкалы датчика (0–100)мм.

2 Для каждого уровня жидкости определялись Y-координаты пар визирных целей ВЦ1–ВЦ2 и ВЦ3–ВЦ4 и расстояние между ними.

3 Полученный массив цифровых данных обрабатывался в специальной прикладной компьютерной программе, разработанной автором, с целью определения вида аппроксимирующей функции, исходя из требуемой погрешности измерения не более ± 0.1 мм.

4 Значения коэффициентов аппроксимирующей функции запоминались в качестве констант для последующих измерений.

Значения коэффициентов аппроксимирующего полинома записываются в электрически перезаписываемую память (EEPROM) МК и сохраняются в ней при выключении питания ВД. Блок-схема алгоритма вычисления уровня жидкости в сосуде ВГН с использованием аппроксимирующей функции приведена на рисунке 2.4.

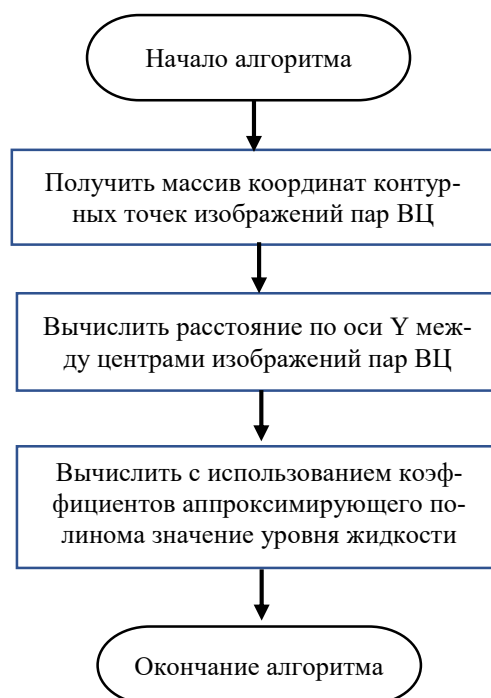


Рисунок 2.4 Блок-схема алгоритма вычисления уровня жидкости

2.4 Разработка алгоритмов исследования, калибровки и угловых измерений видеодатчика видеогидростатического нивелира

Автором разработаны алгоритмы исследования, калибровки и измерения угла наклона сосуда видеодатчика ВГН, на основе которых разработаны микроконтроллерная и специальная прикладная компьютерная программы.

Методика измерений состояла в следующем:

1 С помощью калибровочных колец, устанавливаемых между ВД и сосудом, с шагом порядка 20мм задавался уровень жидкости в диапазоне (85–165) мм.

2 Для каждого уровня жидкости в диапазоне углов наклона сосуда ВГН $\pm 5^\circ$ с шагом порядка 1° определялись X,Y-координаты общего центра изображений ВЦ1–ВЦ4 в ТВК с записью задаваемых параметров и результатов измерений в архивном файле ПК.

3 Полученный массив цифровых данных обрабатывался с помощью компьютерной программе Microsoft Excel, в которой определялся вид аппроксимирующей функции и значения ее коэффициентов, исходя из требуемой погрешности измерения углов не более $\pm 0.15^\circ$.

4 Значения коэффициентов аппроксимирующей функции запоминались в качестве констант для последующих измерений.

Значения вычисленных коэффициентов аппроксимирующего полинома записываются в электрически перезаписываемую память (EEPROM) МК и сохраняются в ней при выключении питания ВД.

Блок-схема алгоритма определения координат общего центра изображений ВЦ в ТВК в зависимости от угла наклона сосуда приведена на Рисунке 2.5.

На основе созданных программ выполнены исследования зависимости координат общего центра изображений ВЦ1–ВЦ4 от угла наклона сосуда ВГН в направлениях координатных осей X,Y ТВК.

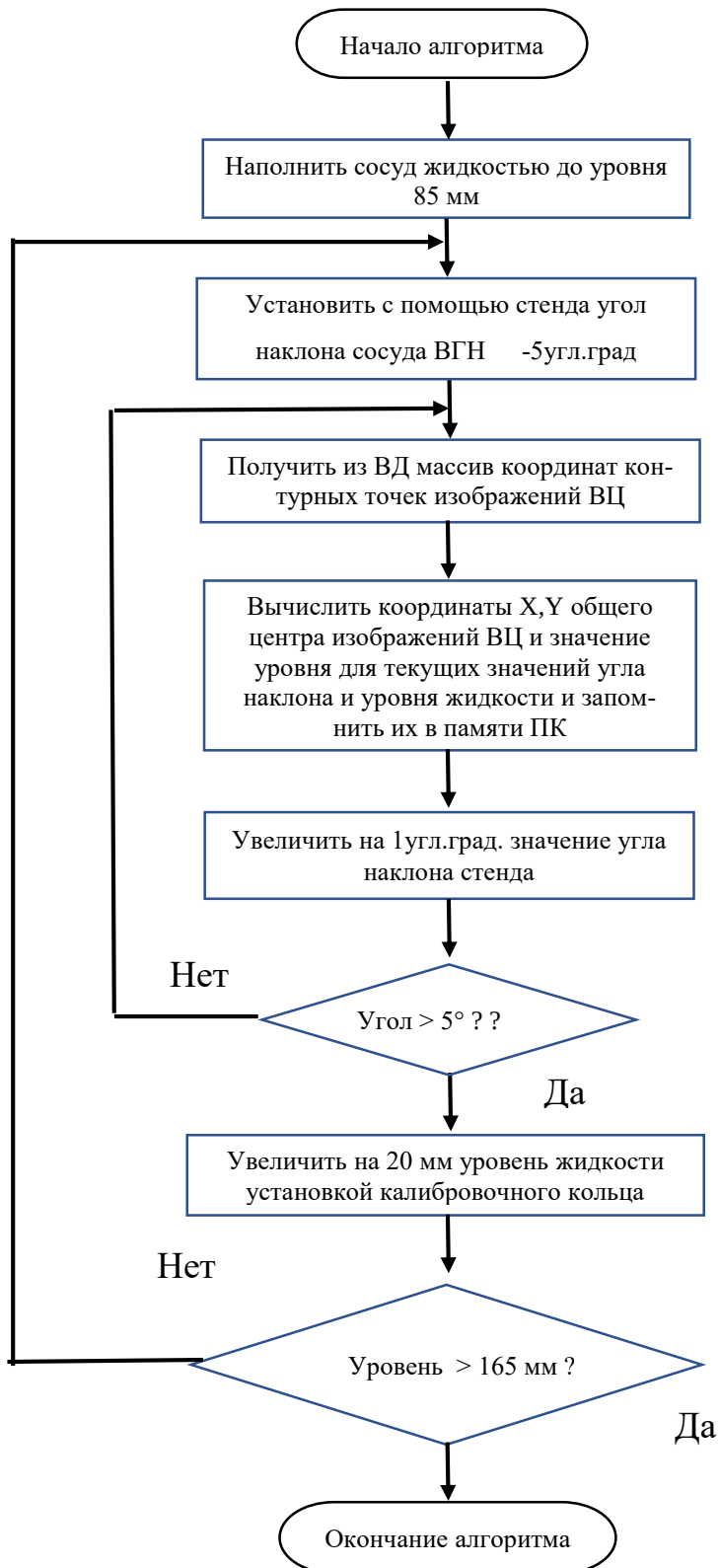


Рисунок 2.5 Блок-схема алгоритма компьютерной программы для исследования зависимости положения общего центра изображений ВЦ в ТВК от угла наклона сосуда ВГН при различных уровнях жидкости в сосуде

Результаты исследований зависимости координаты X общего центра изображений ВЦ1–ВЦ4 от угла наклона сосуда в направлении координатной оси X ТВК

представлена в Таблице 2.1.

Таблица 2.1

Зависимость координаты X общего центра изображений ВЦ1–ВЦ4 от угла наклона сосуда в направлении координатной оси X ТВК

Угол наклона, угл.град	Координата X общего центра изображений ВЦ1–ВЦ4				
	Уровень 85мм	Уровень 105мм	Уровень 125мм	Уровень 145мм	Уровень 165мм
-5,00	839,13	851,62	856,42	859,1	860,02
-4,00	794,77	806,31	810,07	818,67	814,72
-3,00	750,52	759,03	767,32	767,52	767,81
-2,00	703,34	713,56	717,89	722,65	722,36
-1,00	659,63	671,54	669,78	674,08	674,53
0,00	615,28	618,32	623,26	627,17	627,23
1,00	567,26	572,83	575,66	579,99	580,19
2,00	522,02	525,09	529,93	537,34	539,41
3,00	480,21	480,78	484,01	488,54	488,05
4,00	435,13	435,54	438,73	440,47	440,47
5,00	392,99	391,16	393,30	393,76	394,78

Зависимость координаты X общего центра изображений ВЦ1–ВЦ4 от угла наклона сосуда в направлении координатной оси X ТВК для уровня жидкости 115 мм в графическом виде приведена на Рисунке 2.6.

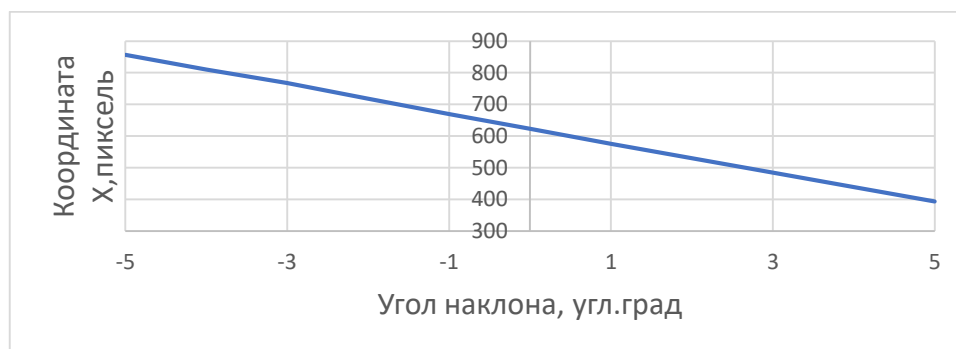


Рисунок 2.6 Зависимость координаты X общего центра изображений ВЦ1–ВЦ4 от угла наклона сосуда ВГН для уровня жидкости 115 мм

Зависимость координаты Y общего центра изображений ВЦ1–ВЦ4 в ТВК от угла наклона сосуда в направлении координатной оси Y ТВК для различных уровней жидкости приведена в Таблице 2.2.

Таблица 2.2

Зависимость координаты Y общего центра изображений ВЦ1–ВЦ4 от угла наклона сосуда в направлении координатной оси Y ТВК

Угол наклона, угл.град	Координата Y общего центра изображений ВЦ1–ВЦ4				
	Уровень 85мм	Уровень 105мм	Уровень 125мм	Уровень 145мм	Уровень 165мм
-5,00	1391,83	1394,94	1411,84	1415,54	1416,66
-4,00	1294,54	1296,64	1309,13	1312,33	1313,03
-3,00	1194,92	1196,68	1207,06	1208,98	1209,18
-2,00	1094,25	1095,31	1099,12	1105,69	1104,45
-1,00	995,22	994,57	991,81	1002,07	1000,03
0,00	894,85	892,23	896,48	897,11	895,86
1,00	793,17	789,33	792,82	793,57	790,88
2,00	691,28	686,96	688,18	689,74	687,31
3,00	590,95	584,05	584,46	583,77	588,66
4,00	490,53	482,45	480,45	478,85	478,73
5,00	423,28	380,47	377,47	375,05	373,17

Зависимость координаты Y общего центра изображений ВЦ1–ВЦ4 от угла наклона сосуда в направлении координатной оси X ТВК для уровня жидкости 115 мм в графическом виде приведена на Рисунке 2.7.

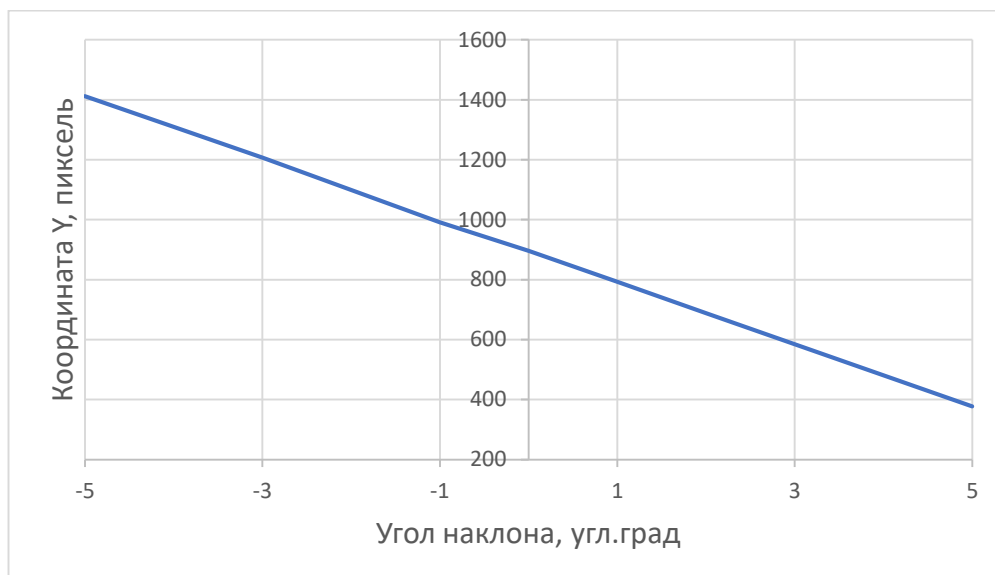


Рисунок 2.7 Зависимость координаты Y общего центра изображений ВЦ1–ВЦ4 от угла наклона сосуда ВГН для уровня жидкости 115 мм

Блок-схема алгоритма вычисления коэффициентов аппроксимирующей функции приведена на Рисунке 2.8.

Результаты исследований показали, что выбор аппроксимирующей функции в виде полинома первой степени (линейной функцией) обеспечивает вычисление угла наклона сосуда в пределах $\pm 5^\circ$ с погрешностью не более $\pm 0.15^\circ$.

Анализ результатов экспериментальных исследований, представленных в Таблицах 3.2 и 3.3, показал, что погрешность измерения угла наклона находится в пределах $\pm 0.15^\circ$ при выборе в качестве аппроксимирующей функции полинома первой степени.

В общем случае угол наклона сосуда ВГН при наклоне сосуда в направлении X вычислялся по формуле, угл.град.:

$$UX_i = A_i * X_i + B_i, \quad (2.1)$$

где i – индекс ряда уровней (85,105,125,145,165) жидкости в сосуде;

A_i – коэффициент аппроксимирующего полинома, угл.град/пиксель;

B_i – коэффициент аппроксимирующего полинома, угл.град;

X_i – координата общего центра изображений ВЦ1–ВЦ4 в ТВК, пиксель.

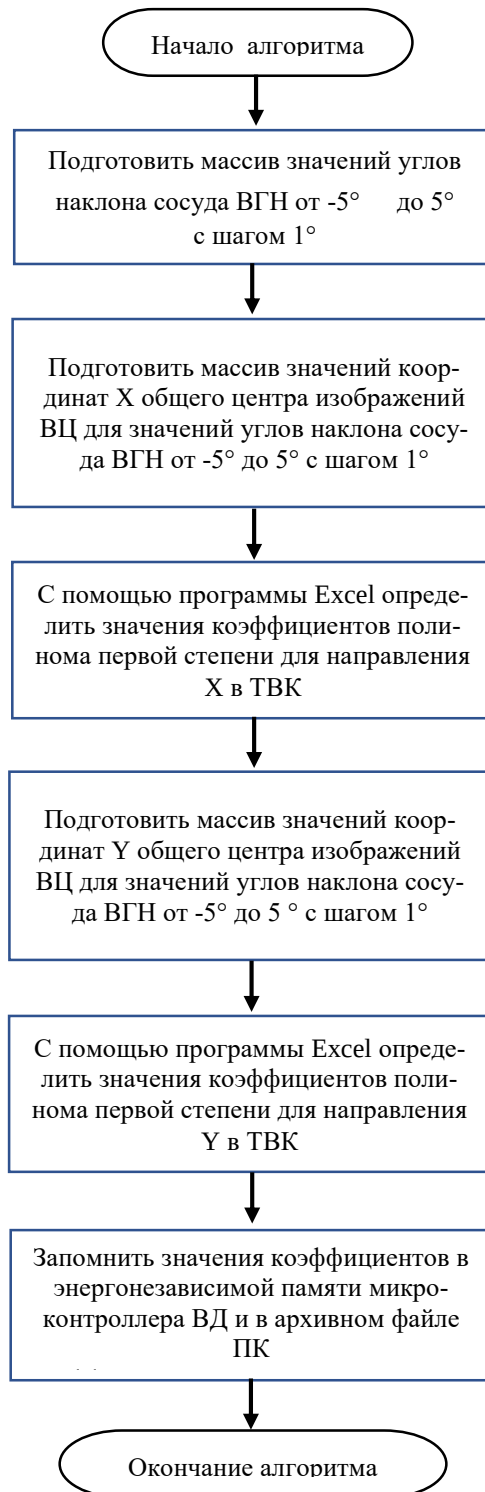


Рисунок 2.8 Блок-схема алгоритма вычисления коэффициентов аппроксимирующей функции для измерения угла наклона сосуда ВГН

Аналогичным способом вычисляется значение угла наклона сосуда в направлении координатной оси Y.

Коэффициенты полиномов первой степени для аппроксимации зависимости угла наклона сосуда от координаты X,Y общего центра изображений ВЦ в ТВК для уровней жидкости (85,105,125,145,165) мм, полученные при калибровке приведены в Таблице 2.3.

Таблица 2.3

Коэффициенты полиномов первой степени для аппроксимации зависимости угла наклона сосуда от координаты X,Y общего центра изображений ВЦ в ТВК для уровней жидкости (85,105,125,145,165) мм.

Высота мм	Координата X		Координата Y	
	A	B	A	B
85,00	-0,0099	8,8673	-0,0223	13,696
105,00	-0,0098	8,7526	-0,0216	13,393
125,00	-0,0097	8,6490	-0,0215	13,407
145,00	-0,0096	8,6118	-0,0214	13,437
165,00	-0,0096	8,6021	-0,0215	13,487

Блок-схема алгоритма вычисления угла наклона сосуда ВГН с использованием полученных коэффициентов аппроксимирующей функции приведена на Рисунке 2.9.

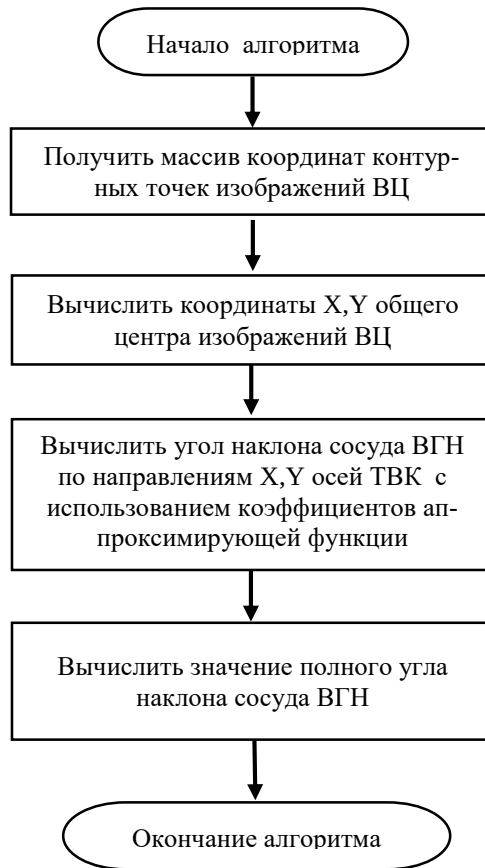


Рисунок 2.9 - Блок-схема алгоритма вычисления угла наклона сосуда ВГН с использованием аппроксимирующей функции

Выводы по разделу 2

1 Получены экспериментальные данные зависимости расстояния между центрами изображений визирных целей от уровня жидкости в сосуда датчика ВГН. Разработаны алгоритмы калибровки и измерения уровня жидкости в сосуда датчика ВГН.

2 Получены экспериментальные данные зависимости положения общего центра изображений визирных целей от угла наклона сосуда датчика ВГН. Разработаны алгоритмы калибровки и измерения угла наклона сосуда ВГН.

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ АПРОБАЦИЯ ВИДЕОГИДРОСТАТИЧЕСКОГО НИВЕЛИРА С ИЗМЕРЕНИЕМ ВЫСОТНЫХ И УГЛОВЫХ ПОЛОЖЕНИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

3.1 Экспериментальная апробация видеогидростатического нивелира с измерением высотных и угловых положений контролируемых объектов в лабораторных условиях.

Исследование характеристик выходного сигнала ВД ВГН.

В Таблице 3.1 приведены номинальные и фактические значения измеряемого уровня в диапазоне (75–175) мм, средние значения уровня по результатам 1000 измерений, отклонения средних от номинальных значений уровня, а также минимальное и максимальное отклонения от номинала и СКО результатов измерений.

Статистический разброс измеряемого уровня 75 мм по десяти интервалам величиной 10% между минимальным и максимальным отклонениями от среднего представлен на Рисунке 3.2.

Таблица 3.1

Результаты обработки измеренных уровней жидкости в сосуде ВГН

Номинал мм	Факт мм	Сред. мм	Откл. мм	Откл_мин мм	Откл_макс мм	СКО мм
75,00	75,00	74,90	-0,10	-0,22	0,02	0,04
95,00	94,96	94,999	0,04	-0,19	0,29	0,07
115,00	114,95	115,04	0,09	-0,15	0,36	0,08
135,00	134,91	134,90	-0,01	-0,42	0,46	0,12
155,00	154,95	155,01	0,06	-0,50	0,63	0,16
175,00	174,91	175,78	0,88	-0,77	0,34	0,20

Блок-схема алгоритма обработки результатов измерений для определения статистического разброса измеряемого уровня жидкости приведена на Рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 Блок-схема алгоритма обработки результатов измерений с целью определения статистического разброса измеряемого уровня жидкости

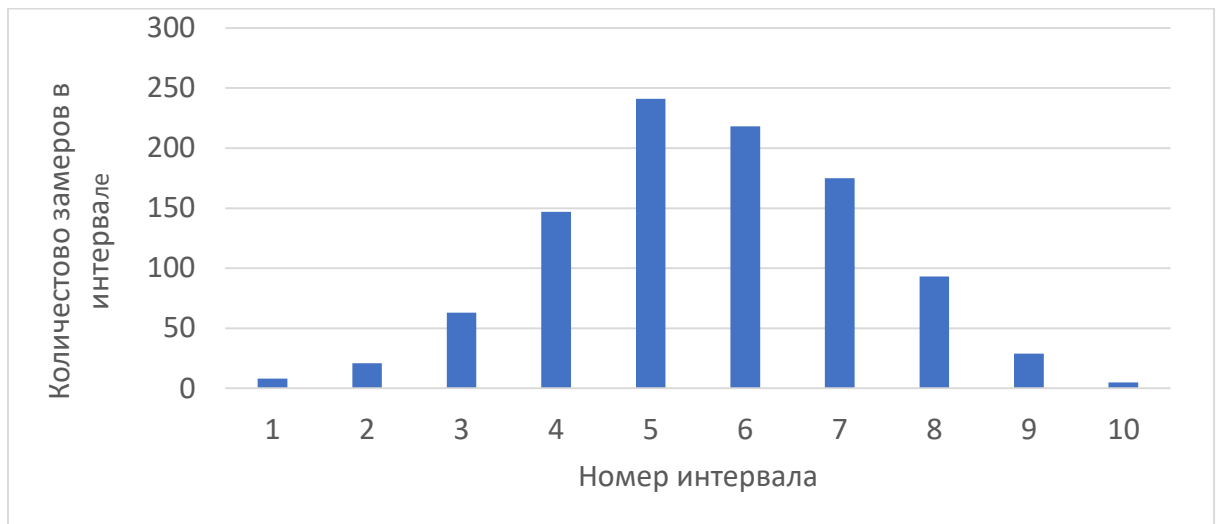


Рисунок 3.2 Статистический разброс уровня жидкости 75 мм

Графики статистического разброса значений других уровней жидкости аналогичны приведенному.

График распределения отклонений по интервалам величиной 10% для значений (75,95,115,135,155,175) мм уровня жидкости приведен на Рисунке 3.3.

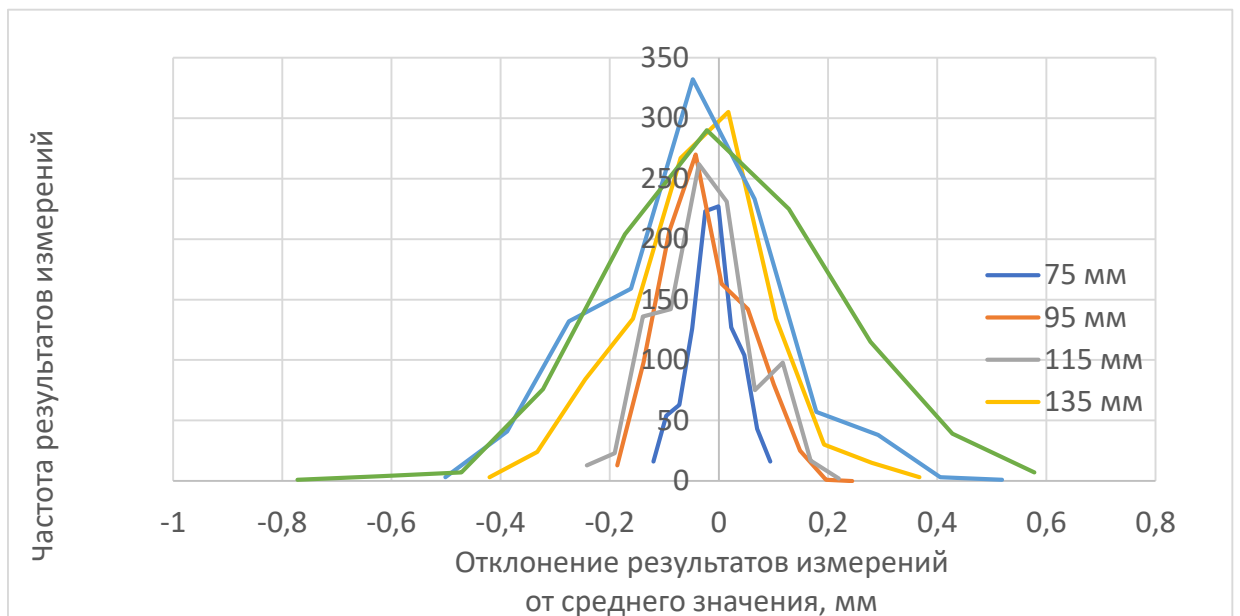


Рисунок 3.3 Распределение отклонений результатов измерений уровня жидкости по интервалам величиной 10% между минимальным и максимальным отклонениями от среднего значения уровня жидкости

Из Таблицы 3.1 и графика на Рисунке 3.3 следует, что отклонения для всех значений уровня имеют нулевое среднее, а СКО возрастает по мере уменьшения измеряемого уровня жидкости.

В соответствии с Рисунком 3.3 для уровней жидкости 75 мм и 155 мм СКО с вероятностью 0.975 составляет соответственно 0.03мм и 0.17мм.

Оценка рассеяния единичных результатов наблюдений в группе относительно их среднего значения вычислялась по формуле [94, стр.132]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (h_i - h_{\text{ср}})^2}{n - 1}}, \quad (3.1)$$

где n - количество измерений в группе, шт.;

h_i - значение одного из измерений в группе, мм;

$h_{\text{ср}}$ - среднее значение отклонения в группе, мм.

При наличии значительного количества измерений в группе, опытным путем определяется значение σ как 1/6 разности между минимальным и максимальным значениями отклонения. Для графика на Рисунке 3.3 для уровня жидкости 75 мм $\sigma = 0.2 / 6 = 0.033$ мм, а для уровня жидкости 155 мм $\sigma = 1.0 / 6 = 0.167$ мм.

Многократными измерениями с вычислением средних арифметических значений уровня жидкости в группе вычислялось СКО среднего арифметического значения результата измерений, мм по формуле [94, стр.135]:

$$\sigma_{\text{ср}} = \sqrt{\frac{\sum_1^n (h_i - h_{\text{ср}})^2}{n(n - 1)}} \approx \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (3.2)$$

где n - число измерений в группе, шт.;

h_i - значение одного измерения в группе, мм;

h_{cp} - среднее значение отклонения в группе, мм.

Из (3.2) следует, что для уменьшения СКО среднего арифметического значения уровня жидкости 155 мм до среднего арифметического значения уровня жидкости 75 мм число измерений должно составлять $(0.167: 0.033)^2 \approx 25$.

Исследование зависимости масштаба изображений визирных целей в телевизионном видеокадре от измеряемого уровня жидкости

Выполнены лабораторные исследования зависимости масштаба изображений ВЦ в ТВК в зависимости от измеряемого уровня жидкости по разработанной автором следующей методике:

1 С помощью калибровочных колец задавались уровни жидкости с шагом порядка 20 мм в диапазоне (0–100) мм.

2 На каждом шаге измерялась разность координат dy_i общих центров пар изображений ВЦ1–ВЦ2 и ВЦ3–ВЦ4 в ТВК.

На основе анализа результатов исследований, представленных на Рисунке 3.4, определен вид зависимости разности координат dy_i общих центров пар изображений ВЦ1–ВЦ2 и ВЦ3–ВЦ4 в ТВК от измеряемого уровня жидкости h_i , имеющий нелинейный характер (кривая «Датчик»).

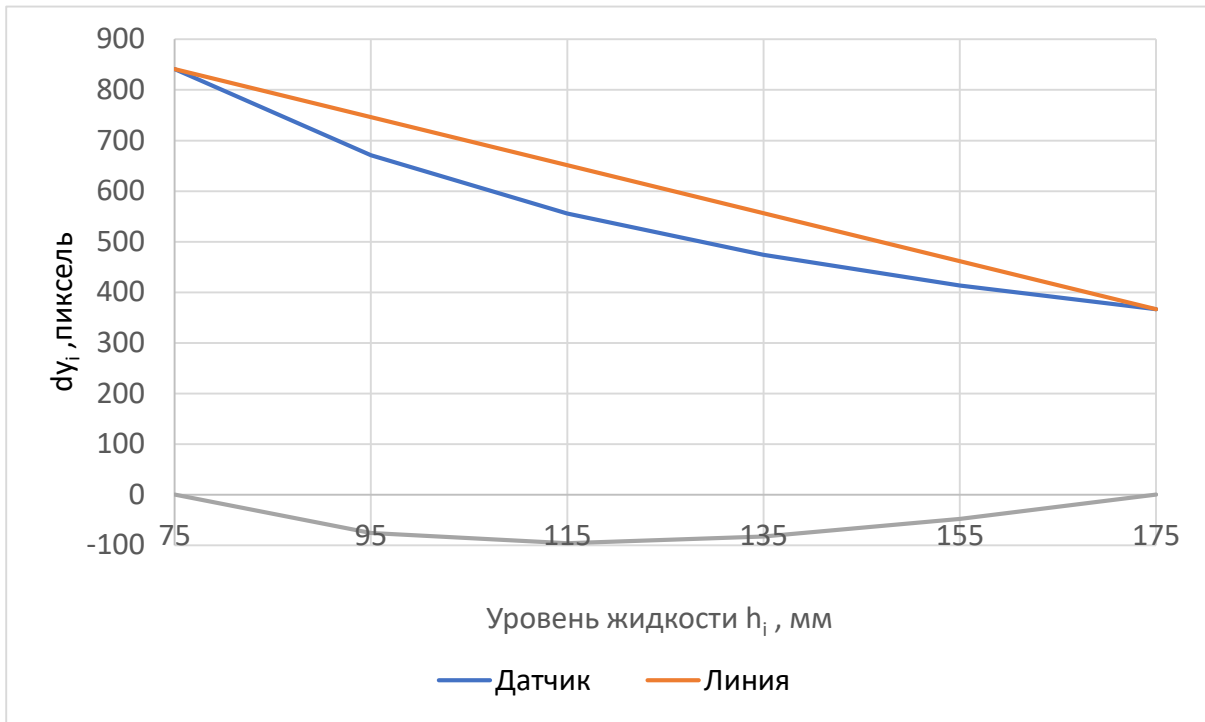


Рисунок 3.4 Зависимость разности Y-координат общих центров пар изображений ВЦ1-ВЦ2 и ВЦ3-ВЦ4 в ТВК от измеряемого уровня жидкости

3.3 Повышение точности видеогидростатического нивелира аппроксимацией нелинейной функцией зависимости масштаба изображений визирных целей в телевизионном видеокадре от измеряемого уровня жидкости

Точность ВГН может быть повышена аппроксимацией зависимости масштаба изображений ВЦ в ТВК от измеряемого уровня жидкости нелинейной функцией и вычислением уровня жидкости по разработанному автором алгоритму, блок-схема которого представлена на рисунке 3.5.

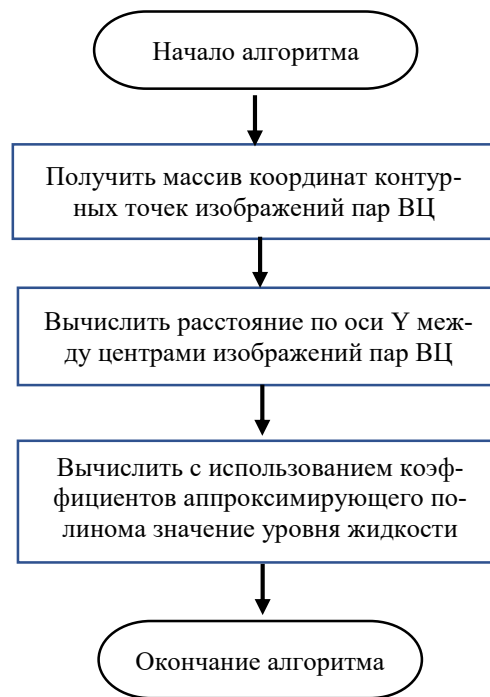


Рисунок 3.5 - Блок-схема алгоритма вычисления уровня жидкости в сосудах ВГН с использованием нелинейной аппроксимирующей функции

Неизвестными являются значения коэффициентов аппроксимирующей функции $a, b, c, \dots$:

$$h_i = \varphi(dy_i; a, b, c \dots), \quad (3.3)$$

где φ – аппроксимирующая функция;

dy_i – разности координат Y общих центров пар изображений ВЦ1-ВЦ2 и ВЦ3-ВЦ4, пиксель;

$a, b, c, \dots$ – коэффициенты аппроксимирующей функции.

Анализ результатов экспериментальных исследований показал, что требуемая погрешность измерений не более ± 0.1 мм в диапазоне измеряемых уровней жидкости (0–100) мм обеспечивается аппроксимацией полиномиальной функцией четвертой степени [93, стр.141]:

$$h_a = a \cdot dy^4 + b \cdot dy^3 + c \cdot dy^2 + d \cdot dy^1 + e \cdot dy^0, \text{ мм} \quad (3.4)$$

где dy_i – разности координат Y общих центров пар изображений ВЦ1–ВЦ2 и ВЦ3–ВЦ4, пиксель;

a, b, c, d, e – коэффициенты полинома.

Коэффициенты полинома определяются методом наименьших квадратов с выполнением требования:

$$\sum_{i=1}^n [h_i - \varphi(dy_i)]^2 = \min, \quad (3.5)$$

где n – количество измерений, шт.;

φ – аппроксимирующая функция;

h_i – измеренное значение уровня, мм;

dy_i – разности координат Y общих центров пар изображений ВЦ1–ВЦ2 и ВЦ3–ВЦ4 в ТВК, пиксель.

При использовании полинома четвертой степени условие минимума отклонений принимает вид:

$$\sum_{i=1}^n [h_i - \varphi(dy_i, a, b, c, d, e)]^2 = \min, \quad (3.6)$$

где n – количество измерений, шт.;

φ – аппроксимирующая функция;

h_i – измеренное значение уровня, мм;

dy_i – разности координат Y общих центров пар изображений ВЦ1–ВЦ2 и ВЦ3–ВЦ4 в ТВК, пиксель.

Коэффициенты аппроксимирующего полинома четвертой степени определяются решением следующей системы уравнений:

$$\begin{aligned}
 \alpha_8^*[dY]a + \alpha_7^*[dY]b + \alpha_6^*[dY]c + \alpha_5^*[dY]d + \alpha_4^*[dY]e &= \alpha_{4,1}^*[dY, H] \\
 \alpha_7^*[dY]a + \alpha_6^*[dY]b + \alpha_5^*[dY]c + \alpha_4^*[dY]d + \alpha_0^*[dY]e &= \alpha_{3,1}^*[dY, H] \\
 \alpha_6^*[dY]a + \alpha_5^*[dY]b + \alpha_4^*[dY]c + \alpha_3^*[dY]d + \alpha_1^*[dY]e &= \alpha_{2,1}^*[dY, H] \\
 \alpha_5^*[dY]a + \alpha_4^*[dY]b + \alpha_3^*[dY]c + \alpha_2^*[dY]d + \alpha_1^*[dY]e &= \alpha_{1,1}^*[dY, H] \\
 \alpha_4^*[dY]a + \alpha_3^*[dY]b + \alpha_2^*[dY]c + \alpha_1^*[dY]d + \alpha_0^*[dY]e &= \alpha_{0,1}^*[dY, H],
 \end{aligned} \tag{3.7}$$

где α_i^* – начальные моменты случайной величины;

dY ; $\alpha_{i,j}^*$ – начальные моменты системы двух случайных величин dY, H ,

a, b, c, d, e – искомые коэффициенты полинома.

Полученные значения коэффициентов служат для вычисления микроконтроллерной программой уровня жидкости в более удобном, чем по (2.4), виде:

$$h_{ai} = (((a * dy_i + b) * dy_i + c) * dy_i + d) * dy_i + e, \tag{3.8}$$

где dy_i – разности координат Y общих центров пар изображений ВЦ1–ВЦ2 и ВЦ3–ВЦ4 в ТВК, пиксель;

a, b, c, d, e – коэффициенты полинома.

СКО результатов калибровки ВД вычисляются по формуле [94, стр.132]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (h_i - h_{ai})^2}{n - 1}}, \tag{3.9}$$

где n – количество точек, равное 6;

h_i – эталонное значение уровня жидкости, мм;

h_{ai} – значение уровня по аппроксимирующей функции, мм.

Повышение точности ВГН внесением поправок в измеряемый
уровень жидкости за угол наклон сосуда

В лабораторных условиях исследована зависимость измеряемого уровня жидкости от угла наклона сосуда ВГН в направлении координатной оси X ТВК.

Результаты исследований зависимости измеряемого уровня жидкости от угла наклона сосуда ВГН в направлении координатной оси X ТВК представлены в Таблице 3.2 и на Рисунке 3.6.

Таблица 3.2 - Зависимость измеряемого уровня жидкости от угла
наклона сосуда ВГН в направлении координатной оси X ТВК

Угол, угл.град	Измеренный уровень жидкости, мм				
-5,00	85,3	105,55	126,59	144,92	164,37
-4,00	85,4	105,44	126,73	145,13	164,46
-3,00	85,4	105,39	126,99	145,33	164,72
-2,00	85,3	105,41	126,87	145,36	164,72
-1,00	85,3	105,42	126,95	145,45	165,01
0,00	85,2	105,39	126,87	145,42	164,89
1,00	85,4	105,44	126,89	145,49	164,6
2,00	85,3	105,38	126,87	145,49	164,69
3,00	85,3	105,39	126,85	145,45	164,77
4,00	85,2	105,28	126,75	145,26	164,46
5,00	85,3	105,25	126,64	145,15	164,21



Рисунок 3.6 Зависимость измеренного уровня жидкости от угла наклона сосуда ВГН в направлении координатной оси X ТВК

Результаты исследований зависимости измеряемого уровня жидкости от угла наклона сосуда ВГН в направлении координатной оси Y ТВК представлены в Таблице 3.3 и на Рисунке 3.7.

Таблица 3.3 Зависимость измеренного уровня жидкости от угла наклона сосуда ВГН в направлении координатной оси Y ТВК

Угол, угл.град	Измеренный уровень жидкости, мм				
-5,00	85,70	107,71	127,53	147,37	165,98
-4,00	85,13	107,29	127,25	146,81	165,72
-3,00	84,62	106,75	127,08	146,43	165,10
-2,00	84,28	106,48	126,80	146,09	164,86
-1,00	83,95	106,30	126,80	146,00	164,83
0,00	83,73	106,09	126,82	146,09	164,69
1,00	83,58	106,05	126,97	146,00	164,78
2,00	83,71	106,15	126,97	146,13	164,60
3,00	83,85	106,30	127,42	146,20	164,75
4,00	84,18	106,46	127,86	146,43	164,92
5,00	86,21	106,85	128,32	146,57	165,30

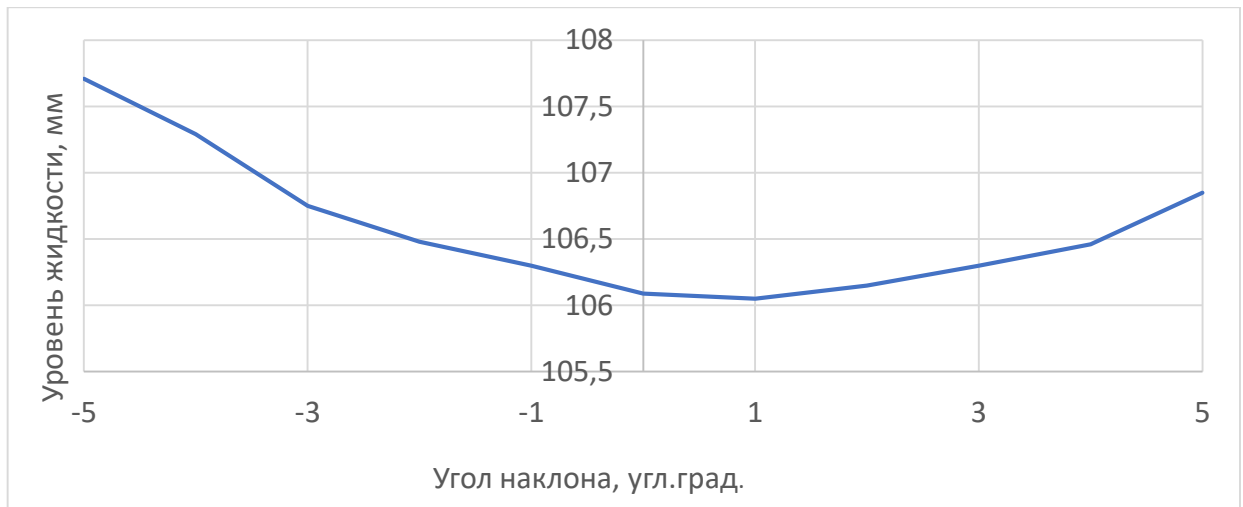


Рисунок 3.7 Зависимость измеренного уровня жидкости от угла наклона сосуда ВГН в направлении координатной оси Y ТВК

Как следует из Рисунка 3.7, указанная зависимость имеет нелинейный характер, ввиду чего ее аппроксимация нелинейной функцией повышает точность ВГН.

Анализ результатов экспериментальных исследований, представленных в Таблицах 3.2 и 3.3, показал, что погрешность измерений находится в пределах $\pm 0,1$ мм при выборе в качестве аппроксимирующей функции полинома второй степени.

Разработанная автором блок-схема алгоритма вычисления коэффициентов полинома второй степени приведена на рисунке 3.8.

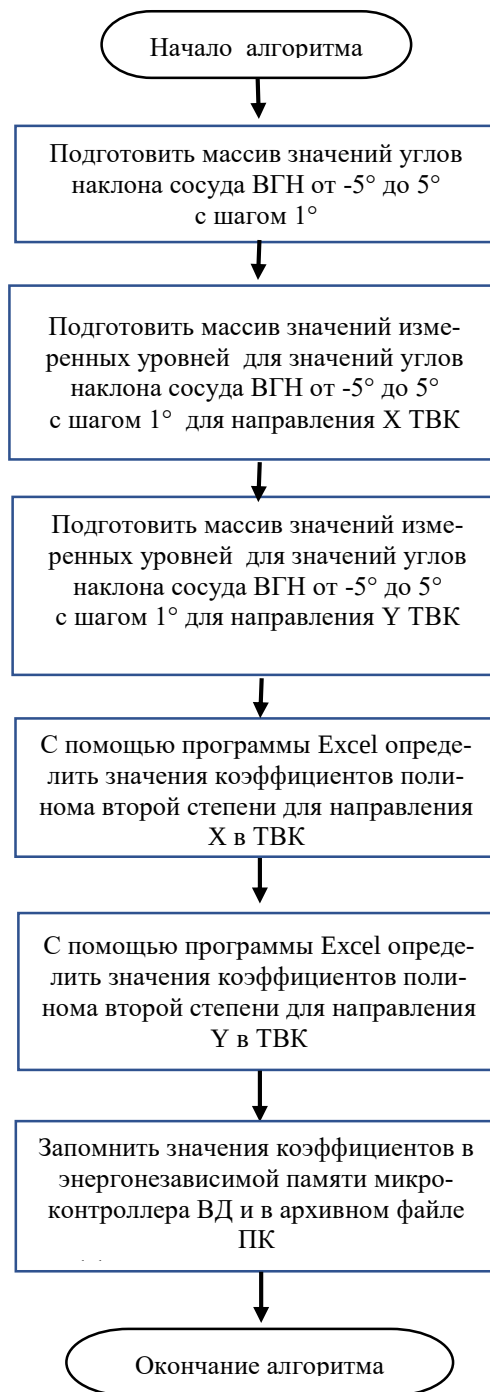


Рисунок 3.8 - Блок-схема алгоритма вычисления коэффициентов аппроксимирующей функции

Разработанная автором блок-схема алгоритма вычисления уровня жидкости с поправкой за наклон сосуда ВГН, на основе которого создана микроконтроллерная программа, приведена на Рисунке 3.9.

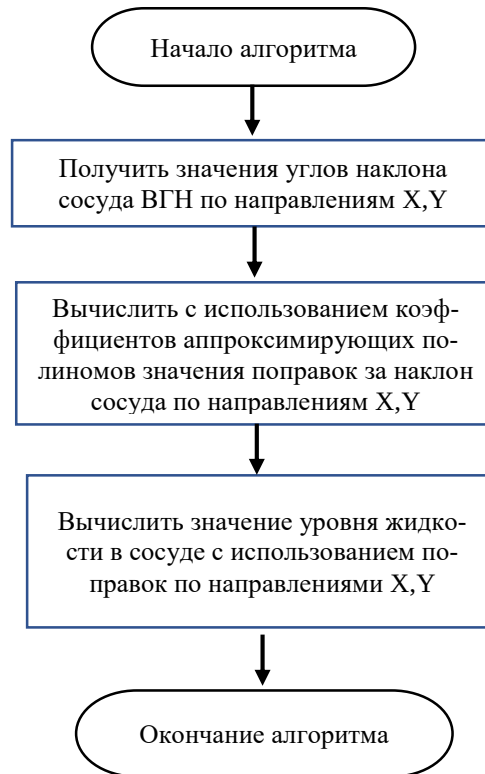


Рисунок 3.9 Блок-схема алгоритма вычисления уровня жидкости с поправкой за наклон сосуда ВГН

Аппаратурные и программные средства ВГН с измерением высотных и угловых положений контролируемых объектов

Аппаратурные средства ВГН с измерением высотных и угловых положений контролируемых объектов

Разработка ВГН с измерением высотных и угловых положений контролируемых объектов и повышения его точности связано с необходимостью доработки существующего видеопроцессора, являющегося составной частью ВД, с тем, чтобы в полномасштабном режиме наряду с Y - координатами также определялись X - координаты контурных точек изображений ВЦ1-ВЦ4 в ТВК.

Соответствующий алгоритм обеспечивает выполнение следующих процедур:

1 С обнаружением кадрового импульса обнуляется счетчик телевизионных строк (координата Y) и с каждым последующим строчным импульсом осуществляется его увеличение на единицу.

2 С каждым строчным импульсом обнуляются счетчик тактовых импульсов МК (координата X) и с каждым последующим тактовым импульсом осуществляется его увеличение на единицу.

3 По сформированным амплитудным компаратором фронтам элемента изображение в видеосигнале осуществляется считывание текущих значений X, Y - координат контурных точек изображений ВЦ в ТВК.

Программные средства ВГН с измерением высотных и угловых положений контролируемых объектов

Отличительной особенностью современных ГН, в том числе и ВГН, является наличие в их конструкции микроконтроллеров для проведения измерений уровня жидкости в сосуде и управления работой нивелира. Также используются

компьютерные технологии в ПК, управляющих работой ГН и обрабатывающих результаты измерений [91-92, ПРИЛОЖЕНИЕ Д].

В процессе разработки ВГН с измерением высотных и угловых положений контролируемых объектов и повышением точности ВГН автором созданы микроконтроллерная программа и специальные прикладные технологическая и рабочая компьютерные программы.

Микроконтроллерная программа ВД ВГН

Помимо задачи определения X,Y-координат контурных точек изображений ВЦ в ТВК микроконтроллерной программой также выполняются следующие действия:

- 1 Формирование в памяти МК массива цифровых данных, передаваемых по запросу в ПК по линии связи RS-485.
- 2 Выполнение адресованных ВД команд «Проверка связи», «Обработка видеокадра», «Передача уровня жидкости».
- 3 Выполнение записи и чтения коэффициентов аппроксимирующих функций и параметров работы ВГН в энергонезависимой памяти МК ВД.
- 4 Выполнение команд контроля системы термостатирования.

Микроконтроллерная программа разработана автором на языке С и с помощью общедоступной системы разработки программ CodeVisionAVR.

*Специальные прикладные технологическая
и рабочая компьютерные программы ВГН*

Специальные прикладные технологическая и рабочая компьютерные программы ВГН созданы автором с помощью системы разработки программ С++ Builder 6.0 на языке программирования С++.

Программы выполняют следующие основные функции:

1 Специальная прикладная технологическая компьютерная программа используется в процессе производства ВД (калибровка, задание параметров, диагностика неисправностей).

2 Специальная прикладная рабочая компьютерная программа используется в процессе работы ВГН на контролируемом объекте.

Специальные прикладные компьютерные программы снабжены графическими интерфейсами, обеспечивающими эффективную работу оператора.

Специальная прикладная технологическая компьютерная программа ВГН

В исходном окне графического интерфейса специальной прикладной технологической компьютерной программы, представленном на рисунке 3.10, выполняются следующие процедуры:

- 1 Задается индивидуальный адрес ВД.
- 2 Проверяется наличие связи между ВД и ПК.
- 3 Индицируется температура в ВД.
- 4 Индицируются результаты измерений.
- 5 Задаются параметры термостатирования ВД.
- 6 Открывается окно для калибровки ВД.

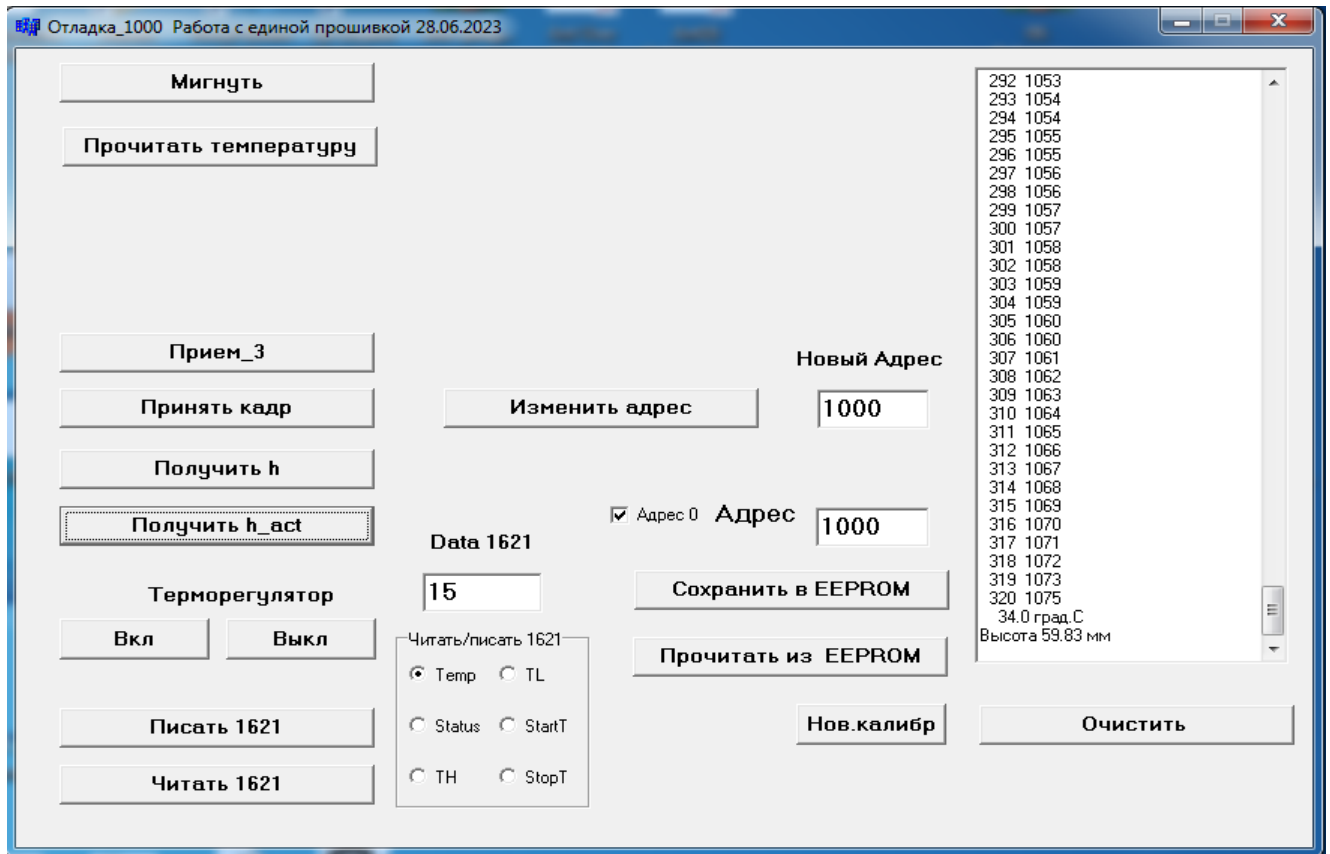


Рисунок 3.10 - Исходное окно графического интерфейса специальной прикладной технологической компьютерной программы

Полученные данные отображаются в правой части окна.

С помощью виртуальной кнопки «Нов. калибр.» открывается окно для калибровки ВД, представленное на рисунке 3.11.

Отладка_1000 Работа с единой прошивкой 11.07.2023

☐ Имитация

821.250 dy

-0.06 Н.мм

Кол-во измерений 16

Аппроксимация

Замер 0 мм

820.467 dy

-0.00 На, мм

-0.00 dН, мм

☒ dy Рулон

Замер 19.95 мм

659.000

19.96

0.01

Выбор xxxx.bin

a 0.174392

Замер 39.95 мм

549.600

39.91

-0.04

b -1.490389

c 6.616343

Замер 59.90 мм

469.533

59.97

0.07

d -29.491541

e 0.074887

dy5(6) 469.532990

Замер 79.94 мм

410.867

79.88

-0.06

Замер 99.89 мм

365.067

99.91

0.02

СКО, мм

0.049

Рисунок 3.11 - Окно калибровки ВД

В окне калибровки ВД выполняется следующие процедуры:

- 1 Из адресуемого ВД принимаются разности Y-координат между общими центрами пар изображений ВЦ1-ВЦ2 и ВЦ3-ВЦ4 в ТВК.
- 2 Вычисляются коэффициенты аппроксимирующего полинома.
- 3 Вычисляются погрешности уровня жидкости в сосуде ВГН.
- 4 Значения коэффициентов аппроксимирующего полинома записываются в электрически перезаписываемой памяти МК.
- 5 Для контроля записи считываются коэффициенты аппроксимирующего полинома из МК.

Специальная прикладная рабочая компьютерная программа ВГН

В исходном окне графического интерфейса специальной прикладной рабочей компьютерной программы, представленном на рисунке 3.12, выполняются следующие процедуры:

- 1 Задается период считывания информации из ВД.
- 2 Задается название и путь доступа к архивному файлу с результатами измерений.
- 3 Включается/выключается архивирование результатов измерений;
- 4 Запускается/останавливается процесс измерений.

С помощью виртуальной клавиши «Датчики» открывается окно, представленное на рисунке 3.13, в котором формируется список используемых ВД.

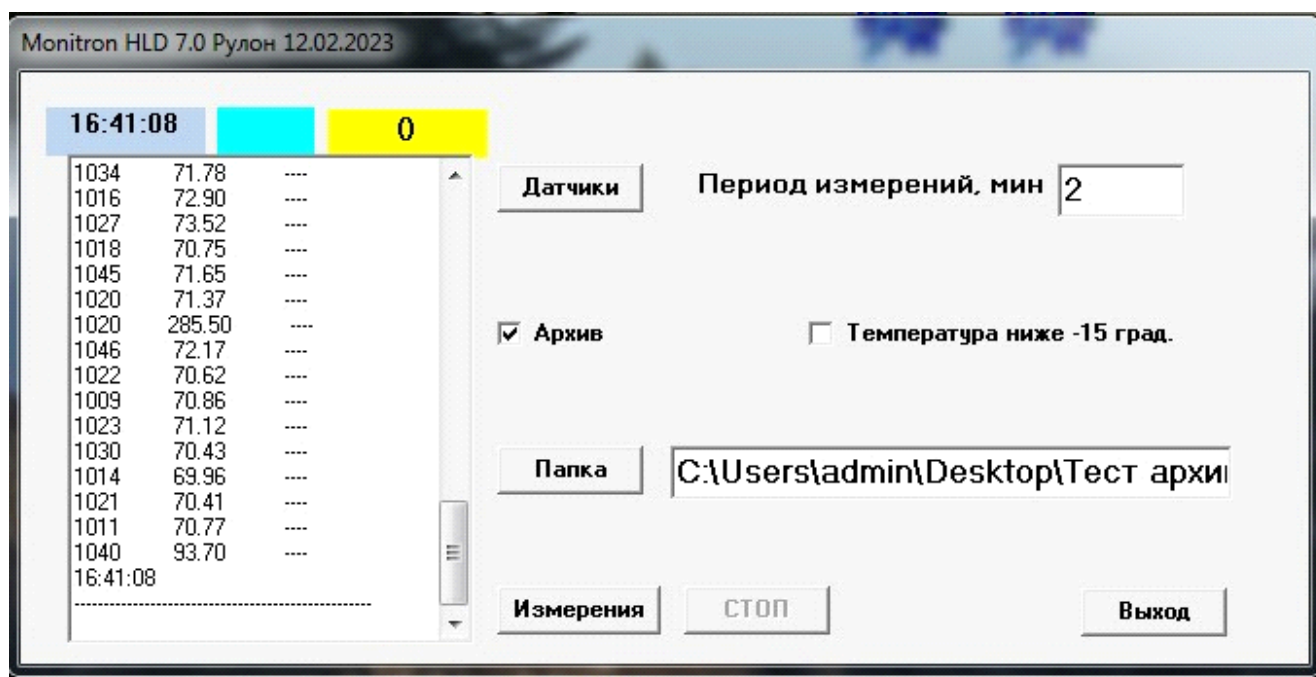


Рисунок 3.12 - Исходное окно специальной прикладной рабочей компьютерной программы

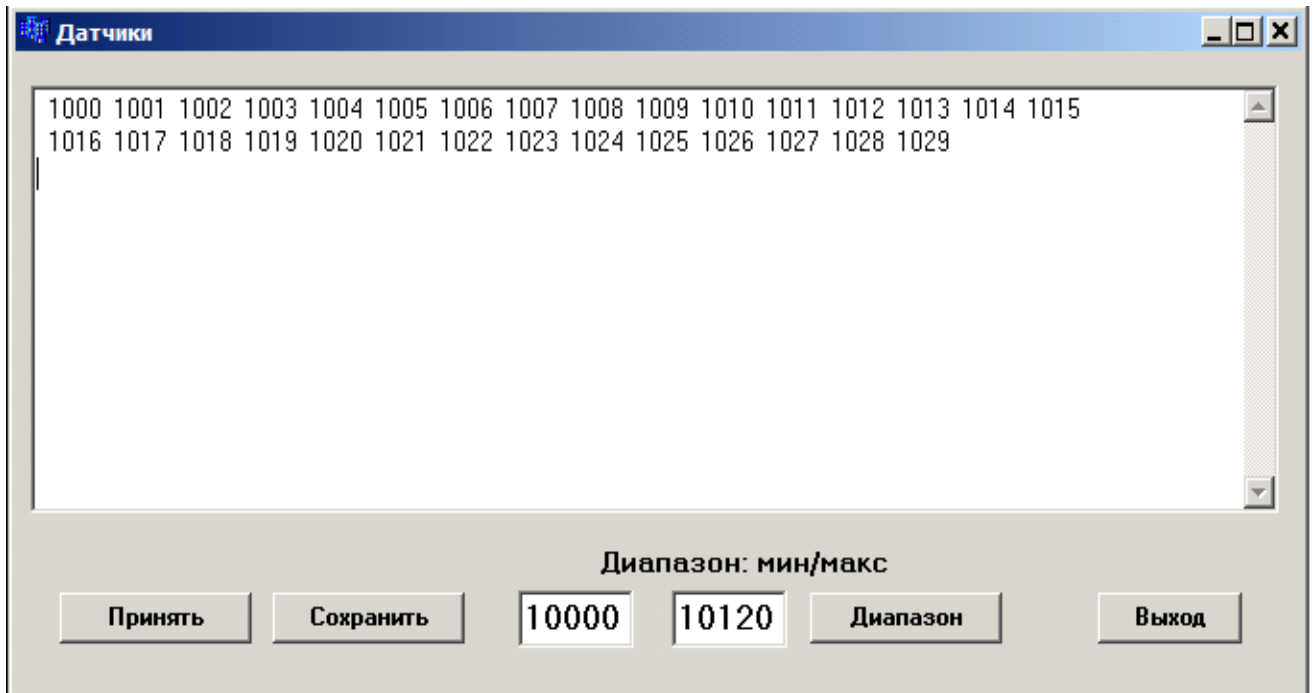


Рисунок 3.13 - Окно «Датчики» специальной прикладной рабочей компьютерной программы

В окне выполняется следующие процедуры:

- 1 Формируется список адресов ВД, максимальное число которых – 256.
- 2 С помощью виртуальных клавиш «Принять» и «Сохранить» список адресов ВД запоминается в файле настроек программы.

Цель лабораторных исследований состояла в определении следующих параметров ВГН:

1 Погрешность измеряемого уровня жидкости при вертикальном положении сосуда ВГН.

2 Погрешность измеряемого угла наклона сосуда ВГН

3 Погрешность измеряемого уровня жидкости при наклоне сосуда ВГН.

Исследования выполнялись с помощью следующего оборудования:

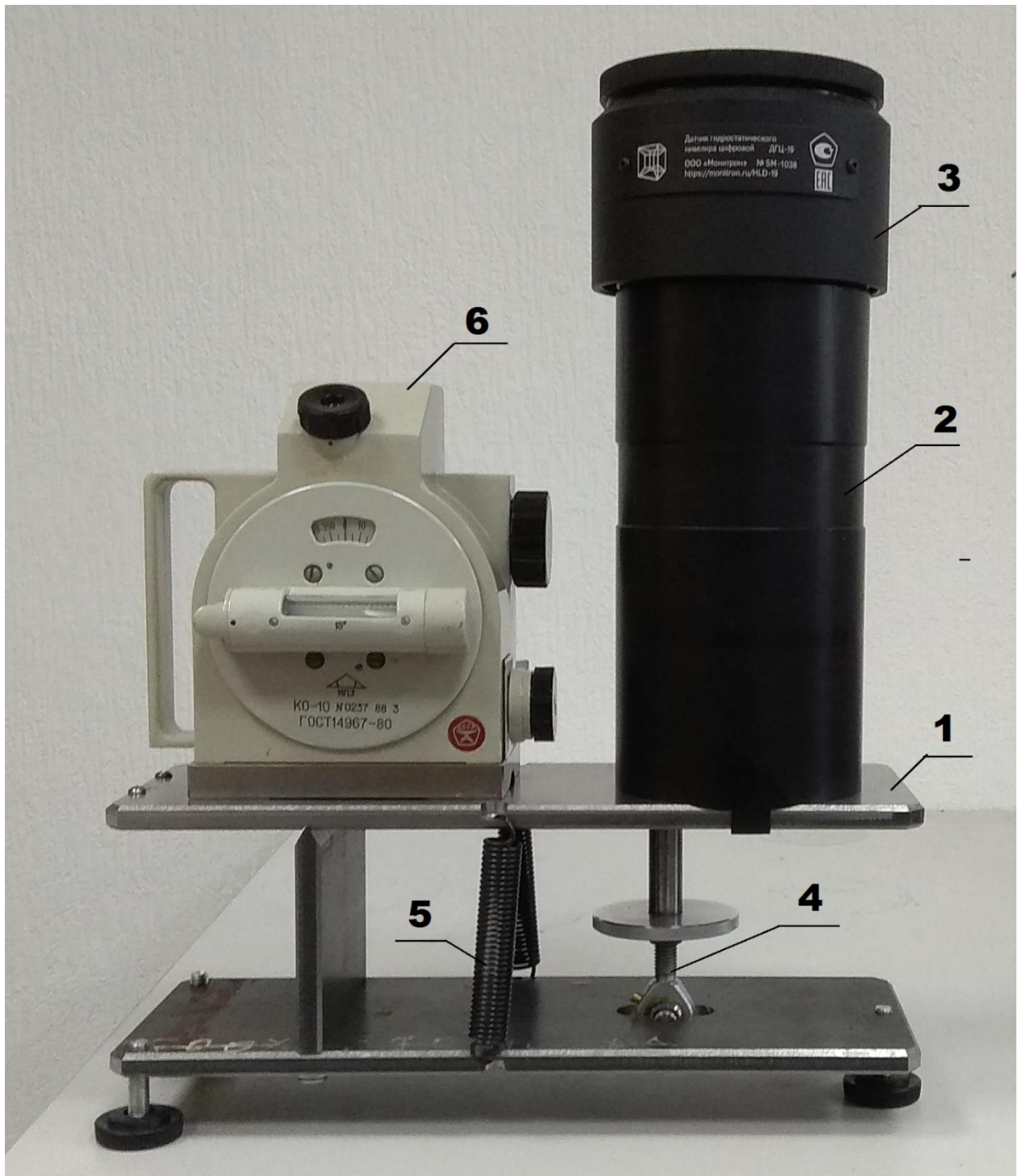
1 Стенда, представленного на Рисунке 3.14, выполненного в виде полого цилиндра 1 высотой 75 мм, в нижней части которого устанавливалось зеркало, а на верхнем торце - исследуемый ВД 2. Изменение высотного положения ВД осуществлялось с помощью калибровочных колец 3, устанавливаемых между цилиндром и ВД.



- 1 Пустой цилиндр
- 2 Исследуемый ВД
- 3 Набор калибровочных колец

Рисунок 3.14 Стенд для исследования погрешности измеряемого уровня жидкости в сосуде ВГН при его вертикальном положении

2 Стенда, представленного на Рисунке 3.15, выполненного в виде наклоняемой платформы 1, на которой устанавливался заполненный жидкостью сосуд ВГН 2 с исследуемым ВД 3. Угол наклона платформы в диапазоне $\pm 5^\circ$ задавался микрометрическим винтом 4, прижимаемым к платформе пружинами 5. Угол наклона платформы измерялся с помощью квадранта КО-10 с разрешением $\pm 10''$.



1 Наклоняемая платформа

2 Сосуд ВГН

3 Исследуемый ВД

4 Микрометренный винт

5 Пружины

6 Квадрант КО-10

Рисунок 3.15 Стенд для исследования погрешности измеряемого угла наклона сосуда ВГН и уровня жидкости с поправками за его наклон

*Погрешность измеряемого уровня жидкости при
вертикальном положении сосуда ВГН.*

Для каждого уровня жидкости, задаваемого калибровочными кольцами, определялись разности Y - координат общих центров пар изображений ВЦ1–ВЦ2 и ВЦ3–ВЦ4 в ТВК и измерялись уровни жидкости аппроксимацией соответствующих зависимостей линейной функцией и полиномом четвертой степени.

Результаты исследований представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4

Погрешность измеряемого уровня жидкости при вертикальном
положении сосуда ВГН и с аппроксимацией линейной функцией

Нк мм	hл мм	$\Delta hл$ мм	hп мм	$\Delta hп$ мм
75	75	0	75	0
94,95	94,66	-0,29	94,95	0,00
115,00	114,75	-0,20	114,96	0,01
134,90	134,92	0,02	134,89	-0,01
154,94	154,99	0,05	154,95	0,01
174,89	174,99	0,10	174,89	0,00
	СКО	0,16	СКО	0,01

Принятые в Таблице 3.4 обозначения:

Нк – задаваемый уровень жидкости;

hл – измеренный уровень жидкости с аппроксимацией линейной функцией;

$\Delta hл$ – погрешность уровня жидкости с аппроксимацией линейной функцией;

hп – измеренный уровень жидкости с аппроксимацией полиномом четвертой степени;

$\Delta hп$ – погрешность уровня жидкости с аппроксимацией полиномом четвертой степени.

В соответствии с результатами исследований СКО измерений с аппроксимацией полиномом четвертой степени более чем на порядок меньше СКО с аппроксимацией линейной функцией, что свидетельствует об эффективности принятой методики измерений.

Погрешность измерения угла наклона сосуда ВГН и погрешность измерения уровня жидкости с поправкой за наклон сосуда

Исследовалась зависимость координат X, Y общего центра изображений ВЦ1–ВЦ4 в ТВК от угла наклона сосуда ВГН в направлениях координатных осей X, Y ТВК в диапазоне $\pm 5^\circ$ с шагом 1° для уровней жидкости (85, 105, 125, 145, 165) мм.

По координатам X, Y общего центра изображений ВЦ в ТВК определялись углы наклона сосуда и их погрешности и исследовалась зависимость измеряемого уровня жидкости от углов наклона сосуда в направлениях координатных осей X, Y ТВК.

По результатам исследований вводились поправки за наклон сосуда ВГН в измеряемый уровень жидкости и оценивалась погрешность измерений в сравнении с уровнем жидкости при вертикальном положении сосуда.

Уровень жидкости и координаты X общего центра изображений ВЦ в ТВК при наклоне сосуда в направлении координатной оси X ТВК

Результаты измерений уровня жидкости в сосуде и координат X общего центра изображений ВЦ в ТВК при углах наклона сосуда ВГН в направлении координатной оси X ТВК представлены в Таблице 3.5.

Таблица 3.5

Уровни жидкости и координаты X общего центра изображений ВЦ в ТВК

Угол, угл.град.	H10 мм	X10 пиксель	H30 мм	X30 пиксель	H50 мм	X50 пиксель	H70 мм	X70 пиксель	H90 мм	X90 пиксель
-5,00	10,37	839,13	30,55	851,62	51,59	856,4	69,92	859,10	89,37	860
-4,00	10,44	794,77	30,40	806,31	51,73	810,07	70,13	818,67	89,46	814,72
-3,00	10,42	750,52	30,39	759,03	51,99	767,32	70,33	767,52	89,72	767,81
-2,00	10,35	703,34	30,41	713,56	51,87	717,89	70,36	722,65	89,72	722,36
-1,00	10,33	659,63	30,42	671,50	51,95	669,78	70,45	674,08	90,01	674,53
0,00	10,28	615,28	30,39	618,32	51,87	623,26	70,42	627,17	89,89	627,23
1,00	10,42	567,26	30,44	572,83	51,89	575,66	70,49	579,99	89,6	580,19
2,00	10,38	522,02	30,38	525,09	51,87	529,93	70,49	537,34	89,69	539,41
3,00	10,38	480,20	30,39	480,78	51,85	484,01	70,45	488,54	89,77	488,05
4,00	10,24	435,13	30,28	435,54	51,75	438,70	70,26	440,47	89,46	440,47
5,00	10,31	392,99	30,25	391,16	51,64	393,30	70,15	393,76	89,20	394,78

Принятые в Таблице 3.5 обозначения:

H10, H30, H50, H70, H90 – измеренные уровни жидкости при заданных углах наклона сосуда;

X10, X30, X50, X70, X90 – координаты X общего центра изображений ВЦ в ТВК.

*Погрешность измеренного угла наклона сосуда при
наклоне в направлении координатной оси X ТВК*

Зависимости угла наклона сосуда ВГН в направлении координатной оси X ТВК от положения общего центра изображений ВЦ в ТВК для различных уровней жидкости и уравнения аппроксимирующих функций представлены на Рисунках 3.16–3.20.

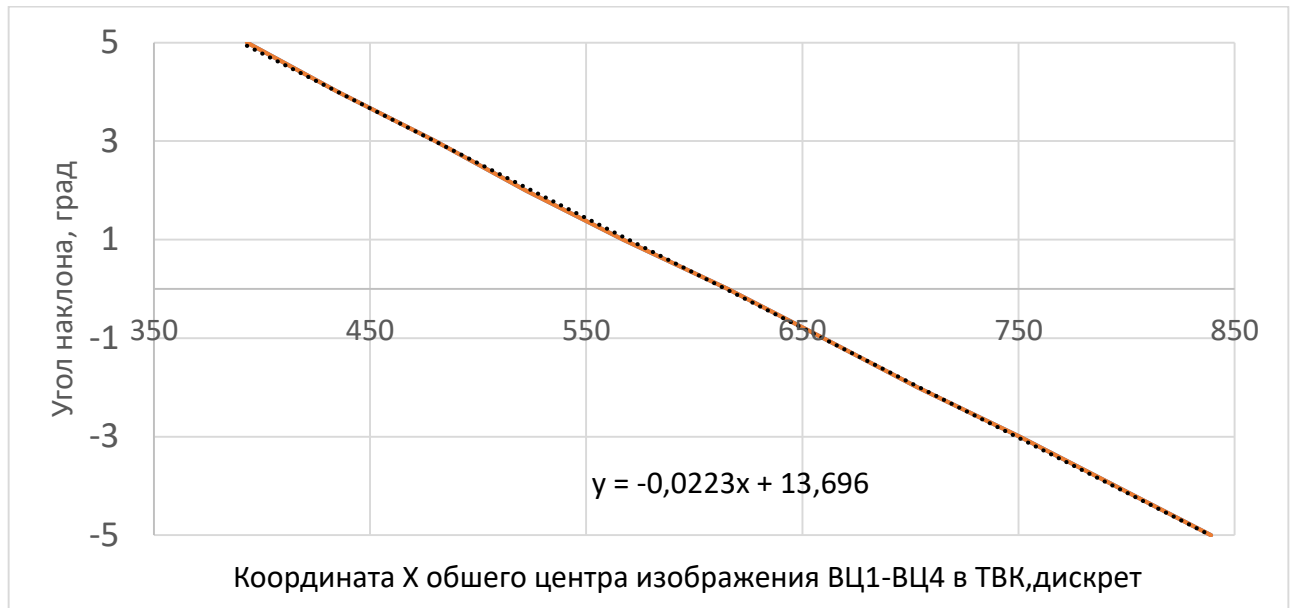


Рисунок 3.16 Зависимость угла наклона сосуда ВГН в направлении координатой оси X ТВК от положения общего центра изображений ВЦ в ТВК для уровня жидкости 85 мм

Зависимость угла наклона сосуда ВГН в направлении координатной оси X ТВК от положения общего центра изображений ВЦ в ТВК для уровня жидкости 85 мм определяется по формуле, угл.град.:

$$UX_{85} = -0.0223 * X_{85} + 13.696, \text{ угл.град.}, \quad (3.10)$$

где X_{85} – координата X, пиксель.

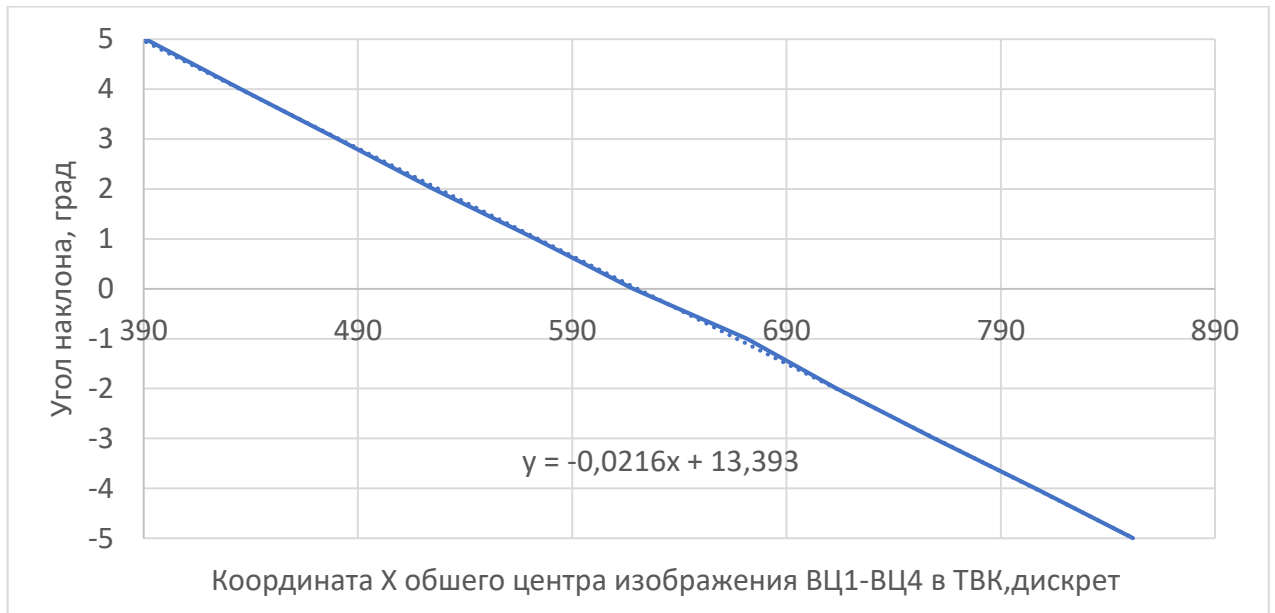


Рисунок 3.17 Зависимость угла наклона сосуда ВГН в направлении координатой оси X ТВК от положения общего центра изображений ВЦ в ТВК для уровня жидкости 105 мм

Зависимость угла наклона сосуда ВГН в направлении координатной оси X ТВК от положения общего центра изображений ВЦ в ТВК для уровня жидкости 105 мм определяется по формуле, угл.град.:

$$U_{X105} = -0.0216 * X_{105} + 13.393, \text{ угл.град.}, \quad (3.11)$$

где X_{105} - координата X, пиксель.

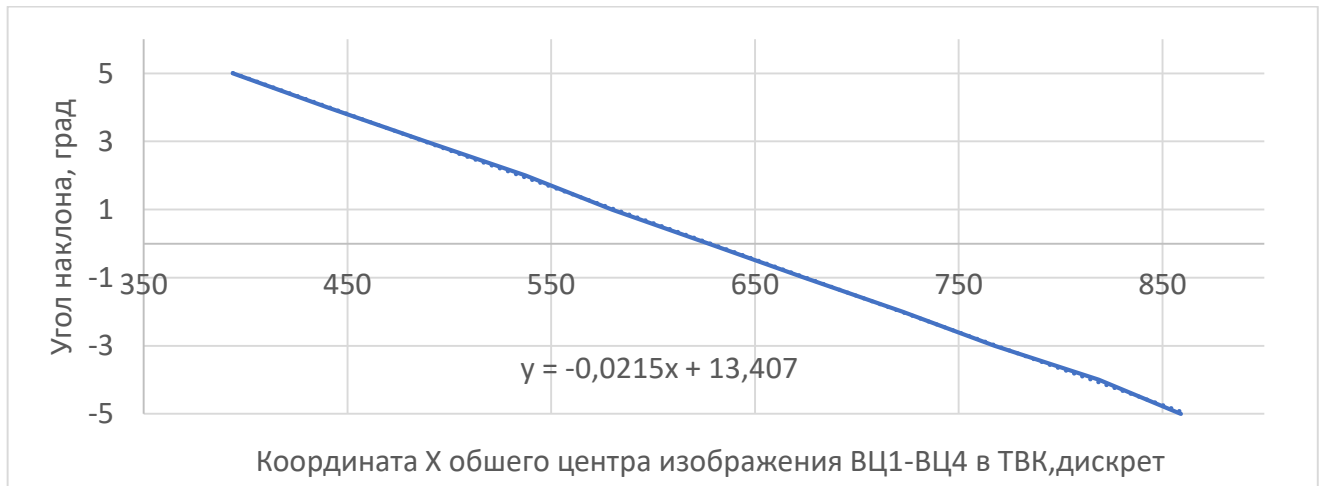


Рисунок 3.18 Зависимость угла наклона сосуда ВГН в направлении координатой оси X ТВК от положения общего центра изображений ВЦ в ТВК для уровня жидкости 125 мм

Зависимость угла наклона сосуда ВГН в направлении координатной оси X ТВК от положения общего центра изображений ВЦ в ТВК для уровня жидкости 125 мм определяется по формуле, угл.град.:

$$UX_{125} = -0.0215 * X_{125} + 13.407, \text{ угл.град.}, \quad (3.12)$$

где X_{125} - значение координаты X, пиксель.

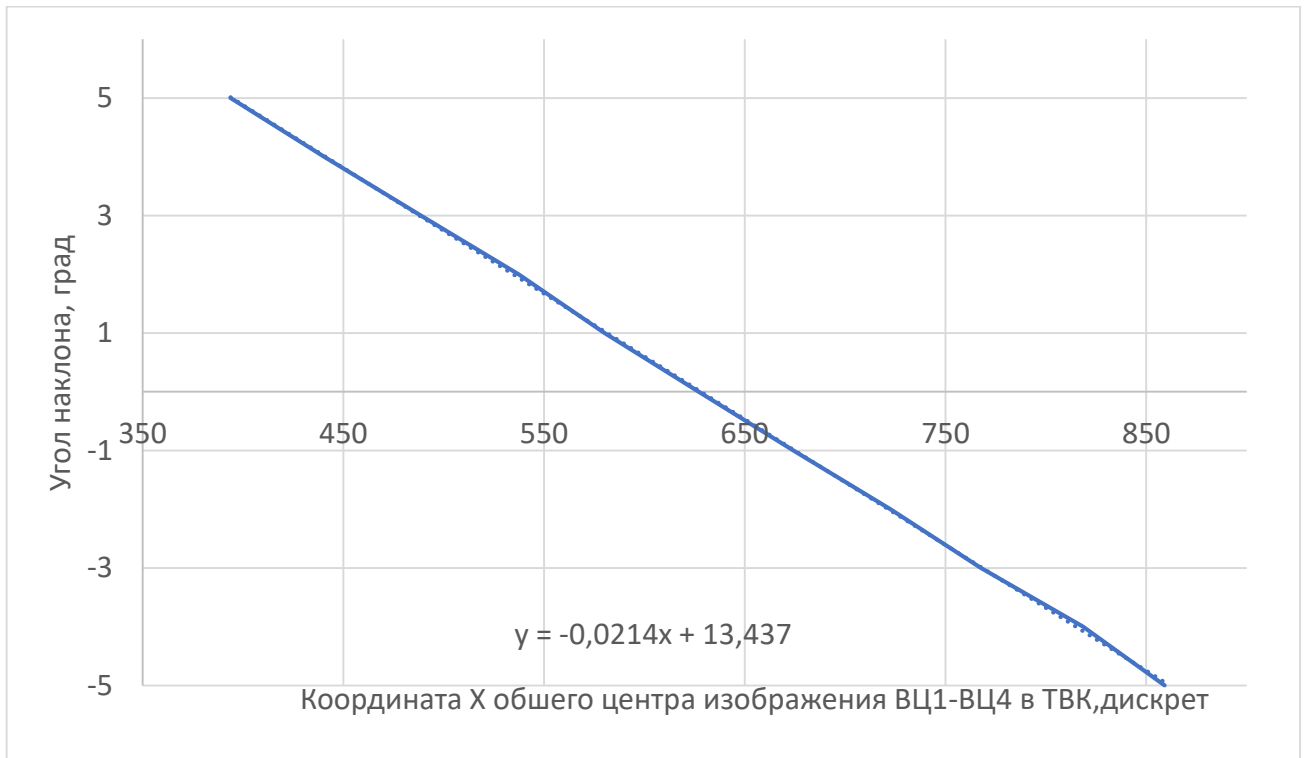


Рисунок 3.19 Зависимость угла наклона сосуда ВГН в направлении координатой оси X ТВК от положения общего центра изображений ВЦ в ТВК для уровня жидкости 145 мм

Зависимость угла наклона сосуда ВГН в направлении координатной оси X ТВК от положения общего центра изображений ВЦ в ТВК для уровня жидкости 145 мм определяется по формуле, угл.град.:

$$UX_{145} = -0.0214 * X_{145} + 13.437, \text{ угл.град.}, \quad (3.13)$$

где X_{145} – координата X, пиксель.

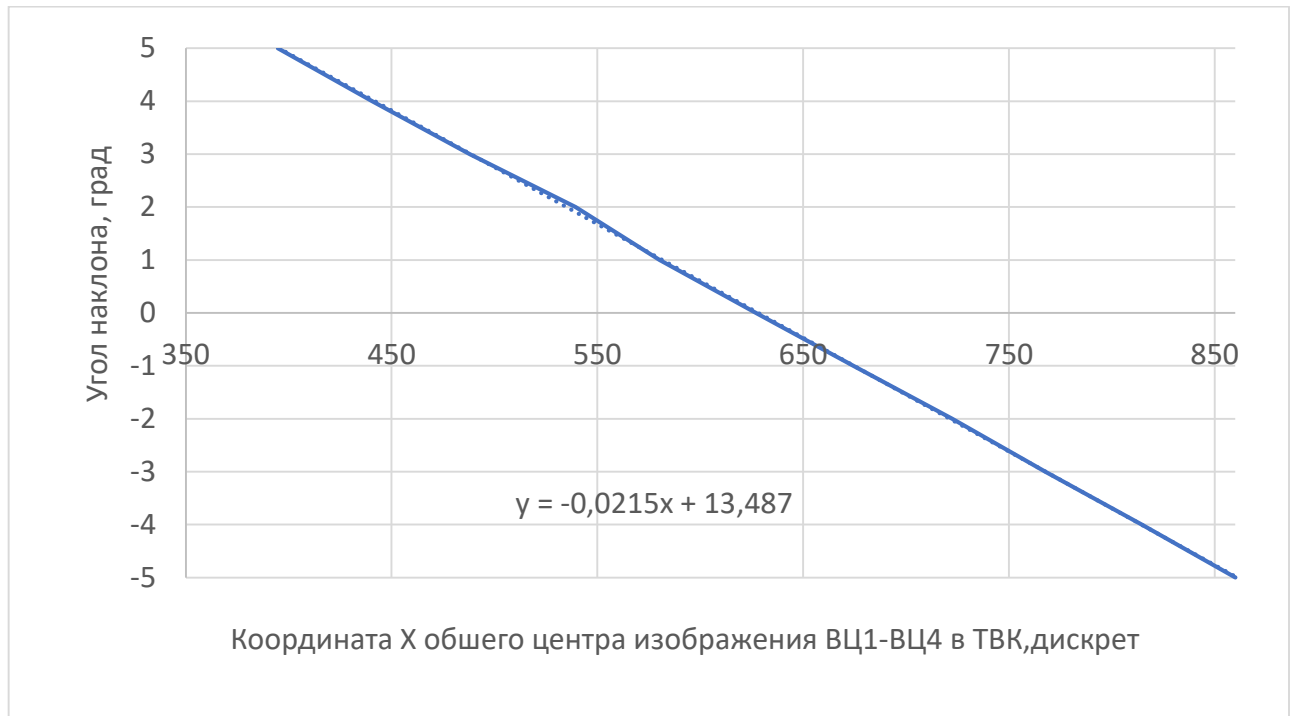


Рисунок 3.20 Зависимость угла наклона сосуда ВГН в направлении координатой оси X ТВК от положения общего центра изображений ВЦ в ТВК для уровня жидкости 165 мм

Зависимость угла наклона сосуда ВГН в направлении координатной оси X ТВК от положения общего центра изображений ВЦ в ТВК для уровня жидкости 165 мм определяется по формуле, угл.град.:

$$U_{X165} = -0.0215 * X_{165} + 13.487, \text{ угл.град.}, \quad (3.14)$$

где X_{165} – координата X, пиксель.

Коэффициенты полиномов первой степени, аппроксимирующих зависимости угла наклона сосуда ВГН от координаты X общего центра изображений ВЦ в ТВК для угла наклона сосуда ВГН в направлении координатой оси X ТВК представлены в Таблице 3.6.

Таблица 3.6

Коэффициенты полинома первой степени для аппроксимации зависимости угла наклона сосуда от координаты X общего центра изображений ВЦ в ТВК

Уровень мм	A	B
85	-0,0223	13,696
105	-0,0216	13,393
125	-0,0215	13,407
145	-0,0214	13,437
165	-0,0215	13,487

В общем случае угол наклона сосуда ВГН в направлении координатной оси X ТВК вычислялся по формуле, угл.град.:

$$UX_i = A_i * X_i + B_i, \quad (3.15)$$

где i – индекс уровня жидкости в сосуде ВГН;

A_i – коэффициент аппроксимирующего полинома, угл.град/пиксель;

B_i – коэффициент аппроксимирующего полинома, угл.град;

X_i – координата общего центра изображений ВЦ в ТВК, пиксель.

Погрешность измерения угла наклона сосуда ВГН при наклоне в направлении координатной оси X ТВК представлена в Таблице 3.7, из которой следует, что СКО результатов измерений угла наклона сосуда с аппроксимацией линейной функцией в направлении координатной оси X в диапазоне $\pm 5^\circ$ и уровнях жидкости (85,105,125,145,165) мм не превышает $0,053^\circ$.

Таблица 3.7

Погрешности угла наклона сосуда ВГН при наклоне
в направлении координатной оси X ТВК

Угол, угл.град	Уровни жидкости, мм				
	85	105	125	145	165
-5,00	0,05	0,01	0,01	-0,04	0,02
-4,00	0,06	0,03	0,02	0,09	0,05
-3,00	0,09	0,01	0,10	0,01	0,04
-2,00	0,05	0,04	0,04	0,06	0,08
-1,00	0,11	0,15	0,03	0,05	0,08
0,00	0,11	0,13	0,06	0,07	0,07
1,00	0,12	0,08	0,07	0,09	0,08
2,00	0,08	0,08	0,04	-0,02	-0,08
3,00	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01
4,00	0,00	0,08	-0,01	0,03	0,03
5,00	-0,06	-0,04	-0,04	0,03	0,01
СКО	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04

Погрешность измерения уровня жидкости в сосуда ВГН с поправкой за
наклон сосуда при его наклоне в направлении координатной оси X ТВК

На Рисунках 3.21–3.25 представлены зависимости поправки в измеряемый
уровень жидкости за наклон сосуда ВГН в направлении координатной оси X ТВК
в сравнении с уровнем жидкости при вертикальном положении сосуда и уравне-
ния аппроксимирующей функции для различных уровней жидкости.

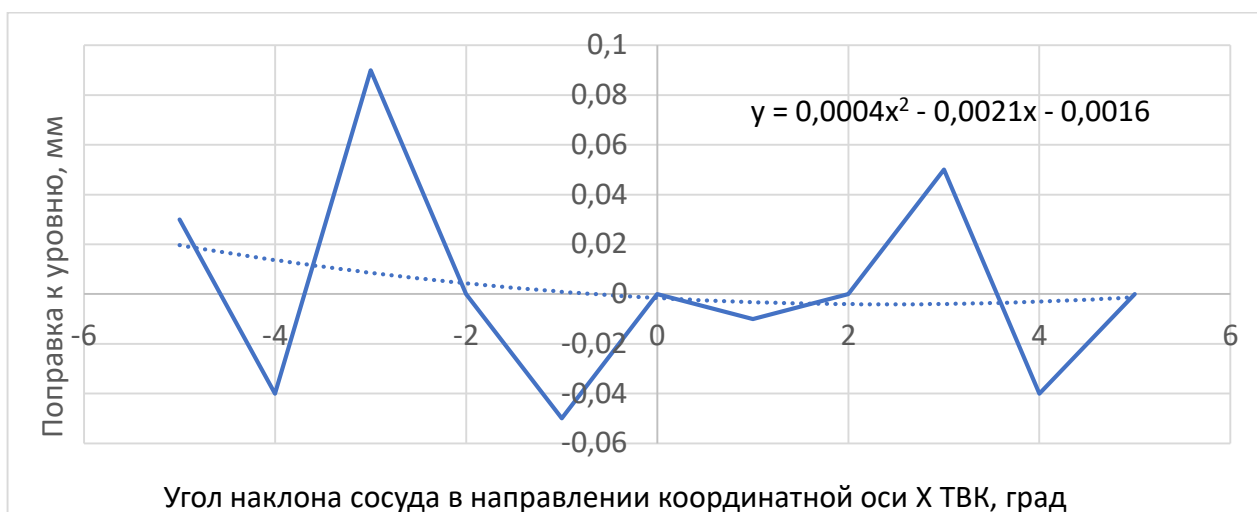


Рисунок 3.21 Поправка к уровню жидкости за наклон сосуда от вертикали в направлении координатной оси X ТВК для уровня жидкости 85 мм

Зависимость поправки к уровню жидкости для угла наклона сосуда ВГН в направлении координатной оси X ТВК от положения общего центра изображений ВЦ в ТВК для уровня жидкости 85 мм определяется по формуле, мм:

$$DN_{85} = 0.0004 * X_{85}^2 - 0.0021 * X_{85} - 0.0016, \quad (3.16)$$

где X_{85} – координата X, пиксель.

Зависимость поправки к уровню жидкости для угла наклона сосуда ВГН в направлении координатной оси X ТВК от положения общего центра изображений ВЦ в ТВК для уровня жидкости 105 мм определяется по формуле, мм:

$$DN_{105} = -0.0013 * X_{105}^2 - 0.0184 * X_{105} + 0.0135, \quad (3.17)$$

где X_{105} – координата X, пиксель.

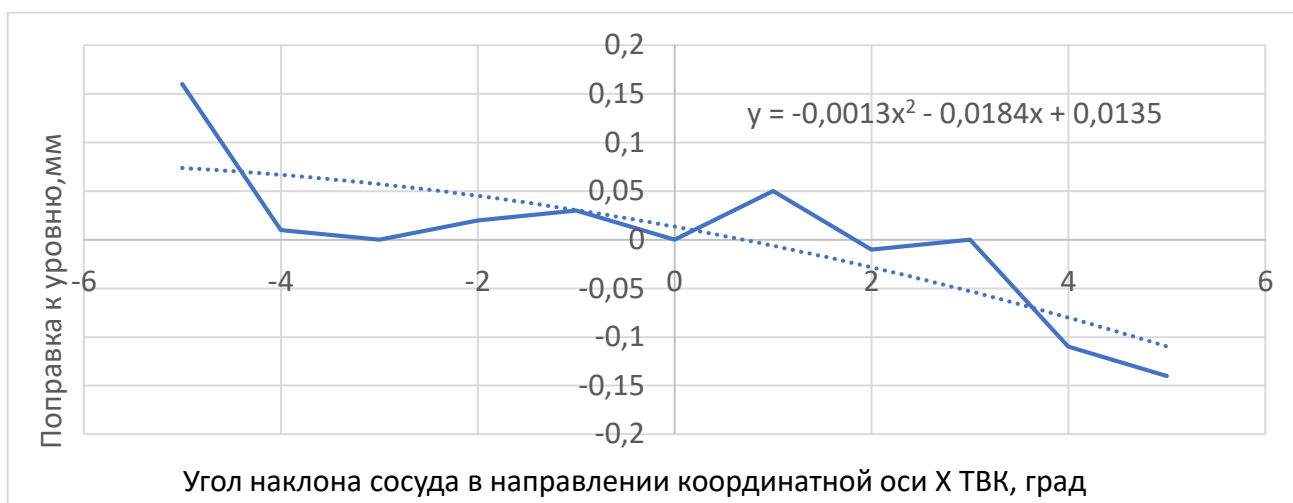


Рисунок 3.22 Поправка к уровню жидкости за наклон сосуда от вертикали и уравнение полинома второй степени для уровня жидкости 105 мм

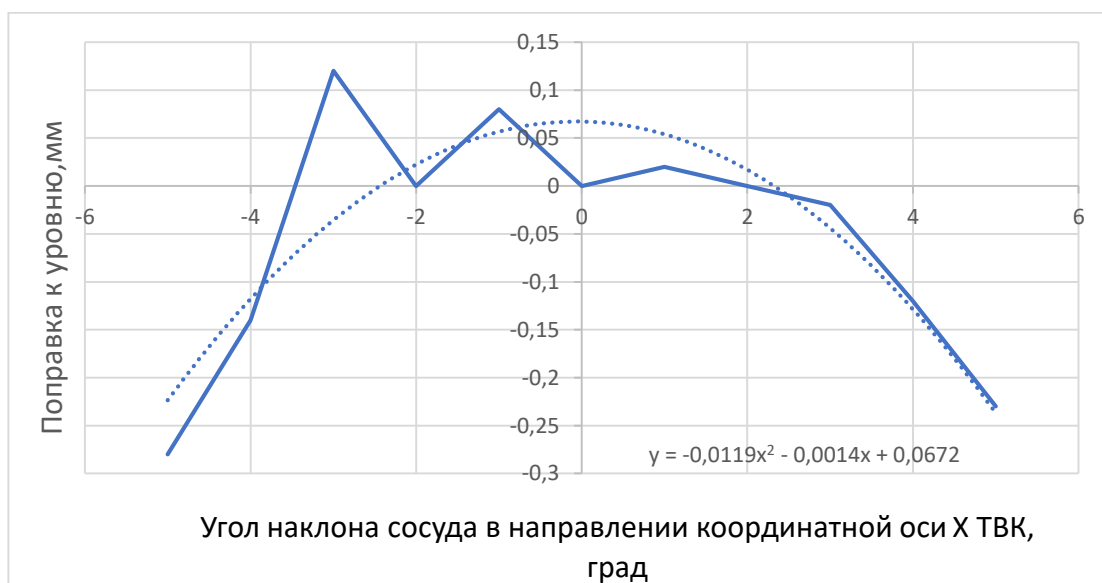


Рисунок 3.23 Поправка к уровню жидкости за наклон сосуда от вертикали и уравнение полинома второй степени для уровня жидкости 125мм

Зависимость поправки к уровню жидкости для угла наклона сосуда ВГН в направлении координатной оси X ТВК от положения общего центра изображений ВЦ в ТВК для уровня жидкости 125 мм определяется по формуле, мм:

$$DN_{125} = -0.0119 * X_{125}^2 - 0.0014 * X_{125} + 0.0672, \quad (3.18)$$

где X_{125} – значение координаты X , пиксель.

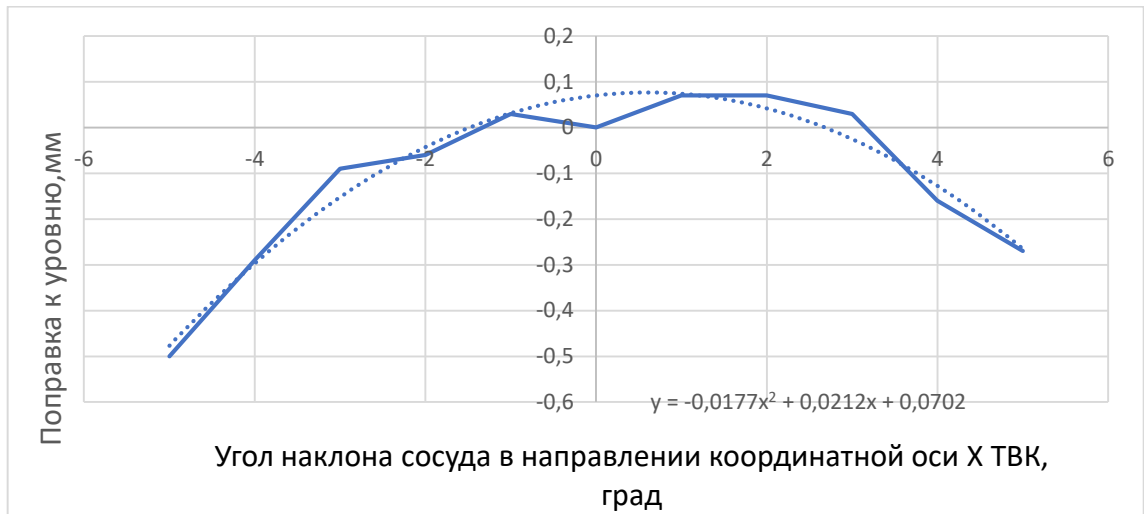


Рисунок 3.24 Поправка к уровню жидкости за наклон сосуда от вертикали и уравнение полинома второй степени для уровня жидкости 145 мм

Зависимость поправки к уровню жидкости для угла наклона сосуда ВГН в направлении координатной оси X ТВК от положения общего центра изображений ВЦ в ТВК для уровня жидкости 145 мм определяется по формуле, мм:

$$DH_{145} = -0.0177 * X_{145}^2 + 0.0212 * X_{145} + 0.0702, \quad (3.19)$$

где X_{145} – значение координаты X , пиксель.

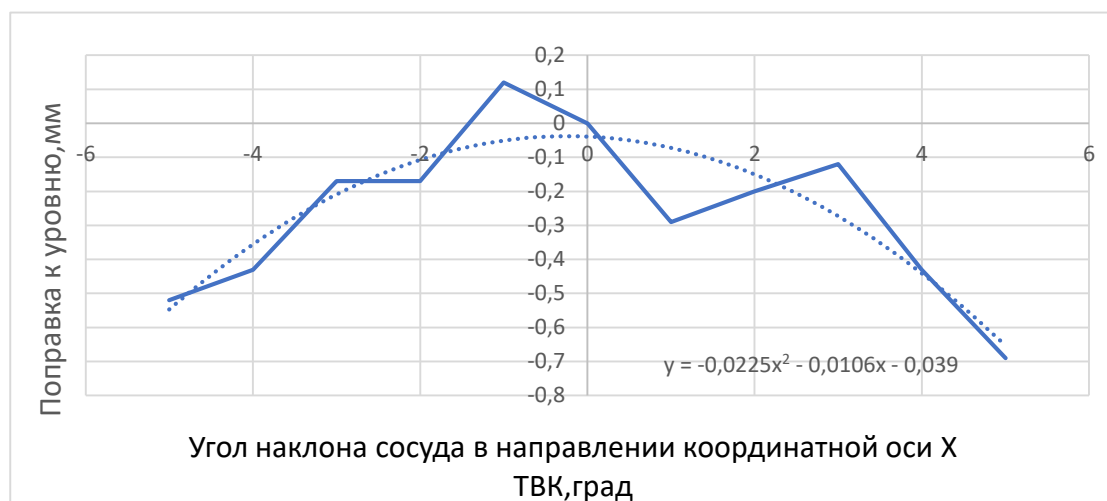


Рисунок 3.25 Поправка к уровню жидкости за наклон сосуда от вертикали и уравнение полинома второй степени для уровня жидкости 165мм

Зависимость поправки к уровню жидкости для угла наклона сосуда ВГН в направлении координатной оси X ТВК от положения общего центра изображений ВЦ в ТВК для уровня жидкости 165 мм определяется по формуле, мм:

$$DN_{165} = -0.0225 * X_{165}^2 - 0.0106 * X_{165} - 0.039, \quad (3.20)$$

где X_{165} — значение координаты X, пиксель.

Коэффициенты полиномов второй степени представлены в Таблице 3.8.

Таблица 3.8

Коэффициенты полиномов второй степени для уровней жидкости (85,105,125,145,165) мм

Уровень мм	A	B	C
85	0,0004	-0,0021	-0,0016
105	-0,0013	-0,0180	0,0135
125	-0,0119	-0,0014	0,0672
145	-0,0177	0,0212	0,0702
165	-0,0225	-0,0106	-0,0390

В общем случае поправка к уровню жидкости за наклон сосуда ВГН в направлении координатной оси X ТВК вычислялся по формуле, мм:

$$DH_i = A_i * X_i^2 + B_i * X_i + C_i, \quad (3.21)$$

где i – индекс уровня жидкости в сосуде;

A_i – коэффициент аппроксимирующего полинома, мм/пиксель/пиксель;

B_i – коэффициент аппроксимирующего полинома, мм /пиксель;

C_i – коэффициент аппроксимирующего полинома, мм;

X_i – координата общего центра изображений ВЦ1-ВЦ4 в ТВК, пиксель.

Как следует из Таблицы 3.8 СКО погрешности уровня жидкости при углах наклона сосуда ВГН в направлении координатной оси X ТВК в диапазоне $\pm 5^\circ$ и уровнях (85,105,125,145,165) мм не превышает 0,12мм.

Таблица 3.8

Погрешность уровня жидкости с поправкой за наклон
сосуда в направлении координатной оси X ТВК

Угол, угл.град	Уровень жидкости, мм				
	85	105	125	145	165
-5,00	0,09	0,21	-0,04	-0,24	0,34
-4,00	0,16	0,05	-0,01	-0,15	0,22
-3,00	0,14	0,03	0,17	-0,06	0,31
-2,00	0,07	0,04	-0,02	-0,10	0,19
-1,00	0,05	0,04	0,03	-0,04	0,40
0,00	0,00	-0,01	-0,07	-0,08	0,05
1,00	0,14	0,06	-0,03	-0,00	-0,01
2,00	0,10	0,01	-0,02	0,03	0,14
3,00	0,10	0,03	0,02	0,06	0,36
4,00	-0,04	-0,07	0,01	-0,03	0,28
5,00	0,03	-0,09	0,00	0,00	0,17
СКО	0,06	0,07	0,06	0,08	0,12

*Уровень жидкости в сосуде и координаты Y общего центра изображений
ВЦ в ТВК при наклоне сосуда в направлении координатной оси Y ТВК*

Уровни жидкости и координаты Y общего центра изображений ВЦ в ТВК приведены в Таблице 3.9.

Таблица 3.9

Измеренные уровни жидкости и координаты Y
общего центра изображений ВЦ в ТВК

Угол град.	H85 мм	Y85 пиксель	H105 мм	Y105 пиксель	H125 мм	Y125 пиксель	H145 мм	Y145 пиксель	H165 мм	Y165 пиксель
-5,00	10,70	1391,83	32,71	1394,94	53,32	1411,80	72,37	1415,54	90,98	1416,66
-4,00	10,13	1294,54	32,29	1296,64	52,86	1309,13	71,81	1312,33	90,72	1313,03
-3,00	9,62	1194,92	31,75	1196,68	52,42	1207,06	71,43	1208,98	90,10	1209,18
-2,00	9,28	1094,25	31,48	1095,3	51,97	1099,12	71,09	1105,69	89,86	1104,40
-1,00	8,95	995,22	31,30	994,57	51,97	991,81	71,00	1002,07	89,83	1000,03
0,00	8,73	894,85	31,09	892,23	51,82	896,48	71,09	897,11	89,69	895,86
1,00	8,58	793,17	31,05	789,30	51,80	792,82	71,00	793,57	89,78	790,88
2,00	8,71	691,28	31,15	686,96	51,80	688,18	71,13	689,74	89,60	687,31
3,00	8,85	590,95	31,30	584,05	52,08	584,46	71,20	583,77	89,75	588,66
4,00	9,18	490,53	31,46	482,45	52,25	480,45	71,43	478,85	89,92	478,73
5,00	11,21	385,00	31,85	380,47	52,53	377,47	71,57	375,05	90,30	373,17

Обозначения, принятые в Таблице 3.9:

- H85, H105, H125, H145, H165 - измеренные уровни жидкости, мм;

- Y85, Y105, Y125, Y145, Y165 - координаты X общего центра изображений ВЦ ТВК, пиксель.

Погрешность измерения угла наклона сосуда ВГН
в направлении координатной оси Y ТВК

Зависимости угла наклона сосуда ВГН в направлении координатной оси Y ТВК от положения общего центра изображений ВЦ в ТВК и уравнения аппроксимирующей функции для различных уровней жидкости представлены на Рисунках 3.26–3.30.

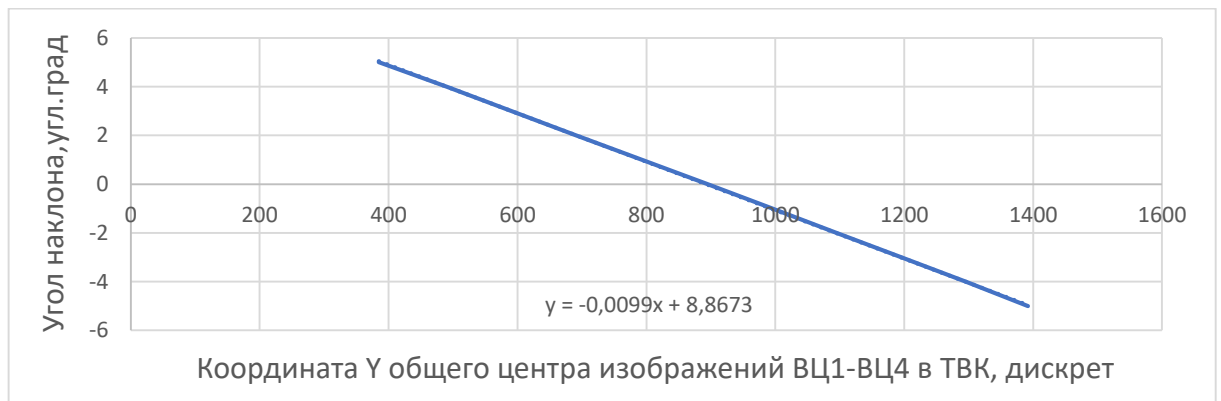


Рисунок 3.26 Зависимость угла наклона сосуда в направлении
координатной оси Y ТВК от положения общего центра
изображений ВЦ в ТВК для уровня жидкости 85 мм

Зависимость угла наклона сосуда ВГН в направлении координатной оси Y ТВК от положения общего центра изображений ВЦ в ТВК для уровня жидкости 85 мм определяется по формуле, угл.град.:

$$UY_{85} = -0.0099 * Y_{85} + 8.867, \quad (3.22)$$

где Y_{85} – координата Y, пиксель.

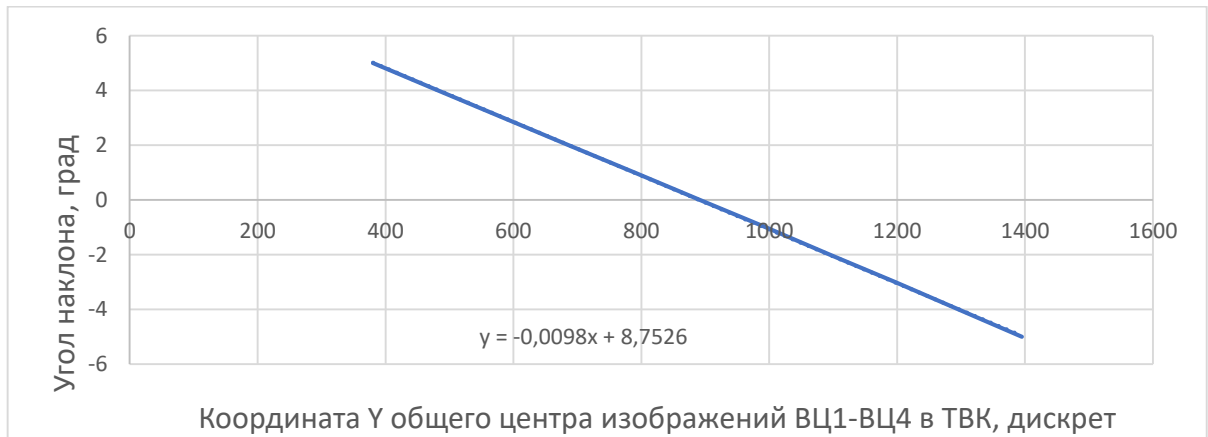


Рисунок 3.27 Зависимость угла наклона сосуда ВГН в направлении координатной оси Y ТВК от положения общего центра изображений ВЦ в ТВК для уровня жидкости 105 мм

Зависимость угла наклона сосуда ВГН в направлении координатной оси Y ТВК от положения общего центра изображений ВЦ в ТВК для уровня жидкости 105 мм определяется по формуле, угл.град.:

$$UY_{105} = -0.0098 * Y_{105} + 8.752, \quad (3.23)$$

где Y_{105} – координата Y, пиксель.

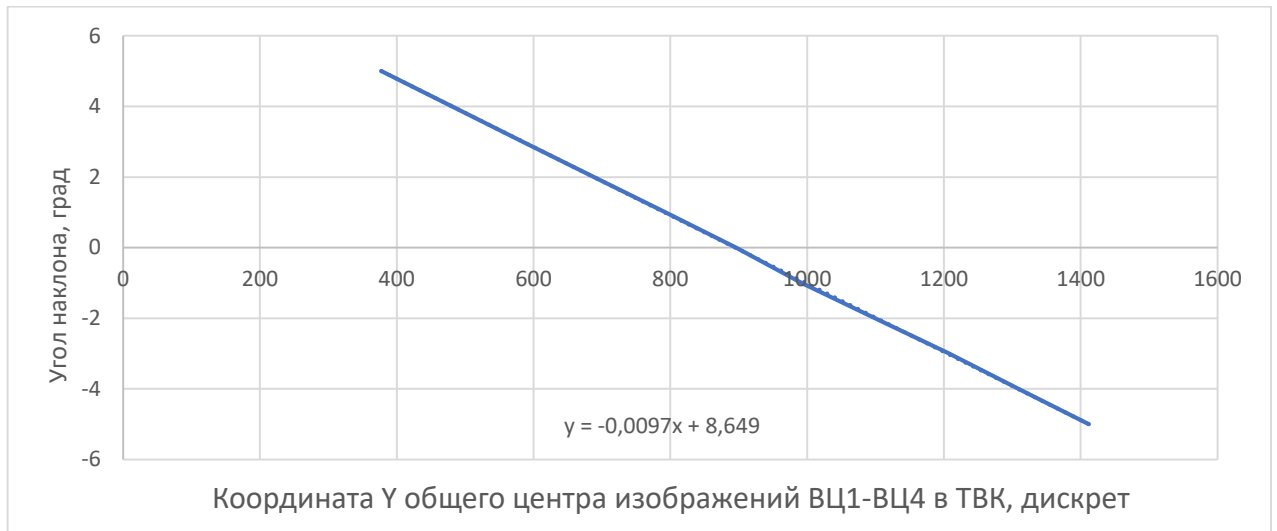


Рисунок 3.28 Зависимость угла наклона сосуда ВГН в направлении координатной оси Y ТВК от положения общего центра изображений ВЦ в ТВК для уровня жидкости 125 мм

Зависимость угла наклона сосуда ВГН в направлении координатной оси Y ТВК от положения общего центра изображений ВЦ в ТВК для уровня жидкости 125 мм определяется по формуле, угл.град.:

$$UY_{125} = -0.0097 * Y_{125} + 8.649, \quad (3.24)$$

где Y_{125} – координата Y, пиксель.

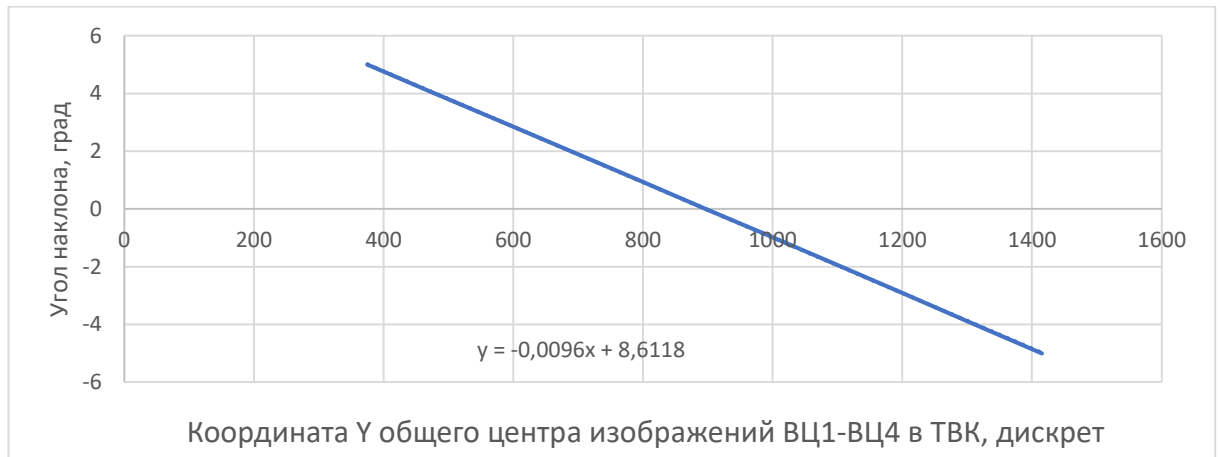


Рисунок 3.29 Зависимость угла наклона сосуда ВГН в направлении координатной оси Y ТВК от положения общего центра изображений ВЦ в ТВК для уровня жидкости 145 мм

Зависимость угла наклона сосуда ВГН в направлении координатной оси Y ТВК от положения общего центра изображений ВЦ в ТВК для уровня жидкости 145 мм определяется по формуле, угл.град.:

$$UY_{145} = -0.0096 * Y_{145} + 8.612, \quad (3.25)$$

где Y_{145} – координата Y, пиксель.

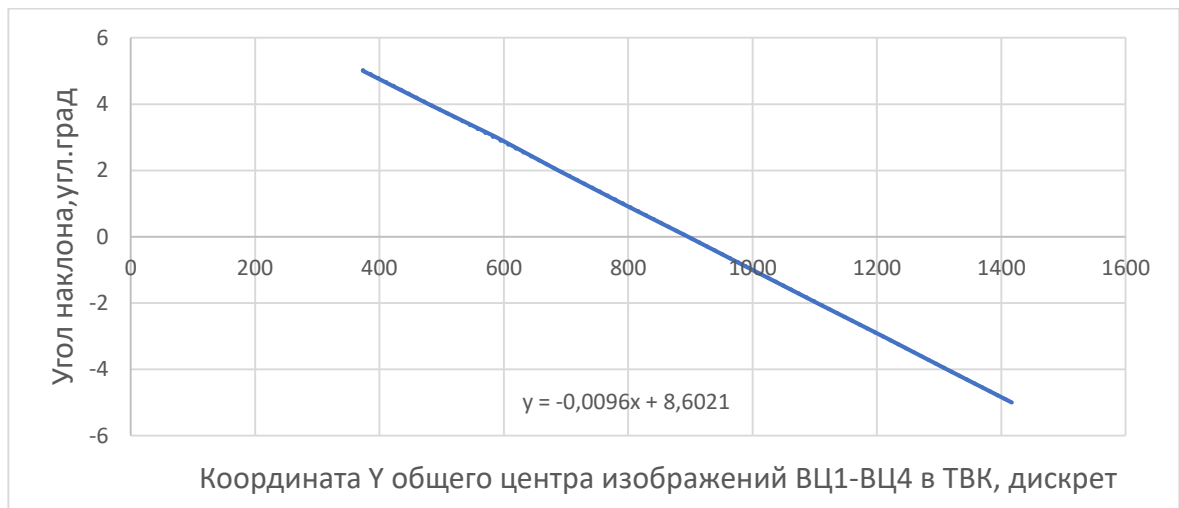


Рисунок 3.30 Зависимость угла наклона сосуда ВГН в направлении координатной оси Y ТВК от положения общего центра изображений ВЦ в ТВК для уровня жидкости 165 мм

Зависимость угла наклона сосуда ВГН в направлении координатной оси Y ТВК от положения общего центра изображений ВЦ в ТВК для уровня жидкости 165 мм определяется по формуле, угл.град.:

$$UY_{165} = -0.0096 * Y_{165} + 8.602, \quad (3.26)$$

где Y_{165} — координата Y, пиксель.

Коэффициенты полиномов первой степени, аппроксимирующей зависимости угла наклона сосуда ВГН от координаты Y общего центра изображений ВЦ в ТВК для угла наклона сосуда в направлении координатой оси X ТВК приведены в Таблице 3.10.

Таблица 3.10

Коэффициенты полинома первой степени, аппроксимирующей зависимости координаты Y общего центра изображений ВЦ в ТВК для угла наклона сосуда в направлении координатной оси X ТВК

Высота мм	A	B
85	-0,0099	8,8673
105	-0,0098	8,7526
125	-0,0097	8,6490
145	-0,0096	8,6118
165	-0,0096	8,6021

Угол наклона сосуда ВГН при наклоне в направлении координатной оси Y ТВК вычислялся по формуле , угл.град.:

$$UY_i = A_i * Y_i + B_i, \quad (3.27)$$

где i – индекс уровней жидкости в сосуде;

A_i – коэффициент аппроксимирующего полинома, угл.град/пиксель;

B_i – коэффициент аппроксимирующего полинома, угл.град;

Y_i – координата общего центра изображений ВЦ в ТВК, пиксель.

В соответствии с Таблицей 3.11 СКО углов наклона сосуда ВГН в направлении координатной оси Y в диапазоне $\pm 5^\circ$ и уровнях жидкости (85,105,125,145,165) мм не превышает $0,06^\circ$.

Таблица 3.11

Погрешности угла наклона сосуда ВГН при
наклоне в направлении координатной оси Y ТВК

Угол, угл.град.	Уровень жидкости, мм				
	85	105	125	145	165
-5,00	-0.09	0.02	0.05	-0.02	-0.00
-4,00	-0.05	0.03	0.05	-0.01	0.00
-3,00	-0.04	0.04	0.06	-0.00	0.01
-2,00	-0.03	0.04	0.02	0.01	0.01
-1,00	-0.06	0.04	-0.01	0.02	0.01
0,00	0.13	0.17	0.22	0.14	0.20
1,00	0.02	0.02	0.030	0.00	0.03
2,00	0.03	0.02	-0.00	-0.01	0.02
3,00	0.02	0.03	-0.01	0.01	-0.04
4,00	0.02	0.03	-0.00	0.02	0.02
5,00	0.06	0.03	-0.00	0.01	0.03
СКО	0,00	0,04	0,06	0,04	0,06

Погрешность измерения уровня жидкости в сосуда ВГН с поправкой за
наклон сосуда при наклоне в направлении координатной оси Y ТВК

На Рисунках 3.31–3.35 в графическом виде представлены зависимости поправки к измеряемому уровню жидкости за наклон сосуда ВГН от вертикали для различных уровней жидкости.

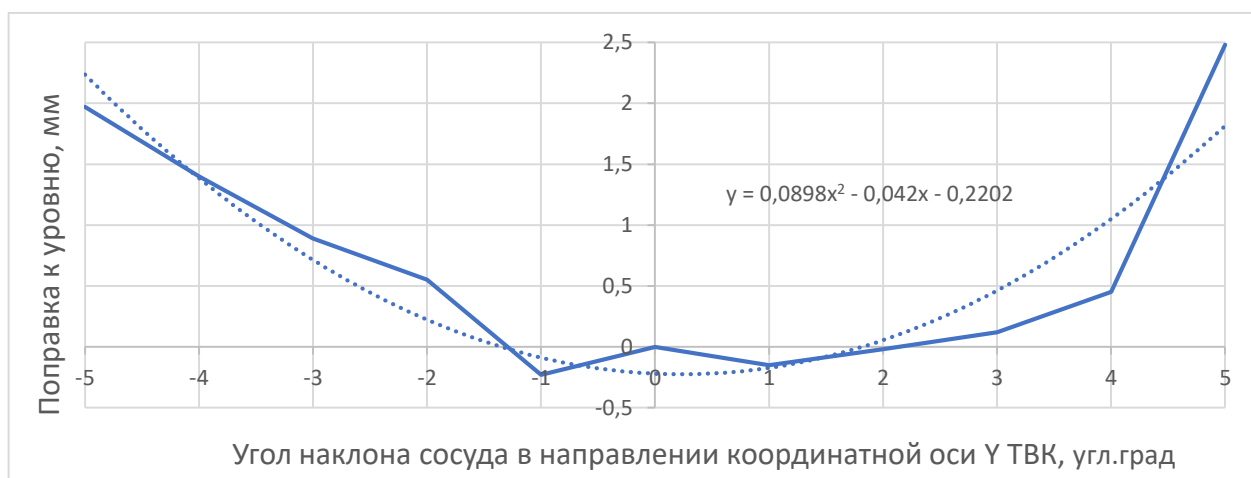


Рисунок 3.31 Зависимость поправки за наклон сосуда от вертикали
в направлении координатной оси Y ТВК для уровня жидкости 85 мм

Зависимость поправки к уровню жидкости для угла наклона сосуда ВГН в направлении координатной оси Y ТВК от положения общего центра изображений ВЦ в ТВК для уровня жидкости 165 мм определяется по формуле, мм:

$$DHY85 = 0.0898 * Y85^2 - 0.042 * Y85 - 0.2202, \quad (3.28)$$

где Y85 – координата Y, пиксель.

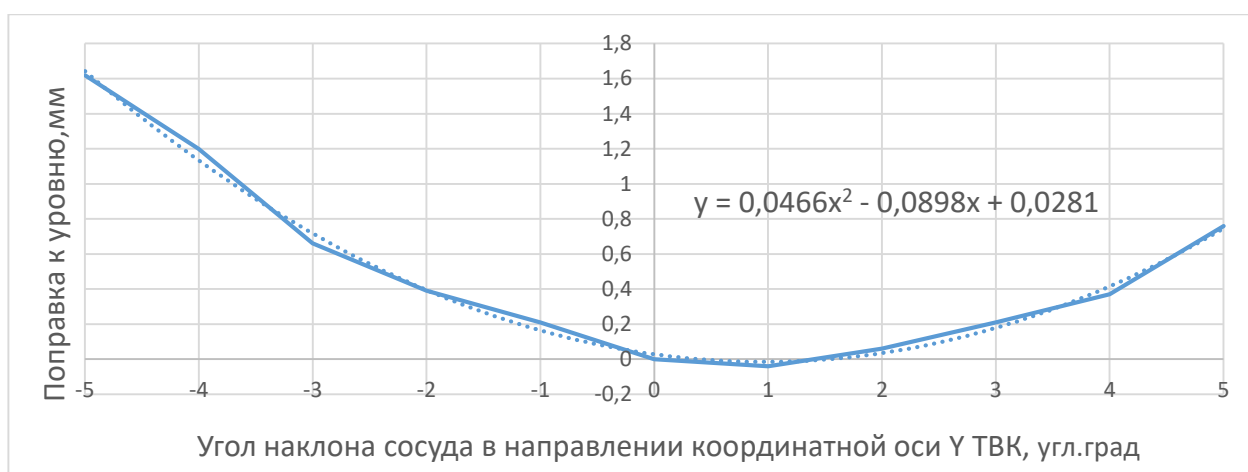


Рисунок 3.32 Зависимость поправки за наклон сосуда от вертикали в направлении координатной оси Y ТВК для уровня жидкости 105 мм

Зависимость поправки к уровню жидкости для угла наклона сосуда ВГН в направлении координатной оси Y ТВК от положения общего центра изображений ВЦ в ТВК для уровня жидкости 105 мм определяется по формуле, мм:

$$DHY105 = 0.0466 * Y105^2 - 0.0898 * Y105 + 0.0281, \quad (3.29)$$

где Y105 – координата Y, пиксель.

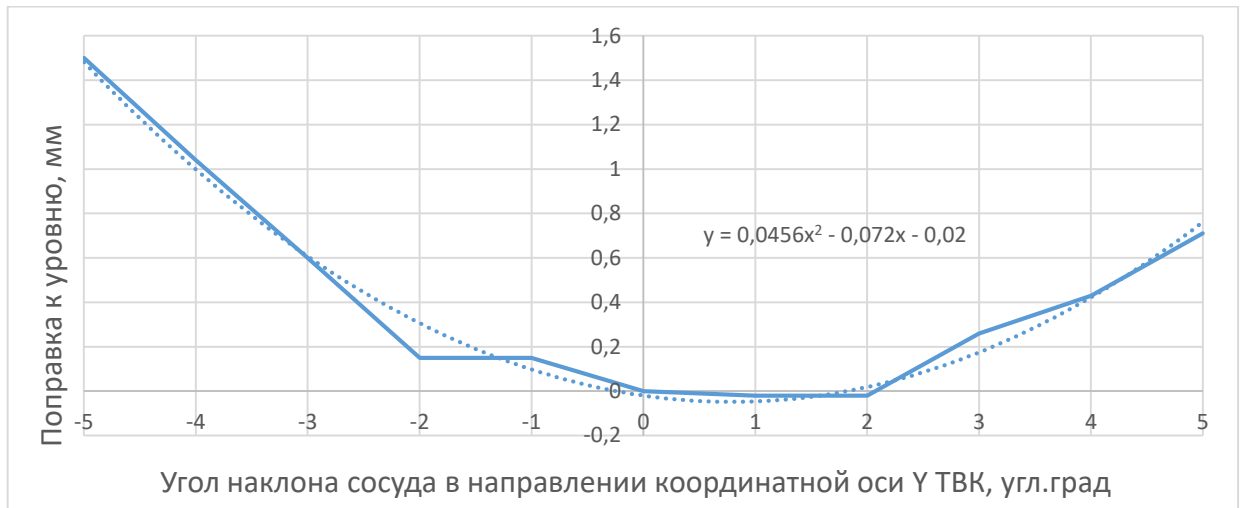


Рисунок 3.33 Зависимость поправки за наклон сосуда от вертикали в направлении координатной оси Y ТВК для уровня жидкости 125 мм

Зависимость поправки к уровню жидкости для угла наклона сосуда ВГН в направлении координатной оси Y ТВК от положения общего центра изображений ВЦ в ТВК для уровня жидкости 125 мм определяется по формуле, мм:

$$DHY_{125} = 0.0456 * Y_{125}^2 - 0.072 * Y_{125} - 0.02, \quad (3.30)$$

где Y_{125} – координата Y, пиксель.

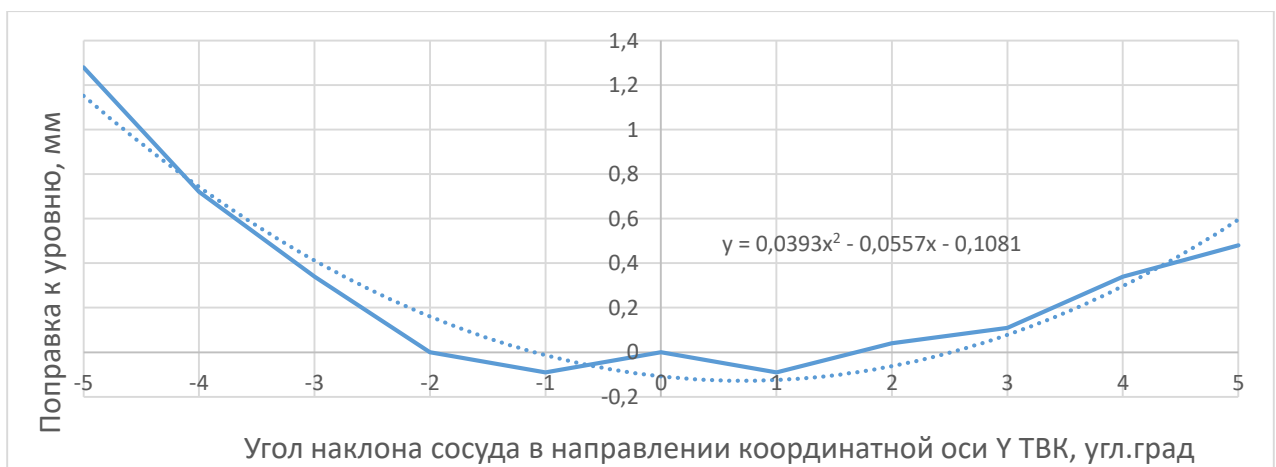


Рисунок 3.34 Зависимость поправки за наклон сосуда от вертикали в направлении координатной оси Y ТВК для уровня жидкости 145 мм

Зависимость поправки к уровню жидкости для угла наклона сосуда ВГН в направлении координатной оси Y ТВК от положения общего центра изображений ВЦ в ТВК для уровня жидкости 145 мм определяется по формуле, мм:

$$DHY_{145} = 0.0393 * Y_{145}^2 - 0.0557 * Y_{145} - 0.1081, \quad (3.31)$$

где Y_{145} – координата Y, пиксель.

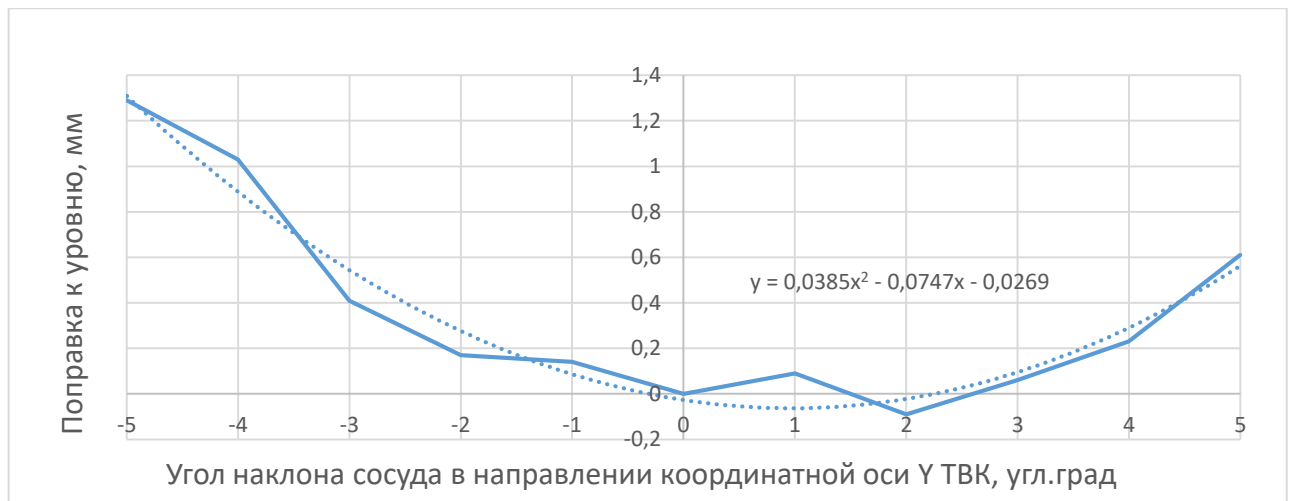


Рисунок 3.35 Зависимость поправки за наклон сосуда от вертикали в направлении координатной оси Y ТВК для уровня жидкости 165 мм

Зависимость поправки к уровню жидкости для угла наклона сосуда ВГН в направлении координатной оси Y ТВК от положения общего центра изображений ВЦ в ТВК для уровня жидкости 165 мм определяется по формуле, мм:

$$DHY_{165} = 0.0385 * Y_{165}^2 - 0.0747 * Y_{165} - 0.0269, \quad (3.32)$$

где Y_{165} – координата Y, пиксель.

Коэффициенты аппроксимирующего полинома второй степени представлены в таблице 3.12.

Таблица 3.12

Коэффициенты полиномов второй степени
для уровней жидкости (85,105,125,145,165)мм

Уровень мм	A	B	C
85	0,0898	-0,0420	0,2202
105	0,0466	-0,0898	0,0281
125	0,0456	-0,0720	-0,0200
145	0,0393	-0,0557	-0,1081
165	0,0385	-0,0747	-0,0269

В общем случае поправка к уровню жидкости за наклон сосуда ВГН в направлении координатной оси Y ТВК вычислялся по формуле, мм.:

$$DHY_i = A_i * Y_i^2 + B_i * Y_i + C_i, \quad (3.33)$$

где i – индекс уровня жидкости,

A_i – коэффициент аппроксимирующего полинома, мм/пиксель/пиксель,

B_i – коэффициент аппроксимирующего полинома, мм /пиксель,

C_i – коэффициент аппроксимирующего полинома, мм

Y_i – координата общего центра изображений ВЦ в ТВК, пиксель.

В таблице 3.13 представлены значения СКО уровня жидкости при углах наклона сосуда ВГН в направлении координатной оси Y ТВК в диапазоне $\pm 5^\circ$ и уровнях (85,105,125,145,165) мм.

Как следует из Таблицы 3.13 СКО уровня жидкости при углах наклона сосуда ВГН в направлении координатной оси Y ТВК в диапазоне $\pm 5^\circ$ и уровнях (85,105,125,145,165) мм не превышает 0,12мм.

Таблица 3.13

Погрешность уровня жидкости с поправкой
за наклон сосуда в направлении координатной оси Y ТВК

Угол, угл.град.	Уровень жидкости, мм				
	85	105	125	145	165
-5,00	0.09	0.21	-0.04	-0.24	0.33
-4,00	0.16	0.05	-0.07	-0.16	0.21
-3,00	0.14	0.03	0.17	-0.06	0.30
-2,00	0.07	0.04	-0.02	-0.10	0.18
-1,00	0.05	0.03	0.03	-0.04	0.39
0,00	0.00	-0.01	-0.07	-0.07	0.04
1,00	0.14	0.05	-0.03	-0.00	-0.02
2,00	0.10	0.01	-0.02	0.03	0.15
3,00	0.10	0.03	0.02	0.06	0.35
4,00	-0.04	-0.07	0.01	-0.03	0.21
5,00	0.03	-0.09	0.01	-0.00	0.17
СКО	0,06	0,07	0,06	0,08	0,12

3.2 Экспериментальная апробация видеогидростатического нивелира с измерением высотных положений контролируемых объектов в производственных условиях

Производственные исследования ВГН повышенной точности осуществлялись с серийными ВД, зарегистрированными в качестве типа средства измерения (Приложения Б, В, Г).

Типовая схема ВГН содержит следующие основные узлы:

- 1 Систему сообщающихся сосудов с установленными на них ВД, закрепленными на контролируемых узлах контролируемых объектов.
- 2 Линию связи ВД с ПК типа RS-485, функционирующую по протоколу обмена Modbus.
- 3 ПК со специальной прикладной компьютерной программой, соединенный с помощью модема с Internet.

4 Сайт data.monitron.xyz, на котором зарегистрированным пользователям предоставляется доступ к результатам измерений ВГН в режиме реального времени.

Работа ВГН осуществляется в автоматизированном режиме с возможностью связи с удаленными ПК и мобильными телефонами.

Исследования ВГН выполнялись на различных объектах:

1 В г.Москве для мониторинга осадок зданий в зоне деформаций при строительстве метрополитена закрытым способом [95].

2 В г.Самаре для мониторинга осадок зданий в зоне деформаций при строительстве метрополитена открытым способом [96].

3 На Загорской гидроаккумулирующей электростанции для мониторинга контролируемого подъема основания машинного зала методом напряженного нагнетания быстро затвердевающего раствора [97].

4 На шлюзе №9 Карамышевского гидроузла канала им. Москвы при проходке перегонных тоннелей московского метрополитена [98].

Результаты производственных исследований полностью согласуются с результатами лабораторных исследований, что свидетельствует о надежности работы ВГН.

Мониторинг осадок зданий в зоне проходки закрытым способом тоннеля московского метрополитена

Мониторинг осуществлялся в 102 контролируемых точках, расположенных в основании комплекса зданий РГУНиГ им. И.М.Губкина по адресу: г.Москва, Ленинский, пр., д.65 [95].

В контролируемых точках устанавливались сосуды ВГН с ВД с протяженностью трассы около 185м.

Расположение 19 из 102 сосудов ВГН с ВД в основании центральной части комплекса зданий, расположенных над проходкой двух тоннелей московского метрополитена, представлен на Рисунке 3.36.

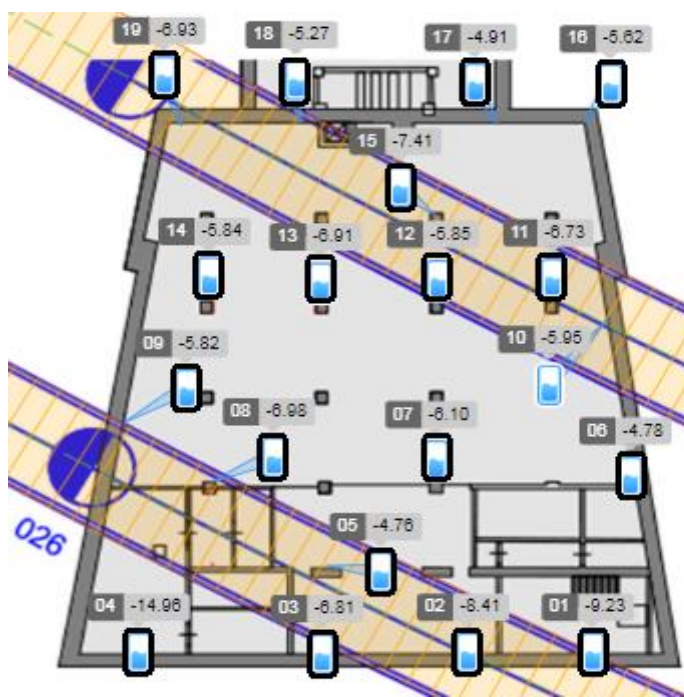


Рисунок 3.36 Расположение 19 из 102 сосудов ВГН с ВД в основании центральной части здания по адресу: г.Москва, Ленинский пр., д.65

Под управлением специальной прикладной компьютерной программы ПК принимал соответствующую информацию от ВД, анализировал и архивировал ее. При превышении измеренных параметров допустимых значений программа оперативно предоставляла соответствующую информацию заказчикам мониторинга.

Погрешность измерений с вероятностью 0,997 находилась в пределах $\pm 0,1$ мм.

Измерения выполнялись под управлением специальной прикладной компьютерной программы с записью результатов в архивном файле энергонезависимой памяти ПК. Кроме того, результаты измерений и сопутствующая информация отображались на мониторе ПК.

Результаты мониторинга осадок трех (из 19) контролируемых точек в центральной части здания с установленными сосудами с ВД с заводскими номерами 5, 8 и 9 и расположенными на расстоянии около 7м друг от друга представлены на Рисунке 3.37.

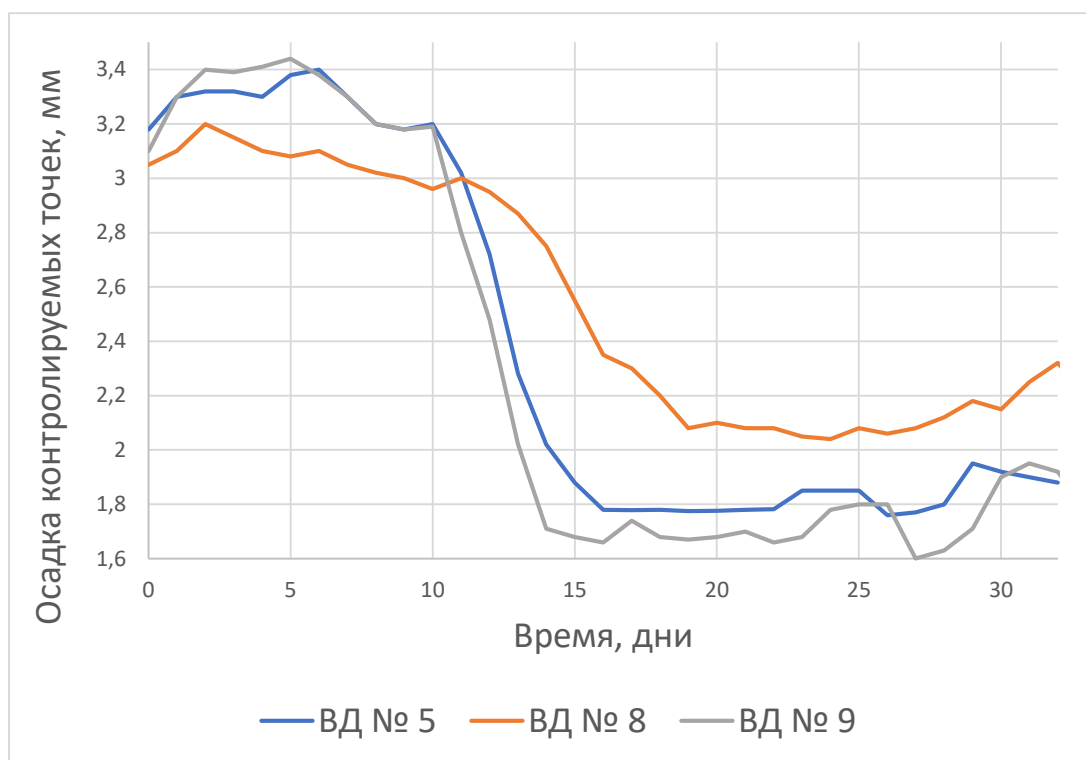


Рисунок 3.37 Результаты мониторинга осадок трех контролируемых точек в центральной части здания по адресу: г.Москва, Ленинский пр., д.65

Как следует из Рисунка 3.37, сходимость результатов измерений в течение времени от 12.07 до 19.07 (при стабилизации деформационных процессов) не превышает ± 0.1 мм.

Синхронный характер изменений результатов измерений свидетельствует о надежности получаемой информации.

Измерения выполнялись с периодом 1 мин., что позволяло наблюдать динамику деформационных процессов на ранних этапах ее развития.

По результатам измерений амплитуда деформаций за период наблюдений с 21.06 2022 по 25.07.2022 в среднем составила 1,7мм. Кратковременная (в течение 5 минут) сходимостъ результатов измерений находится в пределах ± 0.1 мм, что свидетельствует о высокой точности ВГН.

Мониторинг осадок зданий в зоне проходки открытым способом тоннеля метрополитена в г. Самара

Мониторинг осуществлялся в 15 контролируемых точках, расположенных в основании здания по адресу: г. Самара, ул.Галактионовская, д.141 [96].

В контролируемых точках устанавливались сосуды ВГН с ВД. Общая протяженность трассы составляла около 45м.

Фрагмент плана подвального этажа здания с семью (из 15) установленными сосудами с ВД представлен на Рисунке 3.38.

В непосредственной близости к разрабатываемому котловану находился сосуд с номером 3-01, а наиболее удаленный – сосуд с номером 3-07.

На Рисунке 3.39 дан график изменений высотных положений контролируемых точек за период наблюдений с 01.11.2022 по 12.03.2023, в соответствии с которым наибольшие изменения высотного положения контролируемых точек здания зарегистрированы в непосредственной близости от котлована, которые составили: -4,4мм и -4.22мм соответственно для сосудов с номерами 3-02 и 3-03.

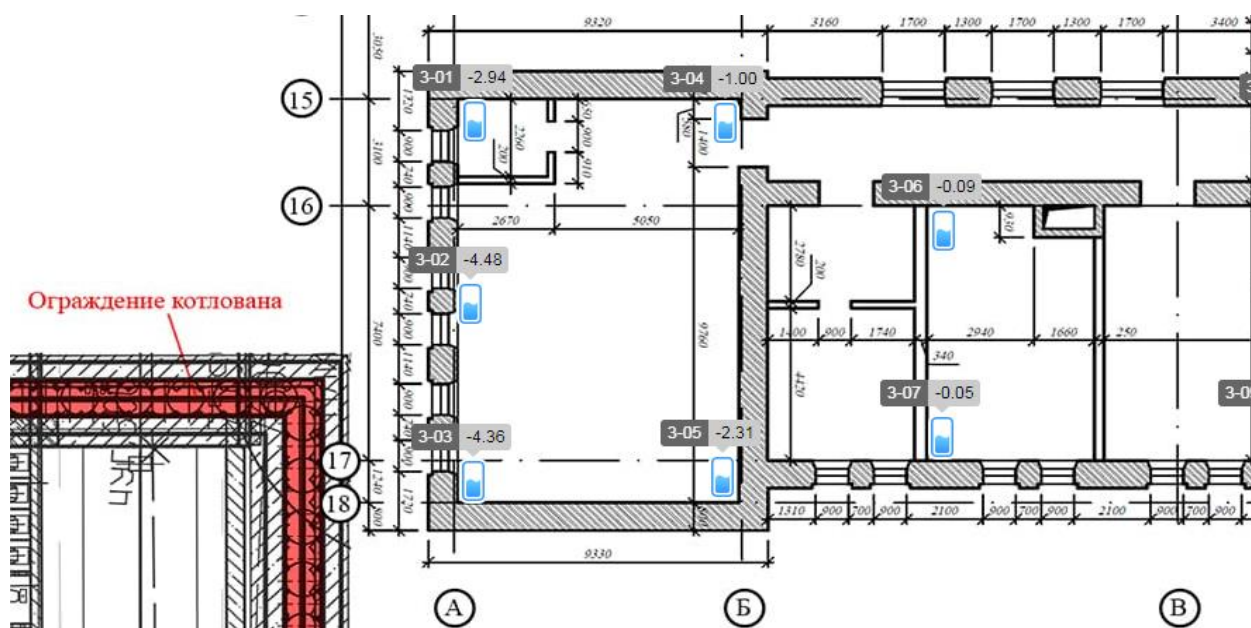


Рисунок 3.38 Фрагмент плана подвального этажа здания по адресу:
г. Самара, ул.Галактионовская, д.141 с 7 из 15 сосудах ВГН

Высотные положения контролируемых точек здания с установленными на них сосудами с ВД с номерами 3-01 и 3-05 изменились соответственно на -2.77мм и -2.19мм, а высотные положения остальных – в пределах 1мм.

В соответствии с Рисунком 3.39 наблюдалось синхронное изменение результатов измерений, что свидетельствует о надежности получаемой информации, которая также подтверждается тем, что в сосудах ВГН, наиболее близко расположенных к котловану, зарегистрировано наибольшее изменение уровня жидкости – наибольшее изменение высотных положений.



Рисунок 3.39 Изменения с момента начала мониторинга высотных положений контролируемых точек основания здания по адресу: г. Самара, ул.Галактионовская, д.141 при проходке открытым способом тоннеля метрополитена

Как следует из Рисунка 3.39, повторяемость результатов измерений при стабилизации деформационных процессов не превышает ± 0.1 мм.

Мониторинг высотных положений контролируемых точек основания машинного зала Загорской ГАЭС при его подъеме методом напряженного нагнетания быстро затвердевающего раствора

Вследствие аварийной ситуации произошла существенная осадка основания машинного зала Загорской гидроаккумулирующей электростанции, ввиду чего было принято решение о его подъеме методом напряженного нагнетания быстро затвердевающего раствора [97].

Для контроля процесса подъема и выравнивания основания зала с возможностью визуального наблюдения за динамикой процесса в режиме реального времени был использован ВГН с более чем 100 сосудах с ВД повышенной точности, расположенными на четырех уровнях здания.

План одного из уровней машинного зала Загорской гидроаккумулирующей электростанции с установленными 19 сосудах ВГН с ВД представлен на Рисунке 3.40, а на Рисунке 3.41 – графики изменений высотных положений контролируемых точек здания.

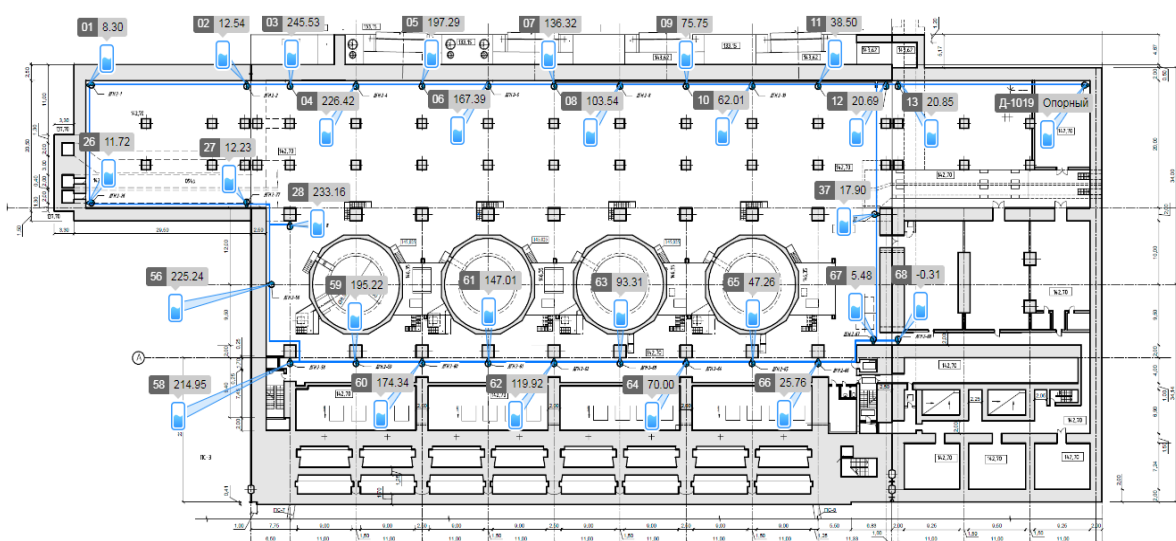


Рисунок 3.40 План машинного зала Загорской ГАЭС
с установленными 19 сосудах ВГН с ВД

Подъем и выравнивание машинного зала, как отмечалось выше, проводились под контролем информации, получаемой от ВГН. Синхронность изменений высотных положений контролируемых точек машинного зала свидетельствует о достоверности и надежности получаемой информации.

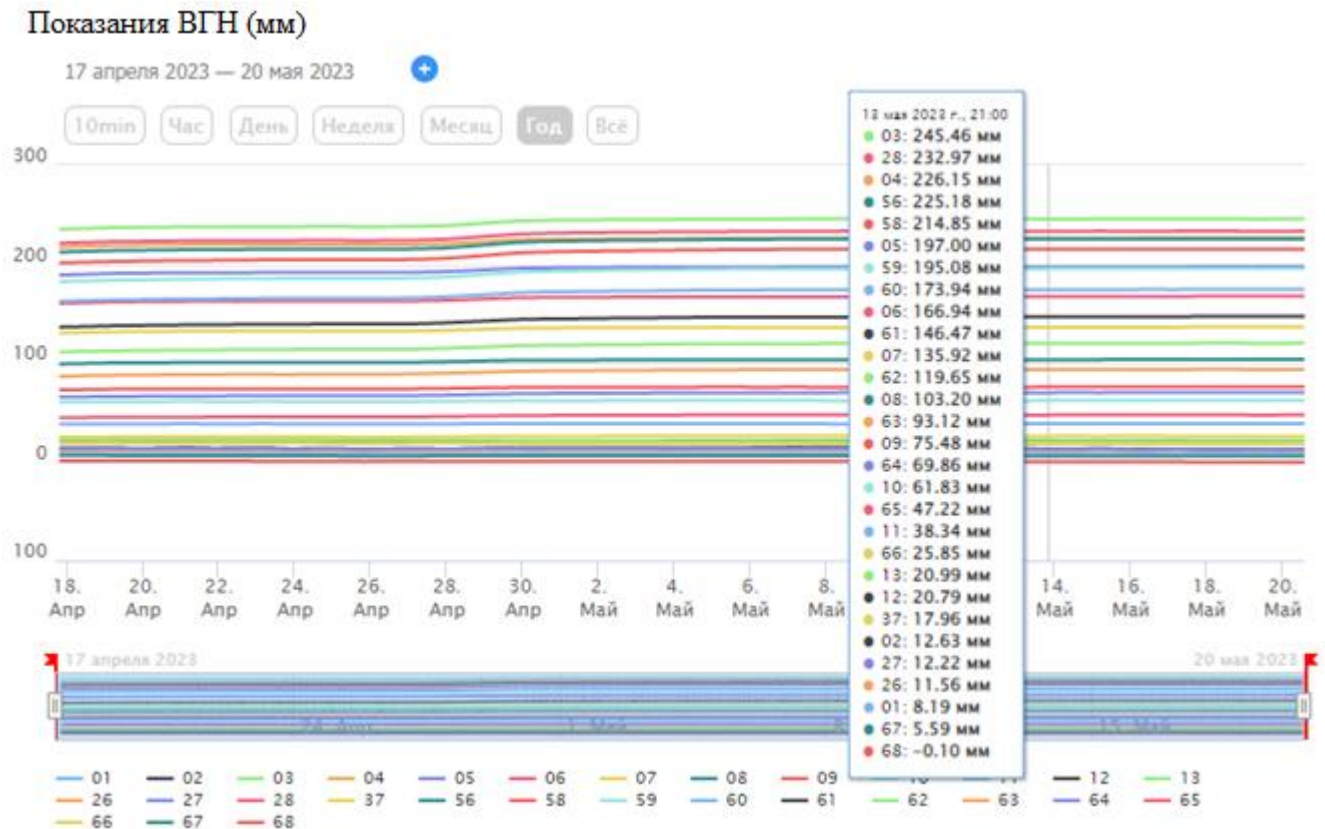


Рисунок 3.41 Изменения высотных положений
контролируемых точек машинного зала Загорской ГАЭС

Мониторинг высотных положений контролируемых точек шлюза №9 Карамышевского гидроузла канала им.Москвы при проходке перегонных тоннелей московского метрополитена

При строительстве Большой кольцевой линии Московского метрополитена в основании шлюза №9 Карамышевского гидроузла канала им.Москвы прокладывались два перегонных тоннеля диаметром 6,0м [98].

На Рисунке 3.42 представлено расположение сосудов ВГН с ВД на левой (Л-01...,Л-08) и правой (П-01,...,П-08) сторонах шлюза. Расстояние между тоннелями и подошвой камеры шлюза составляло 15 м. Трасса тоннелей, обозначенная красным цветом, пересекает камеру шлюза под углом 70° .

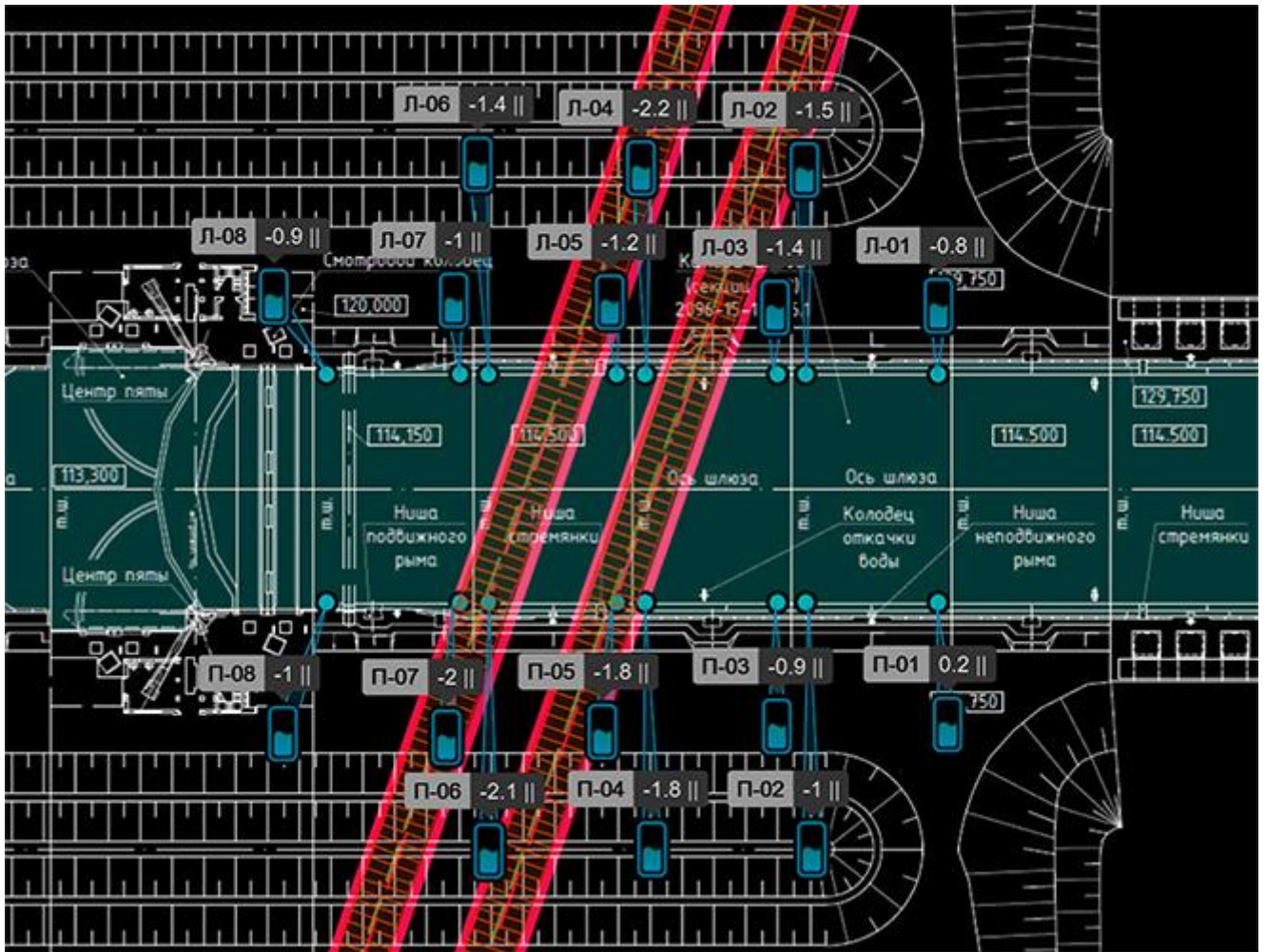


Рисунок 3.42 План шлюза с расположением сосудов ВГН с ВД

Ввиду определенного геотехнического риска применялись две системы мониторинга: с помощью электронного тахеометра и с помощью ВГН.

В соответствии с Рисунком 3.43 синхронность результатов измерений свидетельствует о достоверности получаемой от ВГН информации.

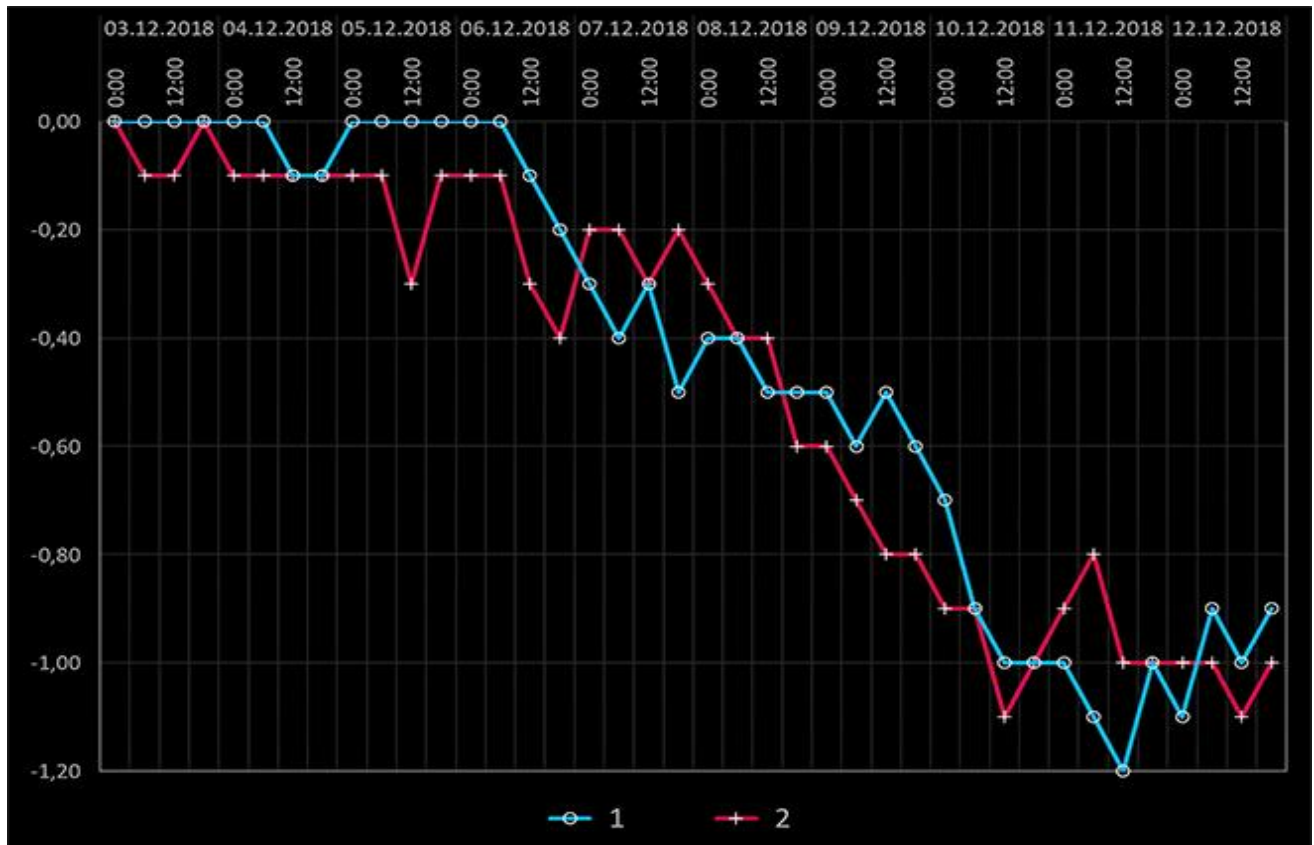


Рисунок 3.43 Результаты мониторинга высотных положений контролируемых точек шлюза №9 Карамышевского гидроузла канала им.Москвы ВГН 1 и электронным тахеометром 2

Выводы по разделу 3

- 1 Проведена экспериментальная апробация видеогидростатического нивелира с измерением высотных и угловых положений контролируемых объектов в лабораторных и производственных условиях.
- 2 Результаты апробации в лабораторных и производственных условиях подтвердили правильность решений, заложенных в конструкцию датчика ВГН, в его алгоритмы и программы.
- 3 Применение ВГН с измерением высотных и угловых положений на разнообразных объектах промышленности и строительства подтвердило востребованность разработанного ВГН.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги

1 Разработан видеогидростатический нивелир, предназначенный для мониторинга в удаленном круглосуточном автоматическом режиме одновременно высотного и углового положения контролируемого объекта. В процессе создания видеогидростатического нивелира разработаны алгоритмы определения высотного и углового положения контролируемого объекта, а также алгоритм определения поправки к высотному положению за наклон сосуда видеогидростатического нивелира. На основе разработанных алгоритмов созданы программа микроконтроллера видеогидростатического нивелира и технологическая и рабочая программы персонального компьютера, обеспечивающие производство и функционирование видеогидростатического нивелира. По результатам лабораторных и производственных испытаний получено СКО измерения высотного положения не более 0,1 мм в диапазоне (0-100) мм и углового положения не более 0.15° в диапазоне $\pm 5^\circ$.

2 Разработанные видеогидростатические нивелиры успешно эксплуатируются в составе автоматизированной системы «Монитрон» комплексного геотехнического мониторинга на многих объектах на территории РФ и за рубежом.

3 На ряд технических решений, реализованных в диссертационной работе, получены пять Патентов РФ на изобретения, опубликованы четыре научные статьи в рецензируемых изданиях из Перечня ВАК РФ, получены сертификаты типа средства измерений, сертификат соответствия и декларация о соответствии Евразийского экономического союза.

4 Разработанный в рамках диссертации видеогидростатический нивелир, предназначенный для мониторинга в удаленном круглосуточном автоматическом режиме одновременно высотного и углового положения контролируемого объекта позволяет уменьшить количество измерительных приборов на объекте, увеличить

полноту обследования объекта и повысить оперативность представления результатов измерений, что является вкладом в развитие геодезии. .

Рекомендации

В аппаратной части видеогидростатического нивелира рекомендации, прежде всего, связаны с доработкой видеопроцессора с заменой используемого 8-разрядного микроконтроллера с тактовой частотой 20 МГц на 32-разрядный микроконтроллер с тактовой частотой не менее 72 МГц, что связано с вышеупомянутой необходимостью полномасштабного определения X,Y-координат контурных точек изображений визирных целей в телевизионном кадре.

Возможность увеличения при этом объема оперативной памяти микроконтроллера позволит перенести часть вычислений из компьютера в микроконтроллер, что, в свою очередь, сократит объем цифровых данных, передаваемых по линии связи RS-485 между видеогидростатическим нивелиром и компьютером, повысив тем самым ее помехозащищенность.

В программной части перспективным является перевод технологической и рабочей прикладных компьютерных программ с операционной системы общего назначения Windows, на операционную систему с ядром Linux (например, Ubuntu, Fedora или Mint), менее требовательную к аппаратным ресурсам и менее подверженную воздействию вредоносных программ («вирусов»), что повышает надежность функционирования видеогидростатического нивелира.

Перспективы

Одним из перспективных направлений совершенствования разработанного устройства является учет при определении высотного положения объекта температуры жидкости в сосуде видеогидростатического нивелира. В разных частях протяженного объекта контроля может быть различная температура окружающей среды, что обуславливает различную плотность жидкости в сосудах различных датчиках видеогидростатического нивелира. Неравенство плотностей создает дополнительные погрешности определения взаимного высотного положения различных частей контролируемого объекта. Для реализации данной функции необ-

ходимо ввести в конструкцию датчика видеогидростатического нивелира измеритель температуры жидкости в сосуде, а также доработать программы микроконтроллера видеогидростатического нивелира, программы устройства регистрации – персонального компьютера, и программы сайта data.monitron.xyz.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

БП	Блок питания
ВГН	Видеогидростатический нивелир
ВД	Видеодатчик
ВЦ	Визирная цель
ГН	Гидростатический нивелир
ЕАС	Евразийский экономический союз
КИ	Кадровый импульс
КНР	Китайская Народная Республика
МВК	Модульная видеокамера
МФП	Матричный фотоприемник
ОБ	Объектив
ОС	Операционная система
ПК	Персональный компьютер
РФ	Российская Федерация
СИ	Строчный импульс
СКО	Среднеквадратическое отклонение
ТВК	Телевизионный видеокадр
ТВС	Телевизионный видеосигнал
УЖ	Уровень жидкости
УЭ	Узел электроники

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Рязанцев Г.Е., Буюкян С.П. Методы и средства автоматизированного инструментального геотехнического мониторинга на основе видеоизмерений. Тр. Международной научно-технической конференции, посвященной 225-летию МИИГАиК, Аэрокосмические съемки и фотограмметрия. - 2004. - С.117-120.

2 Савиных В.П., Ямбаев Х.К. Автоматизация геодезических измерений - цифровая реальность // Изв. Вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2019 Т. 63 № 6 С. 627-635. DOI: 10.30533/0536-101X-2019-63-6-627-635.

3 Рязанцев Г.Е., Седельникова И.А., Буюкян С.П. Современные автоматизированные системы контроля деформаций высотных зданий // «Технологии бетонов». - 2005. - №2. - С.35-37.

4 Рязанцев Г.Е., Буюкян С.П., Жидков А.А., Надолинец Л.Д. Методы и средства автоматизации инструментального геомониторинга при строительстве и эксплуатации подземных сооружений // Тр. Юбилейной научно-практической конференции «Подземное строительство России на рубеже XXI века, итоги и перспективы». - 2000. - С.436-443.

5 Рязанцев Г.Е., Буюкян С.П. Методы и средства автоматизированного инструментального мониторинга при строительстве и эксплуатации тоннелей. Труды международной научно-практической конференции «Тоннельное строительство России и стран СНГ в начале века: опыт и перспективы». - 2002. - С.507-509.

6 Рязанцев Г.Е., Бубман И.С., Буюкян С.П. Современные методы и средства автоматизации геодезических наблюдений за деформациями строительных конструкций // «Геодезист». - 2003. - №1-6. - С.21-24.

7 Рязанцев Г.Е., Буюкян С.П. Методы и средства автоматизированного инструментального геотехнического мониторинга // Основания, фундаменты и механика грунтов. - 2003. - №3. - С.22-25.

8 Теория и практика автоматизации высокоточных измерений в прикладной геодезии, под редакцией В.П.Савиных - М.: Академпроект, 2009. - 394с.

9 Хиллер Бернд, Староверов С.В., Мясников Я.В. О возможности использования цифровой инклинометрии для геодезического мониторинга инженерных сооружений // Изв. вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка». 2015. № 1. С. 34-37.

10 Никонов, А. В. Особенности применения современных геодезических приборов при наблюдении за осадками и деформациями зданий и сооружений объектов энергетики // Вестник СГГА. - 2013. - Вып. 4 (24). - С. 12-18.

11 Сальников В.Г., Скрипников В.А., Скрипникова М.А., Хлебникова Т.А. Применение современных автоматизированных геодезических приборов для мониторинга гидротехнических сооружений ГЭС // Вестник СГУГиТ. 2018 № 3. С. 108 -124.

12 Федосеев Ю.Е. Проблемы геодезического обеспечения строительства и эксплуатации современных высотных зданий и уникальных сооружений/ Ю. Федосеев, В. Найденко // Инженерные изыскания. - 2009.-С. 54-57.

13 Рязанцев Г.Е., Буюкян С.П., Жидков А.А., Назаров И.А. Современные метрологические и организационные проблемы создания «геодезических» автоматизированных систем контроля безопасности строительных конструкций // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2013. - №1. - С.33-36.

14 Брайт П.И. Геодезические методы измерений деформаций оснований сооружений. -М., Недра, 1965.

15 Федеральный закон от 30.12.2009 N 384-ФЗ (ред. от 25.12.2023) «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

16 Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 N 190-ФЗ (ред. от 08.08.2024) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2024).

17 ГОСТ Р 22.1.11-2002. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг состояния водоподпорных гидротехнических сооружений (плотин) и прогнозирование возможных последствий гидродинамических аварий на них. Общие требования (принят постановлением Госстандарта РФ от 24 октября 2002 г. N 389-ст).

18 СТО 70238424.27.140.035-2009 Гидроэлектростанции. Мониторинг и оценка технического состояния гидротехнических сооружений в процессе эксплуатации. Нормы и требования.

19 Васютинский И.Ю. Гидростатическое нивелирование. М., «Недра», 1976.

20 Васютинский И.Ю. Гидронивелирование. М., «Недра», 1983.

21 Буюкян С.П. Видеоизмерение в инженерной геодезии // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2002. - №6. - С.27-34.

22 Буюкян С.П. Видеоизмерительные системы - М.: МИИГАиК, 2008. - 72с.

23 Буюкян С.П. Видеоизмерение и видеоизмерительные системы - М.: МИИГАиК, 2010. - 99с.

24 Безматерных М.В., Буюкян С.П. Видеонаклономер. - Патент на изобретение RU №2258906. - Бюл. №23, 2005.

25 Буюкян С.П., Янин И.А. Видеонаклономер. - Патент на изобретение RU №2419071. - Бюл. №14, 2011.

26 Буюкян С.П. Разработка теоретических основ и методов решения специальных задач прикладной геодезии на основе видеоизмерений: дисс. на соиск. учен. степ. докт. техн. наук. - М.: МИИГАиК, 2016. - 168 с.

27 Казанцев Г.Д., Курячий М.И., Пустынский И.Н. Измерительное телевидение. М., «Высшая школа», 1994.

28 ГОСТ 10528-90. Нивелиры. Общие технические условия. - М.: ИПК Издательство стандартов, 1990. - 14 с.

29 Соломатин В.А. Оптические и оптико-электронные приборы в геодезии, строительстве и архитектуре: учебное пособие. -М.:Машиностроение, 2013. - 288с.

30 Спиридонов А.И., Кулагин Ю.Н., Кузьмин М.В. Справочник-каталог геодезических приборов. - М.: Недра, 1984. - 238 с.

31 Травкин, С.В. Разработка методов и средств поверки и калибровки геодезических приборов для измерения превышений: дисс. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. - М.: МИИГАиК, 2007. - 144 с.

32 Ямбаев Х.К. Геодезические инструменты и системы. - М.: Издательство МИИГАиК, 2012. - 460 с.

33 Уставич Г.А., Костина Г.Д. Геодезические приборы при строительстве и эксплуатации крупных энергетических объектов - М.: Недра, 1983.

34 Электронный ресурс: <https://www.chipmaker.ru/files/file/10214/>, паспорт на уровень гидростатический мод.115-1,115-2. Московский инструментальный завод "Калибр", 1965г.

35 Электронный ресурс: <https://www.fpm.de>, сайт фирмы «Freiberger Präzisionsmechanik GmbH», Automatic Precision Hose Water Leveling System FG-ASW 101N

36 Электронный ресурс: <https://www.ntpgorizont.ru>, сайт фирмы «Горизонт», РФ, г.Москва.

37 Электронный ресурс roctest.com/en, сайт фирмы «ROCTEST», Канада

38 Manual.E1150B-120510.pdf ©Roctest Limited, 2012.

39 Datasheet. E5150B-160302.pdf ©Roctest Limited, 2012.

40 Manual.E1150A-130314.pdf ©Roctest Limited, 2012.

41 Datasheet. E5150A-160203.pdf ©Roctest Limited, 2012.

42 Электронный ресурс https://monitron.ru/index.php#main_block_a

43 <https://leica-geosystems.com/products/levels> “Leica Geosystems AG”, Швейцария.

44 www.trimble.com/en, сайт фирмы «Trimble Navigation Ltd», США.

45 <https://sokkia.com>, сайт фирмы «Sokkia Co.Ltd», Япония.

46 <http://www.setlsurvey.com>, сайт фирмы «Tianjin Setl Survey Equipment Co., Ltd.», Китай

47 <http://global.topcon.com>, сайт фирмы «Topcon Corporation», Япония.

48 <http://www.uomz.ru>, сайт фирмы ПО «Уральский оптико-механический завод» УОМЗ РФ г.Екатеринбург

49 <http://www.nikon.com>, сайт фирмы «Nikon Geotecs Co.,Ltd», Япония.

50 LECHNER, J. On the Question of Measuring Vertical Movements Using the Principle of Hydrostatic Levelling. *Geodetický a kartografický obzor*. 1990. 36/78, vol. 12, p. 304-310. Available from:

<http://archivnimapy.cuzk.cz/zemvest/texty/Rok1990.pdf>.

51 The dioptra of Heron. Kotsanas Museum of the Ancient Greek Technology. Available from: <http://kotsanas.com/gb/exh.php?exhibit=1301002>.

52 STAŇKOVÁ, H. and P. ČERNOTA. A principle of forming and developing geodetic bases in the Czech Republic, *Geodesy and Cartography*. 2010, 36(03) pp. 103-112. ISSN: 1392-1541.

53 JADVIŠČOK, P., R. DANDOŠ and T. JIROUŠEK. Measurement of verticality construction of bushings for laboratory construction materials. *Geodesy and Cartography*. 2014. 40(04) pp. 171-174. ISSN: 1392-1541.

54 VOLK, J. T. HLS systems at Fermilab and DUSEL. [online] Fermi National Accelerator Laboratory, Fermilab Computing Sector [cited 2017-12-20].

55 JAKOBS, M., C. KUMMERER and V. MARCHIONNI. The application of a hydrostatic levelling system under extreme temperature conditions for the control of a protective measure for the tunnelling under a railway bridge in Italy [online]. Fermi National Accelerator Laboratory, Fermilab Computing Sector. GeTec Ingenieurgesellschaft für Informations- und Planungstechnologie mbH. [cited 2017-12-20] Available from: <http://www.getec-ac.de/download/en/pdf/G>

56 Giniotis V., Rekus D., Aksamitauskas C. Calibration of coded levelling staffs. The 7th International Conference Faculty of Environmental Engineering Vilnius Gediminas Technical University, May 22-23 2008. P.1310-1313.

57 Reithofer A., Hochhauser B., Brunner F.K. Calibration of Digital Levelling Systems. *Österr. Z. f. Vermessung und Geoinformation* 74. 1996. P. 284289.

58 Woschitz H. System Calibration of Digital Levels: Calibration Facility, Procedures and Results. Shaker Verlag. In print. 2003.

59 Woschitz H., Brunner F.K. System Calibration of Digital Levels- Experimental Results of Systematic Effects. In Kopáček A and Kyrinovič P (eds.): *Proc. INGEO2002*

- 2nd Int. Conference of Engineering Surveying, Bratislava, November 2002. P. 165-172.

60 Experimental Results of Systematic Effects. In Kopáček A and Kyrinovič P (eds.): Proc. INGE02002 - 2nd Int. Conference of Engineering Surveying, Bratislava, November 2002. P. 165-172.

61 BASIC PRINCIPLES OF HYDROSTATIC LEVELLING

Jiří POSPÍŠIL, Rostislav DANDOŠ Department of Geodesy and Mine Surveying, Faculty of Mining and Geology, VŠB-TU Ostrava, 17. listopadu 15, Ostrava-Porubae-mail: jiri.pospisil@vsb.cz

62 The Concept of Accuracy Analysis of the Vertical Displacements Gained from the Hydrostatic Levelling Systems' Measurements. Waldemar Kamiński.

Sensors. July 2021 21(14):4842 DOI:10.3390/s21144842

63 Роев Ю.Д., Грошев В.В. Некоторые конструктивные особенности гидростатических нивелиров. - Геодезия и картография, №7, 1978.

64 Scheel G. Systematische Fehler des hydrostatischen Nivellements und Verfahren zu ihrer Ausschaltung. - Veroff. Dtsch. geod. Kommiss. Bayer. Akad. Wiss. B., 1956, N 27.

65 Souren P. Bujukjan and Igor J. Vasyutinskiy: Videomeasuring Hydrostatic System. 125th Anniversary of FIG. Paris, April 13-17, 2003.

66 Буюкян С.П. Решение специальных задач прикладной геодезии и других задач на основе видеоизмерений - М.: МИИГАиК, 2013. - 150 с.

67 Буюкян С.П. Видеопроцессор для обработки видеосигнала в видеоизмерительных системах. - Патент на изобретение RU №2395929. - Бюл. №21, 2010.

68 Буюкян С.П. Видеопроцессор для видеоизмерений. - Патент на изобретение RU №2598790. - Бюл. №27, 2016.

69 Буюкян С.П., Галушков В.В., **Кузянов Н.А.**, Медведев Г.М. Способ измерения уровня жидкости в гидростатическом нивелире. - Патент на изобретение RU №2693007. - Бюл. №19, 2018.

70 Буюкян С.П., Галушков В.В. Способ измерения уровня жидкости в сосудах гидростатического нивелира. - Патент на изобретение RU №2690088. - Бюл. №16, 2019.

71 Буюкян С.П., Галушков В.В., **Кузянов Н.А.** Видеодатчик гидростатического нивелира. - Патент на изобретение RU №2689282. - Бюл. №15, 2019.

72 Буюкян С.П., Галушков В.В., **Кузянов Н.А.** Видеодатчик видеоизмерительной системы. - Патент на изобретение RU №2691160. - Бюл. №17, 2019.

73 Буюкян С.П. Видеодатчик для измерения уровня жидкости в сосудах гидростатического нивелира. - Патент на изобретение RU №2730382. - Бюл. №24, 2020.

74 Буюкян С.П., **Кузянов Н.А.**, Медведев Г.М., Симутин А.Н. Датчик гидростатического нивелира с расширенным диапазоном работы. - Патент на изобретение RU №2748721. - Бюл. №16, 2021.

75 Буюкян С.П., **Кузянов Н.А.** Способ расширения функциональности и повышения точности видеогидростатического нивелира. - Патент на изобретение RU №2809208. - Бюл. №34, 2023.

76 **Кузянов Н.А.** Российский опыт разработки, создания и применения прецизионных устройств гидростатических нивелиров на объектах научного, гражданского и промышленного назначения / Васютинский И.Ю., Васютинская С.И., Буюкян С.П., Кузянов Н.А. // Вестник Сибирского гос. университета геосистем и технологий. –2023. – № 6. – С. 49-54.

77 **Кузянов Н.А.** Специализированный видеопроцессор для видеоизмерений при решении задач прикладной геодезии / Буюкян С.П., Кузянов Н.А., Васютинский И.Ю. // Изв. ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка. –2018. – Т. 62. – № 2. – С. 136-139.

78 **Кузянов Н.А.** Автоматизированная система комплексного геотехнического мониторинга и опыт ее практического применения / Меркин В.Е., Пичугин А.А., Симутин А.Н., Медведев Г.М., Кузянов Н.А. // Транспортное строительство. –2023. – № 3. – С. 4-8.

79 **Кузянов Н.А** Оперативный геодезический мониторинг осадок зданий в зонах проходки тоннелей Московского и Самарского метрополитенов на основе видеогидростатического нивелира. / Кузянов Н.А, Васютинский И.Ю., Васютинская С.И., Вшивкова О.В. // «Вестник Сибирского гос. университета геосистем и технологий. –2024. –№5. – С.32-38.

80 Бирюков Е.С. Эволюция датчиков изображения: от ПЗС к КМОП // КОМПОНЕНТЫ И ТЕХНОЛОГИИ. 2007. № 10. С. 24-27.

81 Исследование геометрической стабильности ПЗС матрицы для точных линейных измерений, <http://videoscan.ru/page/824>.

82 Королев А.Н., Гарцуев А.И., Исследование точности позиционирования изображения на ПЗС матрице // Измерительная техника. 2004. №5. С. 20-22.

83 Овчинников А.М, Ильин А.А., Овчинников М.Ю. Принцип работы и устройство активных пиксельных датчиков - М.: ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, грант РФФИ № 03-01-00652, 2003. № 85. С. 1-25.

84 Электронный ресурс
https://pikabu.ru/story/kak_ustroena_matritsa_fotokameryi_4527885.

85 Электронный ресурс: <https://my-photocamera.ru/osnovyfoto/dinamicheskij-diapazon-fotoapparata.html>.

86 Электронный ресурс: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Дисторсия>

87 https://ru.wikipedia.org/wiki/Кривизна_поля_изображения.

88 Электронный ресурс: <https://en.wikipedia.org/wiki/Pixelhttps>.

89 Электронный ресурс: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Фотоматрица>.

90 https://ru.wikipedia.org/wiki/Аберрация_оптической_системы

91 Буюкян С.П., Бодунков П.В. Особенности компьютерных программ видеоизмерений. Тр. Международной научно-технической конференции, посвященной 225-летию МИИГАиК, Аэрокосмические съемки и фотограмметрия. - 2004. - С.175-177.

92 Буюкян С.П., Бодунков П.В. Особенности компьютерных программ видеоизмерений. Юбилейный сб. трудов МГСУ. - 2006. - С.90-91.

93 Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов.-13-е изд., исправленное.-М.: Наука, Гл.ред.физ-мат. лит., 1986ю-544 с.

94 Теория вероятностей: Учеб.для вузов/Е.С.Вентцель.-10-е изд.,стер.-М.:Высш.шк.,2006.-575 с.:ил.

95 Электронный ресурс: [https://data.monitron.xyz/objects/all/РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина](https://data.monitron.xyz/objects/all/РГУ_нефти_и_газа_им._И.М.Губкина)

96 Электронный ресурс: <https://data.monion.xyz/ojects/all/ул.Галактионовская,139>

97 Электронный ресурс: [https://data.monitron.xyz/objects/all/Загорская ГАЭС](https://data.monitron.xyz/objects/all/Загорская_ГАЭС)

98 Электронный ресурс: <https://data.monitron.xyz/objects/all/Шлюз>

99 Application of automated monitoring using hydroststic levelling sensors in the Moscow metro. Pavel Milchevskiy. August 2023. E3S Web of Conferences 410 DOI:10.1051/e3sconf/202341002036

100 ATMEL 8-BIT MICROCONTROLLER WITH 4/8/16/32KBYTES IN-SYSTEM PROGRAMMABLE FLASH.DATASHEET. Rev.8271J-11/2015

101 Электронный ресурс: www.microchip.com, сайт фирмы Microchip Technology Inc, США

102 GigaDevice Semiconductor Inc. CD32E230xx ARM Cortex-M23 32-bit MCU Datasheet Revision 2.0 (Mar.2023)

103 Электронный ресурс: www.gigadevice.com, сайт фирмы GigaDevice Semiconductor Inc, КНР

ПРИЛОЖЕНИЕ А**Выписка из устава ООО «МОНИТРОН»
(справочное)**

Виды деятельности:

26.51 Производство инструментов и приборов для измерения, тестирования и навигации

26.51.6 Производство прочих приборов, датчиков, аппаратуры и инструментов для измерения, контроля и испытаний

26.51.7 Производство приборов и аппаратуры для автоматического регулирования или управления

26.51.8 Производство частей приборов и инструментов для навигации, управления, измерения, контроля, испытаний и прочих целей

62.01 Разработка компьютерного программного обеспечения

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Сертификат об утверждении типа средства измерения
(справочное)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ	
СЕРТИФИКАТ	
об утверждении типа средств измерений № 82892-21	
Срок действия утверждения типа до 7 сентября 2026 г.	
НАИМЕНОВАНИЕ И ОБОЗНАЧЕНИЕ ТИПА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ Датчики гидростатического нивелира цифровые ДГЦ-19	
ИЗГОТОВИТЕЛЬ Общество с ограниченной ответственностью "Монитрон" (ООО "Монитрон"), г. Москва	
ПРАВООБЛАДАТЕЛЬ Общество с ограниченной ответственностью "Монитрон" (ООО "Монитрон"), г. Москва	
КОД ИДЕНТИФИКАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА 0С	
ДОКУМЕНТ НА ПОВЕРКУ МП-ТМС-036/20	
ИНТЕРВАЛ МЕЖДУ ПОВЕРКАМИ 1 год	
Тип средств измерений утвержден приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 7 сентября 2021 г. N 1956.	
Заместитель Руководителя	Подлинник электронного документа, подписанного ЭП, хранится в системе электронного документооборота Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии. СВЕДЕНИЯ О СЕРТИФИКАТЕ ЭП Сертификат: 02901099C00BAE27A64C995D0B060203A9 Кому выдан: Лазаренко Евгений Русланович Действителен: с 27.12.2021 до 27.12.2022 Е.Р.Лазаренко КОПИИ ЭЛЕКТРОННЫХ ДОКУМЕНТОВ № 11 «23» июня 2022 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Сертификат соответствия
(справочное)

СИСТЕМА СЕРТИФИКАЦИИ ГОСТ Р ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ	
	СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ № РОСС RU.ПХ01.Н00135/20 Срок действия с 05.02.2020 по 04.02.2023 № 0594666
	ОРГАН ПО СЕРТИФИКАЦИИ per. № RA.RU.11ПХ01, Орган по сертификации Общества с ограниченной ответственностью "Сертификация Качества", 115280, РОССИЯ, город Москва, улица Ленинская Слобода, дом 21, корпус 1, каб. 27, 28, 26, 30, Тел: +79032121905, E-mail: sert-kachestva@mail.ru
ПРОДУКЦИЯ Датчик гидростатический цифровой (ДГЦ-19) марки ООО «Монитрон». Серийный выпуск	Код ОК Код ОК 034-2014 (КПЕС 2008) 26.70.23.190
СООТВЕТСТВУЕТ ТРЕБОВАНИЯМ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ ТУ 26.51.12-001-92485181-2017	Код ТН ВЭД 9015309000
ИЗГОТОВИТЕЛЬ ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "МОНИТРОН" Место нахождения: 129344, Россия, город Москва, улица Енисейская, Дом 7, Строение 4, Помещение 11, ОГРН 1197746182853 Телефон: 8 (495) 22-00-345 E-mail: box@monitron.ru СЕРТИФИКАТ ВЫДАН ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "МОНИТРОН" Место нахождения: 129344, Россия, город Москва, улица Енисейская, Дом 7, Строение 4, Помещение 11 Телефон: 8 (495) 22-00-345 E-mail: box@monitron.ru НА ОСНОВании Протокола испытаний № 1715-02-2020 от 05.02.2020 года, выданного Испытательной лабораторией "Техностандарт" Общества с ограниченной ответственностью "Тарантия" (регистрационный номер аттестата аккредитации СДС RU.ТБ.ИЛ.00002).	
ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ Схема сертификации: №3.	
	Руководитель органа  Эксперт  Сертификат не применяется при обязательной сертификации
А.В. Дронова инициалы, Фамилия С.А. Трухин инициалы, Фамилия	

АО «ЦСБТИ» Москва, 125080. Юр. Адрес: 125080, Москва, ул. Мясницкая, д. 10. Тел: (495) 734-4702. www.csbti.ru

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Декларация о соответствии ЕАС

(справочное)



ЕВРАЗИЙСКИЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ СОЮЗ ДЕКЛАРАЦИЯ О СООТВЕТСТВИИ

Заявитель ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "МОНИТРОН"

Место нахождения: 129344, Россия, город Москва, улица Енисейская, Дом 7, Строение 4, Помещение 11

ОГРН 1197746182853

Телефон: 8 (495) 22-00-345 Адрес электронной почты: box@monitron.ru

в лице Генерального директора Симутин Алексей Николаевича

заявляет, что Датчик гидростатический цифровой (ДГЦ-19); Торговая марка ООО «Мониторн»;

Изготовитель ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "МОНИТРОН";

Место нахождения: 129344, Россия, город Москва, улица Енисейская, Дом 7, Строение 4, Помещение 11

Продукция изготовлена в соответствии с ТУ 26.51.12-001-92485181-2017.

Код (коды) ТН ВЭД ЕАЭС: 9015301000

Серийный выпуск

соответствует требованиям

Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 004/2011 "О безопасности низковольтного оборудования"

Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 020/2011 "Электромагнитная совместимость технических средств"

Декларация о соответствии принята на основании

Протоколов испытаний №№ 1620-02-2020, 1621-02-2020 от 04.02.2020 года, выданных Испытательной лабораторией "Техностандарт" Общества с ограниченной ответственностью "Гарантия"

(регистрационный номер аттестата аккредитации СДС RU.ТБ.ИЛ.00002)

Схема декларирования соответствия: 1д

Дополнительная информация

ГОСТ МЭК 60204-1-2007 (IEC 60204-1:1997) «Безопасность машин. Электрооборудование машин и механизмов. Часть 1. Общие требования», ГОСТ 30804.6.2-2013 «Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электромагнитным помехам технических средств, применяемых в промышленных зонах. Требования и методы испытаний»; ГОСТ 30804.6.4-2013 «Совместимость технических средств электромагнитная. Электромагнитные помехи от технических средств, применяемых в промышленных зонах. Нормы и методы испытаний». Условия хранения продукции в соответствии с ГОСТ 15150-69 «Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды». Условия хранения конкретного изделия, срок хранения (службы) указываются в прилагаемой к продукции товаросопроводительной и/или эксплуатационной документации.

Декларация о соответствии действительна с даты регистрации по 03.02.2025 включительно.



Симутин Алексей Николаевич

(Ф.И.О. заявителя)

Регистрационный номер декларации о соответствии: ЕАЭС N RU Д-RU.ПХ01.В.02304/20

Дата регистрации декларации о соответствии: 04.02.2020

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Микроконтроллерная программа ВД ВГН

Микроконтроллерная программа ВД ВГН обеспечивает непрерывное автоматическое измерение уровня жидкости в сосуде ВГН и его передачу по запросу в ПК. Кроме того, она выполняет ряд дополнительных функций, используемых в процессе изготовления и эксплуатации ВД.

Микроконтроллерная программа разработана с помощью общедоступной системы разработки программ CodeVisionAVR и языка программирования С.

Все элементы программы объединены в проект `rulon_328p_64.prj`, в составе которого входят следующие файлы:

1. `rulon_328p_main.c` - файл головного модуля проекта
2. `rulon_328p_subs.c` - файл процедур проекта
3. `rulon_328p_subs.c` - файл процедур обработки прерываний
4. `rulon_328p.h` - файл объявления констант и процедур проекта

Головной модуль проекта

Головной модуль проекта содержит однократно выполняемую при запуске программы часть и «бесконечно» повторяемый цикл измерений.

Однократно выполняемая часть выполняет следующие подготовительные действия:

- инициализация выводов МК;
- чтение из энергонезависимой памяти МК констант калибровки ВД и адреса ВД, в качестве которого служит заводской номер ВД;
- задание параметров термостатирования ВД;
- задание параметров последовательного канала связи с ПК;

- задание параметров таймера интервала измерений;
- запуск измерений.

После подготовительных действий и запуске изменений микроконтроллерная программа переходит в «бесконечный» цикл измерений с передачей по запросу ПК значения уровня жидкости, а также дополнительной информации.