

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 83 с., 11 рис., 16 табл., 49 источников.

Ключевые слова: уровнемер, радиоизотопный уровнемер, камера замедленного коксования, сцинтиллятор, фотоэлектронный умножитель, детектор, гамма излучение.

Актуальность работы продиктована целью программы «Энергоэффективная экономика ТЭК» - доведение глубины переработки нефти к 2020 г - до 85% при «значительном улучшении качества нефтепродуктов, обеспечивающее их конкурентоспособность», не достижима без установок замедленного коксования (УЗК) и операционного контроля процесса заполнения коксовой камеры.

Задача ВКР заключается в модификации детекторов гамма-уровнемеров с помощью замены вакуумных ФЭУ, которые требуют напряжения питания до 2000 В, и в условиях повышенной влажности или резких перепадов температур выходят из строя, на полупроводниковые ФЭУ, для питания которых достаточно 30 В. Кроме этого кремниевые ФЭУ могут использоваться в присутствии электромагнитных полей/помех.

В процессе ВКР разработан экспериментальный образец радиоизотопного гамма-уровнемера с низковольтной схемой питания. Проведены эксперименты по настройке и проверки работы каскада детекторов. Обоснован выбор радиоизотопного источника.

Разработанный образец является заменой существующих устройств мониторинга уровня и раздела фаз в режиме реального времени, которые используют высоковольтную схему питания.

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	5
1.1. Анализ современных методов измерения и контроля уровня.....	5
1.1.1. Задачи измерения и контроля уровня.....	5
1.1.2. Способы измерения уровня.....	9
2. ПРИНЦИП РАБОТЫ УРОВНЕМЕРОВ.....	11
2.1. Классификация и анализ методов измерения уровня.....	11
2.2. Анализ характеристик современных средств измерения уровня.....	14
3. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ РАДИОИЗОТОПНОГО УРОВНЕМЕРА.....	21
3.1. Анализ методов измерения уровня радиоизотопными уровнемерами.....	21
3.1.1. Особенности условий работы радиоизотопных уровнемеров.....	21
3.1.2. Анализ метода измерения уровня при контроле.....	24
4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ИЗОТОПОВ 4-ОЙ КАТЕГОРИИ..	26
4.1. Расчёт категории опасности закрытых радионуклидных источников.....	27
4.2. Определение максимальной активности источников, используемых в уровнемерах....	29
5. РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА ГАММА-УРОВНЕМЕРА.....	32
6. ИСПЫТАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА ГАММА-УРОВНЕМЕРА.....	38
7. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
8. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	43
Список использованных источников.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>

## **ВВЕДЕНИЕ**

В современных промышленных технологических процессах (ТП) требуется контроль массы, объема и расхода веществ для различных мест хранения, в таких как, колодцах баках, резервуарах, бункерах.

Приборы, реализующие операцию измерения уровня, называются, уровнемерами.

Выбор средств и методов измерения уровня, ограничиваются параметрами вещества и окружающей среды. В настоящее время в технологический процесс внедряются средства, бесконтактного метода измерения. К таким методам относятся радиоизотопные уровнемеры (РУ). Достоинством данной технологии является: Непрерывное, бесконтактное измерение уровня любых продуктов; Применение даже при самых тяжелых условиях процесса: высоком давлении, высокой температуре, высокой коррозионности, токсичности, абразивности; Применяется на любых промышленных емкостях при наличии конструкционной оснастки внутри контролируемого пространства: реакторах, автоклавах, сепараторах, резервуарах с кислотой, смесителях, циклонах, вагранках.

Принцип работы РУ основан на зависимости ослабление интенсивности потока ионизирующего излучения проходящего через положение уровня контролируемого вещества и попадающего на приемник (детектор) излучения.

В настоящее время рынок радиоизотопных уровнемеров уже сформирован, но существующие аналоги имеют большую стоимость и имеют ряд недостатков. Из-за работы в суровых условиях, например, в таком районе где расположен РН-Комсомольский НПЗ, а также в других регионах северных широтах, сложно использовать устройства, которые уже есть на рынке, так как в них возникают пробой из-за использования высокого напряжения. Поэтому была поставлена задача разработки более дешевого и надежного образца с низковольтной схемой питания, для обеспечения широкого внедрения в промышленные ТП, где требуется применение бесконтактного метода измерения уровня различных материалов.

Цель работы ВКР: Разработка экспериментального образца радиоизотопного уровнемера с низковольтной системой питания.

В соответствии с поставленной целью в работе составлены задачи

1. Провести аналитический обзор литературы.
2. Описать принцип работы уровнемеров.
3. Описать принцип работы радиоизотопного уровнемера.
4. Определить максимальную активность изотопов 4-ой категории и выбрать оптимальный для уровнемера.
5. Изготовить экспериментальный образец гамма-уровнемера.
6. Провести испытания экспериментального образца.

# 1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.

## 1.1. Анализ современных методов контроля уровня.

### 1.1.1. Задачи контроля уровня.

Продуктивность производства предполагает высокий уровень автоматизации ТП. Основной такой автоматизацией является внедрение автоматических и автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) с использованием управляющих ЭВМ. Использование АСУ ТП позволяет перейти к оптимальным режимам ТП; позволяет существенно повысить уровень организации производства и увеличить оперативность работы персонала с технологическим оборудованием, что в итоге ведет к повышению качества выпускаемой продукции.

При автоматизации технического процесса первоочередной задачей становится получение информации о параметрах этого процесса. Для дискретного или непрерывного изменения параметров в сигналы, которые могут быть применены АСУ ТП, используют различные виды датчиков. Совершенствование и усложнение ТП требует использование более надежных и точных датчиков параметров.

Под датчиком или измерительным преобразователем понимают устройство для прерывистого или непрерывного преобразования параметров в сигналы измерительной информации, удобных для дальнейшего преобразования или передачи в технических средствах и системах, но которые не поддаются непосредственному восприятию наблюдателя [1]. Структурная схема датчика показана на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Структурная схема измерительного преобразователя

**Чувствительный элемент (ЧЭ)** – это элемент измерительного преобразователя (датчика), в измерительных или автоматических управляющих системах, который находится под непосредственным воздействием регулируемой или измеряемой величины. В качестве ЧЭ служат мембраны, гироскопы, терморезисторы, тензорезисторы, катушки индуктивности, пьезокварцевые пластинки и др. ЧЭ преобразует измеряемую физическую величину в величину, которая будет воспринята ПИП.

**Первичный измерительный преобразователь (ПИП)** – это преобразователь, в котором подводимая величина, измеренная ЧЭ, преобразуется ПИП в цифровой, аналоговый или электрический сигнал без потери информативности. Значения этого сигнала отражают величину измеряемого параметра.

В современных ТП, применяемых в нефтехимической, фармацевтической промышленности, химической, газовой, строительной, легкой, металлургической, пищевой, горнодобывающей, коммерческом учете расхода и количества различных веществ, коммунальном хозяйстве, при транспортировке больших объемов веществ требуется необходимость контроля измерения объема и количества различных веществ.

При точном определении количества вещества материалов в технологических и складских резервуарах сталкиваются с различными трудностями. Существующее положение определяется многообразием эксплуатационных и технологических условий хранения и переработки контролируемых веществ, различными особенностями конструкций резервуаров и неоднородностью физико-химических свойств. Такой контроль проводится измерением объема вещества или уровня в технологических резервуарах с помощью датчиков уровня. Положение уровня необходимо контролировать как в ходе ТП, так и непосредственно во время проведения подготовительных операций. [2, 3].

По отраслям промышленности объем операций по измерению уровня составляет [8], %:

химической .....	10
нефтеперерабатывающей и нефтехимической .	9
нефтяной .....	9
металлургической .....	8
газовой.....	8
строительных материалов .....	3

На химическую и нефтехимическую промышленности приходится самая высокая доля операций измерений уровня.

Например, в ТП на РН-Комсомольский НПЗ на блоке коксовых камер Р-101А/В установки замедленного коксования находятся в эксплуатации радиоизотопные приборы контроля уровня, которые позволяют бесконтактно, не подвергая опасности персонал следить за уровнем заполнения камеры. При замедленном коксовании, предварительно сырье, которое нагревается до 350-380°С в трубчатых печах, непрерывно поступает на каскадные тарелки ректификационной колонны, которые работают при атмосферном давлении, и стекая по которым, контактирует с поднимающимися навстречу парами, которые подаются из реакционных аппаратов. Часть паров конденсируется в результате тепло- и массообмена, образуя с исходным сырьем вторичное сырье, которое нагревается в трубчатых печах до 490-510°С и поступает в коксовые камеры – полые вертикальные цилиндрические аппараты диаметром 3-8 м и высотой 22-30 м. В камеру реакционная масса непрерывно подается в течение 24-36 часов и благодаря аккумулярованной ею теплоте коксуется. После заполнения камеры коксом на 70-90% его удаляют, обычно струей воды под высоким давлением (до 15 МПа). Кокс поступает в дробилку, где измельчается на куски размером не более 150 мм, после чего подается элеватором на грохот, где разделяется на фракции 150-25, 25-6 и 6-0,5 мм. [4]

Вещества, для которых необходимо контролировать уровень, могут быть пастообразные, жидкие и сыпучие, химически активные и криогенные, могут находиться в различных загрузочных емкостях, бункерах, резервуарах, как по геометрической форме, так и по объему. Так же данные вещества могут

находиться под воздействием давления и низкой или высокой температуры, менять свои электрофизические свойства, "пылить" или "парить". Датчики уровня могут находиться в пожаро- и взрывоопасных зонах, что накладывает свои ограничения на их конструкцию. Приблизительно 4% веществ теряются и не учитываются в производстве, из-за несовершенства измерительных устройств. В связи с этим ведутся работы по совершенствованию существующих и созданию новых приборов и способов для измерения уровня.

Во многих задачах требуется непрерывно и бесконтактно с заданной точностью измерять уровень вещества. Параметры окружающей среды и свойства измеряемого вещества, на результаты измерений должны влиять минимально. Это учитывается во время обработки полученного сигнала от чувствительного элемента.

К датчику уровня, независимо от того в каком режиме он работает, предъявляют ряд требований:

- Высокая воспроизводимость.
- Обеспечение заданной точности измерений.
- Высокая надежность.
- Высокая чувствительность.
- Малая инерционность.
- Высокая избирательность.
- Иметь унифицированный выходной сигнал.
- Инвариантность по отношению к внешним воздействиям [8].

Требования по техническим характеристикам, конструктивному исполнению и точности измерения уровня устанавливаются соответствующими ГОСТами.

Следующие требования выдвигаются для датчиков уровня: погрешность должна находиться в пределах 0.1 - 5 % от измеренного значения. Максимальные значения измеряемого уровня лежат в диапазоне 20-30м (высота резервуара). Цифровые или аналоговые выходные сигналы: 0 - 5 мА, 4 - 20 мА, 0 - 20 мА используют для связи с АСУ ТП.

Над решением задач, связанных с измерением уровня работают приборостроительные предприятия как за рубежом, так и в России. Из отечественных предприятий самыми известными являются: АОЗТ Ольвия (г. Санкт-Петербург), ГНПП Исток (г. Фрязино), АО Теплоприбор (г. Рязань). Наиболее известные в России из зарубежных предприятий: Consilium US Inc. (США), Scientific Technologies Inc. (США), Bonetti (Италия), VEGA Grieshaber KG (Германия).

### 1.1.2. Способы измерения уровня.

Измерение уровня — это представление о начале плоскости раздела двух сред которые различны по плотности относительно начальной плоскости (0), которую принимают за начало отсчета (рисунок 1.2). Приборы, которые выполняют данную задачу, называются датчиками уровня или уровнемерами. [8].

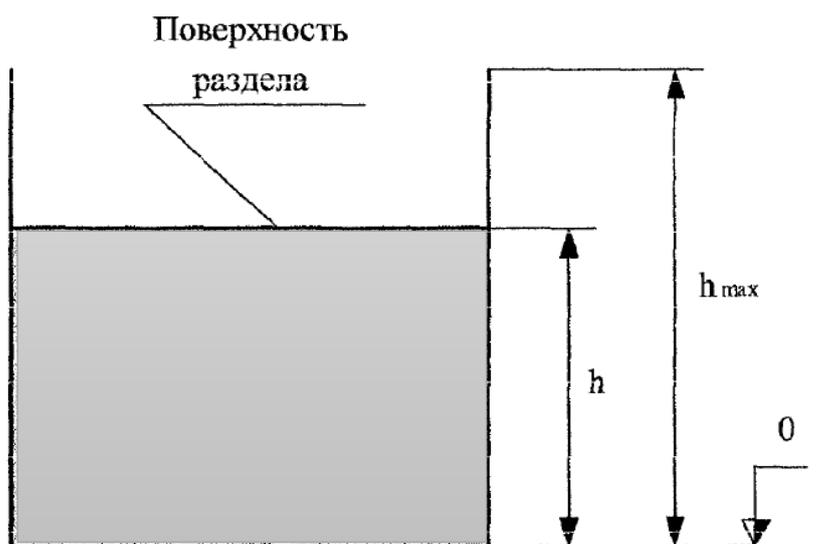


Рисунок 1.2 – Принцип измерения уровня

Измерение уровня заключается в изменении значения текущего уровня в соответствующее значение выходного параметра.

Датчик уровня является совокупностью чувствительного элемента и первичного измерительного преобразователя, которые обеспечивают определенный вид выходной характеристики уровнемера и обладают соответствующими характеристиками. Датчик – элемент, который воспринимает изменения контролируемой величины и осуществляет функциональное

преобразование в выходной сигнал. Такое определение дает возможность рассматривать уровнемер без устройства индикации, как датчик [1,3].

Из-за сложного технологического процесса в зоне измерения, для работы в датчик уровня устанавливают только необходимый минимум преобразователей, которые будут воспринимать значение контролируемых параметров и преобразовывать их в параметры, пригодные для передачи на некоторое расстояние.

Погрешность уровнемера определяется погрешностью чувствительного элемента, то есть погрешностью преобразования входного параметра датчика уровня в выходной параметр [8].

Измерения уровня разделяют на два основных класса определения – непрерывные измерения и дискретные. При дискретных измерениях из полного диапазона контролируемой величины выделяются только моменты достижения данной величины фиксируемых значений. В случае непрерывного измерения, любому значению измеряемой величины отвечает определенное значение выходного параметра прибора.

По способу получения информации об уровне уровнемеры делят на бесконтактное и контактное измерение уровня. При контактном измерении уровня чувствительный элемент имеет контакт с веществом. Данные о положении чувствительного элемента передаются на устройство формирования электрических сигналов или индикации, посредством электромеханической связи, магнитной или механической. В случае бесконтактного измерения, контакта ЧЭ с веществом не происходит. Данные об уровне извлекаются из параметров различных зондирующих сигналов.

Для решения задач управления и контроля текущим положением уровня вещества используют непрерывное измерение уровня. Для предупреждения переполнения или полного опорожнения емкости применяют дискретные измерения, т.е. они сигнализируют о критическом положении уровня.

## **2. ПРИНЦИП РАБОТЫ УРОВНЕМЕРОВ**

### **2.1. Классификация и анализ методов измерения уровня**

В настоящее время в промышленности разработаны и используются множество методов измерения уровня. По классификации их разделяют по физической сущности, это дает возможность объединить их по группам, характеризуемые общностью теории, описывающей принципы построения и их работу (рисунок. 2.1).

#### **Электромеханические датчики уровня**

Уровень электромеханическим датчиком определяется по угловому или линейному перемещению чувствительного элемента. Связь с измерительным преобразователем может быть магнитная или механическая. Данный метод является контактным измерением уровня. Данные датчики используют как для сигнализации критического значения уровня, так и для точного непрерывного измерения уровня [13].

#### **Электрические датчики уровня**

Данные датчики уровня имеют принцип действия различия электрических свойств жидкостей и парогазовой смеси над ним. Обычно используется электропроводность диэлектрическая проницаемость. Чувствительный элемент выполнен в виде электродов, которые судят о положении уровня при погружении их в вещество. [4].

#### **Оптоэлектронные датчики уровня**

Такие датчики используют свойства поглощения, преломления и отражения веществом волн света. Системы использующие принципы лазерной локации работают на отражении. В дискретных уровнемерах обычно используют принцип поглощения: луч света, который подает на фотоприемник, будет перекрываться уровнем вещества [8].

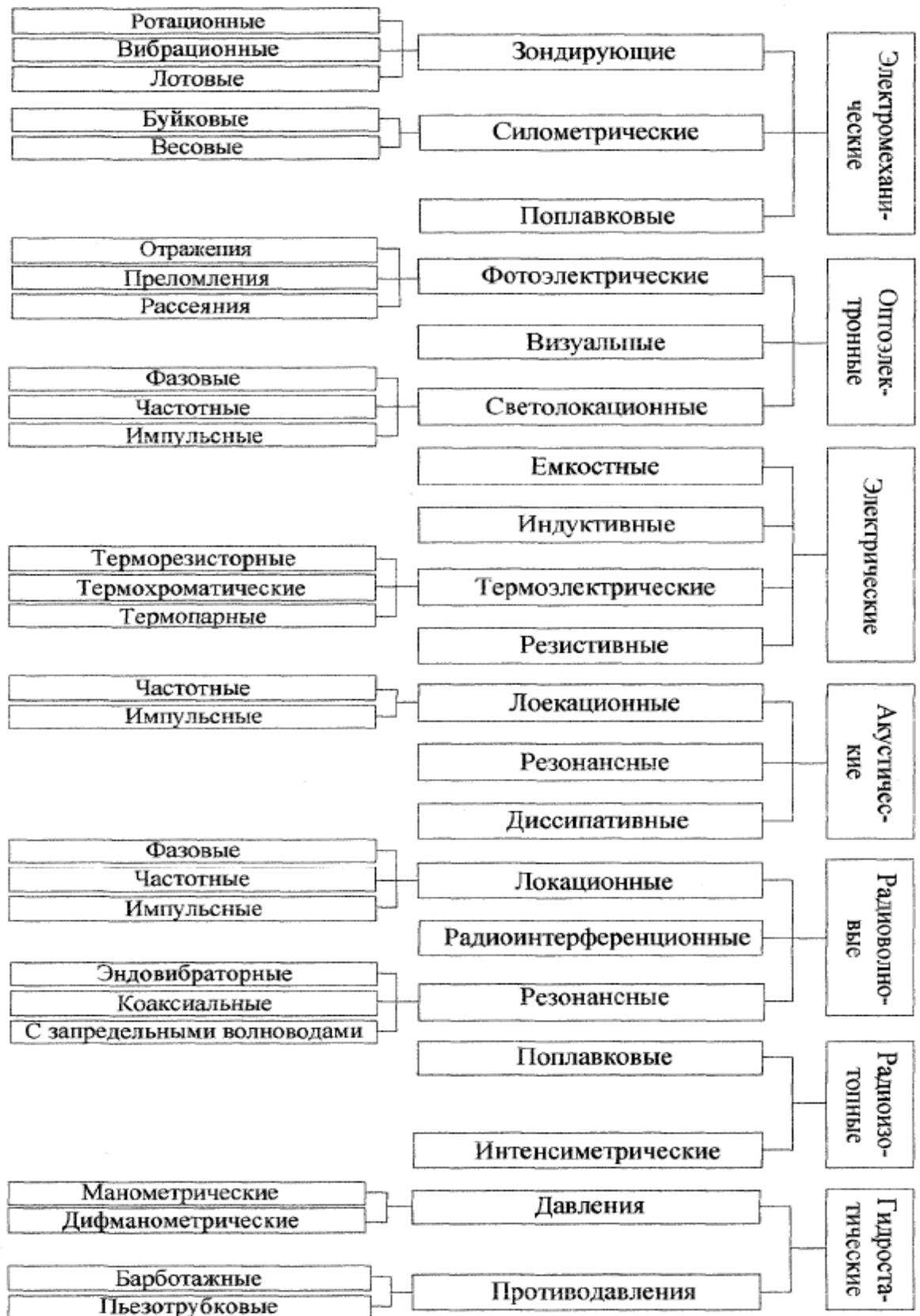


Рисунок 2.1 – Классификация уровнемеров

### **Радиоволновые датчики уровня**

Данный метод основан на явлении отражения электромагнитных волн от границы раздела сред, различающихся электрическими и магнитными свойствами [15].

### **Акустические и ультразвуковые датчики уровня**

Действие акустических датчиков уровня основано на измерении времени прохождения импульса ультразвука от излучателя до поверхности жидкости и обратно. При приеме отраженного импульса излучатель становится датчиком. Если излучатель расположен над жидкостью, уровнемер называется акустическим; если внутри жидкости — ультразвуковым. В первом случае измеряемое время будет тем больше, чем ниже уровень жидкости, во втором — наоборот. [8].

### **Гидростатические датчики уровня**

Данный метод измерения уровня основан на том, что в жидкости существует гидростатическое давление, пропорциональное глубине, то есть расстоянию от поверхности жидкости. При измерении уровня гидростатическим способом используют приборы перепада давлений или измерения давления. [8].

### **Радиоизотопные датчики уровня**

Радиоизотопные уровнемеры используют для точного бесконтактного измерения уровня и объема в сложных условиях технологического процесса. Данный способ позволяет осуществлять контроль уровня различных твердых и жидких веществ. Так как все элементы уровнемера находятся снаружи сосуда и не контактируют с контролируемым веществом, радиоизотопный уровнемер не подвержен влиянию таких параметров, как температура, коррозия, вакуум, вязкость, давление.

В качестве изотопов для данных уровнемеров применяют:  $\text{Cs}^{137}$ ,  $\text{Co}^{60}$ ,  $\text{Am}^{241}$ .

## **2.2. Анализ характеристик современных средств измерения уровня.**

При эксплуатации уровнемер необходимо учитывать различные физические и химические свойства внешних мешающих факторов и рабочей среды резервуара (температура, вязкость, давление, вакуум, химическая агрессивность и др.), которые изменяются в больших пределах, и под воздействием которых находятся уровнемеры. В датчиках, принцип действия которых основан на взаимодействии с веществом, свойства среды играют определяющую роль при воздействии на них, из-за непостоянности данных свойств, они могут сильно и недопустимо влиять на точность получаемых результатов. Кроме того, при контактном способе измерения уровня если вещество является химически активным, оно вступает в реакцию с материалом ЧЭ, что может привести к разрушению деталей.

При измерении уровня вязких или пастообразных веществ, данные вещества могут налипнуть на элементы конструкции датчика, из-за этого использования контактных уровнемеров становится невозможным.

Контактные уровнемеры при измерении уровня сыпучих материалов подвергаются, нежелательной, механической обработке, из-за чего ЧЭ датчика приходит в негодность.

При эксплуатации для соблюдения паспортной точности в заданных пределах, контактные уровнемеры приходится регулировать. В свою очередь бесконтактные уровнемеры снабжены устройствами самокорректировки результатов измерений и самопроверки, что лишает их данного недостатка.

Температура окружающей среды, давление, требуемая точность измерений, особенности емкости и другие факторы для различных конкретных задач, влияют на выбор уровнемера. Так же к одним из основных значений относится и цена уровнемера. Сравнительные характеристики современных уровнемеров представлены в таблице 2.1.

В радиоизотопных уровнемерах (РУ), которые работают по принципу эффекта поглощения или ослабления ядерного излучения, проходящего через вещества или среду. Являются универсальными, так как не имеют контакта с

контролируемой поверхностью и почти не реагируют на изменение параметров среды. Могут измерять уровни различных твердых и жидких веществ, при разных условиях эксплуатации. Могут использоваться как для непрерывного контроля уровня, так и как сигнализаторы максимального уровня [18].

Обеспечение заданной точности измерений и их стабильность, является одним из главных требований к уровнемерам. Заданная точность обеспечивается применением современной элементной базы, микропроцессорной обработкой сигналов с применением уникальных алгоритмов, которые строятся с учетом результатов исследований физики работы датчика того или иного типа.

Для практической реализации уровнемера, работающего с заданной точностью, необходимо проанализировать погрешность и на основе полученных данных разрабатывать конкретное устройство.

Таблица 2.1 – Сравнительная характеристика уровнемеров

Класс уровнемеров	Параметры уровнемеров					Параметры контролируемой среды		
	Точность измерения, мм.	Диапазон измерения, м.	Особенности работы	Способ измерения	Цена, у.е.	Физическое состояние и электрические свойства	Температура, С.	Давление, МПа.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Электромеханические								
Зондирующие	5-50	0-30	Для обеспечения паспортной точности требуется периодическое техобслуживание.	Контакт	100 - 2000	Сыпучие, жидкие, кусковые, электропроводные, диэлектрические.	-50 - +200	до 3
Силовые	3-100	0.3-10	Частота обслуживания зависит от типа продукта. Не обеспечивается точность для налипающих сред. Средства поверки уровнемера непосредственно на резервуаре отсутствуют.	Контакт	100 - 2000	Жидкие, электропроводные, диэлектрические.	-50 - +150	до 2.5
Поплавковые	5- 50	0.1-15		Контакт	50 - 1000	Жидкие, электропроводные, диэлектрические.	-50 - +200	до 2.5

Оптоэлектронные								
Фотоэлектрические	1-10	0-20	Для обеспечения работоспособности необходимо следить за состоянием оптической системы датчиков. Не	Б/контакт	1000 - 3000	Сыпучие, жидкие, не пылящие, не парящие, диэлектрические, непрозрачные, электропроводные.	до +250	до 20
Визуальные	1-50	0.3-10	допускается попадание на оптику конденсата, пыли, грязи и т.н.	Б/контакт	50 - 1000	Жидкие, не пылящие, электропроводные, непрозрачные, диэлектрические, не парящие.	до +400	до 20
Светолокационные	0.1 100	0-200		Б/контакт	3000 - 10000	Сыпучие, жидкие, диэлектрические, электропроводные, не пылящие, непрозрачные, не парящие.	-50 - +350	до 20
Электрические								
Емкостные	4-50	0.1-10	При эксплуатации необходимо учитывать электрофизические параметры вещества.	Контакт	50 - 1000	Сыпучие, жидкие, порошкообразные, кусковые, электропроводные, диэлектрические.	-40 - +100	до 2.5

Индуктивным	5-100	0.25-10	Недопустимо наличие контролируемого вещества на датчик	Контакт	50 - 1000	Сыпучие, жидкие, порошкообразные, кусковые, электропроводные, диэлектрические.	-40 - +100	до 2.5
Термоэлектрические	10-100	0.5-30		Контакт	100 - 1000	Жидкие, электропроводные, диэлектрические.	-25 - +100	до 4
Резистивные	1-50	1-10		Контакт	100 - 1500	Жидкие, электропроводные.	-15 - +100	до 10
Акустические								
Локационные	1-20	0.3-2.5	Для нормальной работы требуется знать параметры окружающей среды. Запыленность, изменение температуры, влажности во время измерений не допускаются.	Б/контакт	500 - 3000	Сыпучие, жидкие, кусковые, пастообразные, электропроводные, диэлектрические.	-50 - +100	до 2.5

Резонансные	10-100	0.2-50		Б/контакт	500 - 4000	Сыпучие, жидкие, кусковые, пастообразные, электропроводные, диэлектрические.	-20 - +150	до 2.5
Диссипативные	5-100	0.1-50		Б/контакт	100 - 2000	Сыпучие, жидкие, кусковые, пастообразные, электропроводные, диэлектрические.	-20 - +150	до 2.5
Радиоволновые								
Резонансный	10-100	0.3-30	Не нужна поверка в связи с наличием встроенного устройства самопроверки. Техобслуживание не требуется из- за отсутствия	Б/контакт	1000 - 5000	Сыпучие, жидкие, кусковые, порошковые, пастообразные, электропроводные, диэлектрические.	-25 - +200	до 4
Локационные	1-100	0.5-30	движущихся частей а так же отсутствия контакта с продуктом.	Б/контакт	3000 - 20000	Сыпучие, жидкие, кусковые, порошковые, пастообразные, электропроводные, расплавы металлов.	-40 - +200	до 10

Радиоинтерференционные	5-100	0.2-30		Б/контакт	1000 - 5000	Сыпучие, жидкие, кусковые, порошковые, пастообразные, электропроводные.	-30 - +200	до 3.5
Радиоизотопные								
Интенсиметрические	20-150	1 -20	Для работы необходимо использование радиоактивного элемента.	Б/контакт	1500 - 5000	Сыпучие, жидкие, кусковые, порошковые, пастообразные, электропроводные, диэлектрические.	-30 - +150	до 10
Поплавковые	20-150	0.2-10		Контакт	500 - 2000	Жидкие, электропроводные, диэлектрические	-20 - +100	до 2.5
Гидростатические								
Давления	5-100	0-30	При работе необходим контроль давления над поверхностью уровня и периодическая очистка.	Контакт	100 - 2000	Жидкие, электропроводные, диэлектрические	-20 - +100	до 1
Противодавления	5-100	0-20		Контакт	500 - 3000	Жидкие, электропроводные, диэлектрические	-20 - +90	до 1

### **3. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ РАДИОИЗОТОПНОГО УРОВНЕМЕРА**

#### **3.1. Анализ методов измерения уровня радиоизотопными уровнемерами**

##### **3.1.1. Особенности условий работы радиоизотопных уровнемеров**

Радиоизотопные уровнемеры используются для точного бесконтактного измерения уровня в сложных условиях технологического процесса. Гамма-излучение обеспечивает простую и надежную систему неразрушающего контроля уровня жидкостей, твердых тел. или суспензий независимо от размеров и формы резервуара. Радиационные датчики не требуют проникновения ни в объем продукта, ни в резервуар.

Принцип работы РУ основан на зависимости ослабление интенсивности потока ионизирующего излучения проходящего через положение уровня контролируемого вещества и попадающего на приемник (детектор) излучения. Основными элементами радиоизотопного уровнемера (рисунок 3.1) являются источник излучения 3, детектор излучения 2 и измерительная схема 5, которая преобразует выходной параметр детектора в сигнал, пропорциональный уровню.

Источник излучения содержит некоторое количество радиоактивного изотопа, которое должно обеспечить достаточную для регистрации детектором интенсивность излучения. Конструктивное оформление источника определяется его назначением. Для точечного источника характерно расположение радиоактивного материала внутри массивного корпуса, заполненного хорошо поглощающим материалом. Вывод излучения осуществляется через коллимирующее отверстие в корпусе. Подобная конструкция обеспечивает максимальную направленность излучения и уменьшает радиационную опасность. В качестве детекторов гамма-излучения в радиоизотопных уровнемерах применяют газоразрядные счетчики Гейгера - Мюллера и сцинтилляционные счетчики.

**Поплавковые** радиоизотопные уровнемеры используют источник излучения помещается на поплавке и по интенсивности излучения индицируется положение поплавка, а вместе с ним и уровня (рисунок 3.1, а).

**Интенсиметрические уровнемеры** используют эффект взаимодействия излучения с контролируемым веществом (рисунок. 3.1, б, в). Источники и детекторы излучения таких уровнемеров не смещаются относительно друг друга, и текущее значение уровня определяется по изменению интенсивности излучения, обусловленного различной поглощающей способностью жидкой и газовой фаз. Существуют как точечные, так и протяженные источники, и детекторы излучения. На их основе строятся современные датчики уровня и уровнемеры непрерывного действия [8].

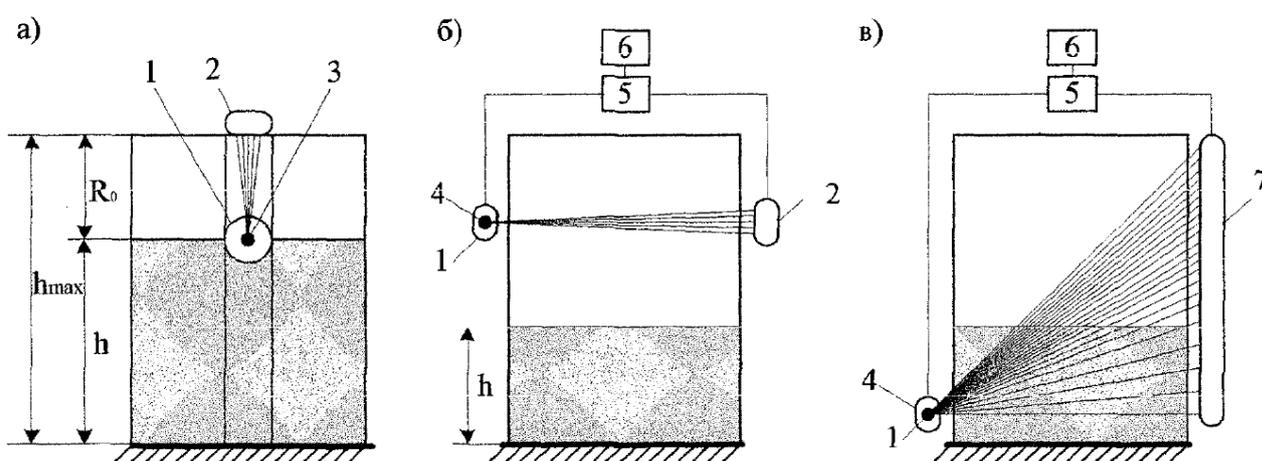


Рисунок 3.1 – Радиоизотопные уровнемеры: а - поплавковый; б, в - интенсиметрические датчики уровня.

1 - поплавок; 2 - датчик ядерного излучения; 3 - источник ядерного излучения; 4 - камера с источником ядерного излучения; 5 - схема обработки сигналов; 6 - устройство индикации; 7 - протяженный датчик ядерного излучения.

Сдерживающим фактором являются и специальные инструкции, созданные в отношении любой техники, работающей на основе ионизирующих излучений. Только неукоснительное соблюдение узаконенных в этих инструкциях правил монтажа и обслуживания способствует тому, что промышленное применение радиометрических измерительных устройств с точки зрения здравоохранения не вызывает сомнений. Примерами радиоизотопных уровнемеров могут служить приборы серии; LJ, LN, LS, SHF

(Ohmart, США), NeuScan, CND (TN Technologies, США) [16]; FTG, FMG (Endress+Hauser США); LB (Berthold Australia Pty. Ltd., Австралия), [17].

Поскольку измерение проводится вне удерживающей жидкости резервуара, гамма-измеритель не подвержен влиянию высоких температур и давлений, коррозии, абразивов, испарений, пыли, что могло бы воздействовать на инструмент, вводимый в измеряемую среду, или даже разрушить его. Несмотря на высокую эффективность, к этому методу измерения уровня обращаются в последнюю очередь - из-за дороговизны и специализированных требований.

Радиоизотопные уровнемеры применяют для измерения уровня жидкостей и сыпучих материалов в закрытых емкостях и делятся на две группы:

- уровнемеры непрерывного измерения уровня, которые имеют следящую систему;
- сигнализаторы (индикаторы) отклонения уровня от заданного значения.

Использование радиоизотопных уровнемеров целесообразно там, где другие методы измерения непригодны. Однако с учетом способности радиоактивного источника пронизывать излучением типичный стальной резервуар, для работы с ним потребуются специальные разрешения, принятие мер по обеспечению радиационной безопасности обслуживающего персонала и сохранности источника, обучение операторов, поэтому это техническое решение требует тщательной продуманности и предварительной подготовки [18, 19].

Появившиеся в последнее время высокочувствительные «протяженные» (длиной до 2 м) блоки детектирования для регистрации гамма-излучения позволяют в большинстве случаев отказаться от применения специализированных источников ионизирующего излучения большой активности и создавать на базе естественных радионуклидов (соли калия) экологически безопасные источники излучения [14].

Радиоизотопный метод измерения уровня позволяет в условиях особо жестко заданных параметров среды внутри технологического оборудования

производить контроль и измерение уровня с высокой точностью и стабильностью.

Достоинства радиоизотопного метода измерения уровня:

- Непрерывное, бесконтактное измерение уровня любых продуктов.
- Применение даже при самых тяжелых условиях процесса: высоком давлении, высокой температуре, высокой коррозионности, токсичности, абразивности.
- Применяется на любых промышленных емкостях при наличии конструкционной оснастки внутри контролируемого пространства: реакторах, автоклавах, сепараторах, резервуарах с кислотой, смесителях, циклонах, вагранках.
- Подключение к системе по открытым протоколам.
- Используется в системах безопасности для определения предельного уровня.

Недостатки:

- Требуется наличие лицензирования на возможность использования приборов с источниками излучения.
- Дополнительное техобслуживания

Уровнемер применяется в горнорудной, химической, металлургической промышленности, а также на предприятиях ядерно-топливного цикла.

### **3.1.2. Анализ метода измерения уровня при контроле.**

Определение уровня радиоизотопным уровнемером основано на поглощении  $\gamma$  – лучей при прохождении их через слой вещества. Интенсивность гамма-излучения при поглощении его веществом выражается экспоненциальной зависимостью [20]:

$$J_x = J_0 \exp(-\mu x), \quad (3.1)$$

где  $J_x$  – интенсивность  $\gamma$  – лучей после прохождения слоя вещества толщиной  $x$ ;  $J_0$  – начальная интенсивность  $\gamma$  – излучения;  $\mu$  – коэффициент ослабления  $\gamma$  – излучения, зависящий от природы и толщины слоя вещества.

Данная зависимость справедлива для узкого пучка монохроматического излучения и однородного поглотителя. Если спектр  $\gamma$  – излучения состоит из нескольких линий, то ослабление выражается зависимостью

$$J_x = J_{1x} + J_{2x} + \dots = J_0 \exp(-\mu_1 x) + J_0 \exp(-\mu_2 x) + \dots, \quad (3.2)$$

где  $\mu_1, \mu_2$  – коэффициенты поглощения для соответствующих групп  $\gamma$  – лучей.

Для поглотителя сложного химического состава коэффициент ослабления

$$\mu = q_1 \mu_1 / \rho_1 + q_2 \mu_2 / \rho_2 + \dots, \quad (3.3)$$

где  $q_1, q_2$  – массовые доли составных частей вещества;  $\rho_1, \rho_2$  – плотности составных частей вещества.

Наиболее употребительные изотопы, испускающие  $\gamma$  – лучи, – это  $^{60}\text{Co}$  и  $^{137}\text{Cs}$ .

#### **4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ИЗОТОПОВ 4-ОЙ КАТЕГОРИИ.**

По степени радиационной опасности, в зависимости от вида и активности, используемых в их составе источников, устанавливаются 4 группы РИП (п. 2.3 СП 2.6.1.1015-01):

1 группа:

- РИП, содержащие источники альфа- или бета - излучения с активностью не более МЗА (минимальная значимая активность), приведенной в НРБ-99/2009 [21];

- РИП, содержащие источники гамма-излучения с активностью не более МЗА, создающие мощность поглощенной дозы в воздухе не более 1,0 мкГр/ч на расстоянии 0,1 м от поверхности источника;

2 группа:

- РИП, содержащие источники альфа- или бета - излучения с активностью более МЗА, но не более 200 МБк;

3 группа:

- РИП, содержащие источники альфа- или бета -излучения с активностью более 200 МБк, но не более 2000 МБк;

- РИП с источниками гамма-излучения, создающими мощность поглощенной дозы в воздухе более 1,0 мкГр/ч на расстоянии 0,1 м от поверхности источника, но не более 3,0 мкГр/ч на расстоянии 1,0 м от поверхности источника;

- РИП с источниками нейтронов, испускающими не более 105 н/с;

4 группа:

- РИП, содержащие источники альфа- или бета - излучения с активностью более 2000 МБк;

- РИП с источниками гамма - излучения, создающими мощность поглощенной дозы в воздухе более 3,0 мкГр/ч на расстоянии 1,0 м от поверхности источника;

- РИП с источниками нейтронов, испускающими более 105 н/с.

В соответствии с рабочим проектом на основании требований СП 2.6.1.1015-01 с учётом вида и активности, используемых гамма -источников (закрытых радионуклидных источников (ЗРНИ)) в составе РИП, по степени радиационной опасности отнесены к 4 (четвёртой) группе.

Потенциальная радиационная опасность РИ обусловлена возможным радиационным воздействием на персонал и население при радиационных авариях и определяется с учетом категорий по потенциальной радиационной опасности ЗРНИ, используемых в составе РИ.

Категория опасности РИ устанавливается с учетом категории опасности РНИ, используемых в составе РИ, а также с учетом требований НП-038-2011 [22].

#### **4.1. Расчёт категории опасности закрытых радионуклидных источников.**

Критерием отнесения конкретного ЗРНИ к одной из установленных категорий опасности ЗРНИ является безразмерная величина, называемая A/D-отношением. Значение A/D-отношения вычисляется путем деления активности A материнского радионуклида ЗРНИ на соответствующее значение D-величины для данного радионуклида [23].

Отношение активностей  $A/D=1$  рассматривается в системе категорирования как основная логическая граница, разделяющая весь диапазон активностей ЗРНИ на две условные категории: «опасные»  $A/D \geq 1$  и «неопасные»  $A/D < 1$ . Для более детального категорирования ЗРНИ выбраны еще три граничных значения - отношений:

$A/D = 10$  – поскольку активность ЗРНИ, в 10 раз большая, чем значение D-величины, может приводить к повышению угрозы для жизни людей за счет облучения в относительно короткий период времени;

$A/D = 1000$  – на основе опыта эксплуатации, профессиональных оценок и уроков, извлеченных из рассмотрения известных аварий;

$A/D = 0,01$  – на основе опыта эксплуатации, профессиональных оценок и уроков, извлеченных из рассмотрения известных аварий.

Значения A/D-отношений следует использовать для отнесения ЗРНИ к одной из пяти "расчетных" категорий по потенциальной радиационной опасности.

Установленные границы категорий опасности ЗРНИ:

- Категория 1:  $A/D \geq 1000$  Чрезвычайно опасно для человека;
- Категория 2:  $10 \leq A/D < 1000$  Очень опасно для человека;
- Категория 3:  $1 \leq A/D < 10$  Опасно для человека;
- Категория 4:  $0,01 \leq A/D < 1$  Опасность для человека маловероятна;
- Категория 5:  $A/D < 0,01$  Опасность для человека очень маловероятна.

Исходными данными для категорирования ЗРНИ являются:

- D-величина для радионуклида ЗРНИ (Таблица 4.1.) [23];
- дата определения категории опасности ЗРНИ.

Таблица 4.1 – Значения D-величин для радионуклидов

№ п/п	Радионуклид		D-величина, ТБк	Период полураспада
	2	3		
1.			4	5
2.	Кобальт	Co-60	3.E-02	5.27 лет
3.	Цезий	Cs-137	1.E-01	30.0 лет
4.	Америций	Am-241/Be-9	6.E-02	4.32E+2 лет

Определение(установление) категории опасности для одиночного ЗРНИ, изготовленного на основе одного радионуклида, осуществляется в несколько этапов:

На первом этапе следует определить активность A ЗРНИ на дату категорирования.

Если период полураспада радионуклида ЗРНИ больше назначенного срока службы (НСС), при определении категории опасности ЗРНИ рекомендуется использовать паспортную активность.

Если период полураспада радионуклида ЗРНИ меньше НСС, при определении категории опасности ЗРНИ:

- для ЗРНИ с даты изготовления которого прошло менее одного периода полураспада следует использовать паспортную активность ЗРНИ;

- для ЗРНИ с даты изготовления которого прошло более одного периода полураспада следует вычислить активность ЗРНИ (по материнскому радионуклиду) на дату категорирования.

В случае отсутствия паспортных данных (например, в случае обнаружения бесхозного ЗРНИ), радионуклид и активность ЗРНИ следует определить по результатам непосредственных измерений.

На втором этапе следует вычислить A/D-отношение для ЗРНИ, на основе активности A, определенной на предыдущем этапе, и значения D-величины (таблица 4.1.) для радионуклида данного ЗРНИ.

На третьем этапе, на основании вычисленного в соответствии со 2 этапом значения A/D – отношения, следует определить "расчетную" категорию опасности ЗРНИ в соответствии с установленными границами категорий опасности ЗРНИ.

#### **4.2. Определение максимальной активности источников, используемых в уровнемерах.**

Для определение максимальной активности радионуклидов 4-ой категории, значение A/D – отношения должно быть меньше 1 [24].

Расчёт максимальной активности для радионуклида Cs-137.

$$A < 1 * D = 1 * 10^{-1} * 10^{12} \text{Бк} = 10^{11} \text{Бк}, \quad (4.1)$$

Максимальная активность для Cs-137 составляет  $10^{11}$  Бк.

Расчёт максимальной активности для радионуклида Co-60.

$$A < 1 * D = 1 * 3 \cdot 10^{-2} * 10^{12} \text{Бк} = 3 * 10^{10} \text{Бк}, \quad (4.2)$$

Максимальная активность для Co-60 составляет  $3 * 10^{10}$  Бк.

Расчёт максимальной активности для радионуклида Am-241/Be-9.

$$A < 1 * D = 1 * 6 \cdot 10^{-2} * 10^{12} \text{Бк} = 6 * 10^{10} \text{Бк}, \quad (4.3)$$

Максимальная активность для Am-241/Be-9 составляет  $6 * 10^{10}$  Бк.

Для источника нейтронного излучения и Am-241/Be-9, действие которого основано на  $(\alpha, n)$  -реакции, D-величина соответствует опасной активности радионуклида Am-241, как альфа-излучателя.

Для некоторых наиболее распространенных видов практической деятельности с использованием ЗРНИ представлены рекомендованные МАГАТЭ категории по потенциальной радиационной опасности.

Рекомендованные категории опасности ЗРНИ установлены не только на основе A/D- отношения, но и с учетом экспертных оценок специалистов МАГАТЭ, т.е. с рассмотрением дополнительных факторов (физико-химическая форма вещества ЗРНИ, мобильность, опыт известных аварий в том или ином виде практической деятельности и т.п.). При этом, для каждого конкретного вида практической деятельности, как правило, установлена единая рекомендованная категория, которая может не совпадать с расчетной категорией для ЗРНИ, используемого в этом виде практической деятельности, если его рассматривать безотносительно к виду деятельности.

Категории источников, используемых в уровнемерах по рекомендации МАГАТЭ, приведены в таблице 4.2. [24, 25].

Выводы:

- На основе проведенных расчётов и сопоставлений с паспортными характеристиками источников излучения [45]. В качестве источника по активности может быть использован источник излучения: Cs-137 типа ИГИ-Ц-4-1, ИГИ-Ц-4-6 и ГИД-Ц-3-1, Co-60 типа ГИТ-К-12.
- Лучшим радионуклидом для уровнемера, является Cs-137, так как испускаемых фотонов цезием намного больше, чем у Co-60.

Таблица 4.2 – Категории источников, используемых в уровнемерах

Источники в различных видах практической деятельности (областях применения) в терминологии МАГАТЭ	Объекты применения лицензируемых видов деятельности в терминологии Ростехнадзора		Радионуклид	Активность А(ТБк)		D-величина (ТБк)	A/D-отношение	Расчетная категория, основанная на A/D-отношении
	Наименование	Код						
2	3	4	5	6		7	8	9
Средства измерений уровня заполнения	Изделия, в которых содержатся РВ. Радиоизотопные приборы (уровнемеры), (альфа, гамма)	209 - изделия, в которых содержатся радиоактивные вещества;	Am-241	Макс	4.4E-03	6.E-02	7.4E-02	4
			Am-241	Мин	4.4E-04	6.E-02	7.4E-03	5
			Am-241	Тип	2.2E-03	6.E-02	3.7E-02	4
			Cs-137	Макс	2.4E-03	1.E-01	2.4E-02	4
			Cs-137	Мин	1.9E-03	1.E-01	1.9E-02	4
			Cs-137	Тип	2.2E-03	1.E-01	2.2E-02	4
			Co-60	Макс	1.9E-02	3.E-02	6.2E-01	4
			Co-60	Мин	1.9E-04	3.E-02	6.2E-03	5
			Co-60	Тип	8.7E-04	3.E-02	2.9E-02	4

## 5. РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА ГАММА-УРОВНЕМЕРА

При разработке были использованы органический сцинтилляционный детектор и кремневый фотоэлектронный умножитель (ФЭУ).

**Сцинтилляционные детекторы** основаны на регистрации люминесценции, вызываемой действием излучения на люминофоры, в которых энергия излучения преобразуется в световые вспышки (сцинтилляции). Люминофоры, используемые для этих целей, обычно называются сцинтилляторами.

В качестве сцинтилляторов используются различные вещества (твёрдые, газообразные, жидкие).

Сцинтиллятор может быть органическим (кристаллы, пластики или жидкости) или неорганическим (кристаллы или стекла). Используются также газообразные сцинтилляторы.

Сцинтилляционный метод основан на регистрации коротких вспышек света — сцинтилляций, возникающих в некоторых веществах при прохождении через них заряженных частиц. Сцинтилляции отличаются от других видов свечения тем, что они обусловлены электронными переходами внутри центра свечения (ЦС). (в зависимости от типа вещества центром свечения может быть атом, молекула, ион или более сложное образование). Сцинтилляционный детектор состоит из сцинтиллятора и прибора, преобразующего световые вспышки в электрический сигнал (например, фотоэлектронного умножителя (ФЭУ)).

Когда гамма-кванты взаимодействуют с материалом сцинтиллятора, возникают ионизированные (возбужденные) атомы в материале сцинтиллятора, которые затем переходят в состояние с более низкой энергией и испускают фотоны света. В чистом неорганическом кристалле сцинтиллятора возвращение атома в состояние с более низкой энергией с испусканием фотона является малоэффективным процессом. Кроме того, испускаемые фотоны обычно обладают слишком высокой энергией по отношению к диапазону длин волн, к

которым чувствителен ФЭУ. С целью увеличения испускания видимых фотонов ко всем сцинтилляторам добавляются небольшие количества примесей (называемых активаторами). Фотоны, возникающие при снятии возбуждения, проходя сквозь эти примеси добавляются к фотонам, которые могут активировать ФЭУ. Одним из важных следствий люминесценции через примеси активатора является то, что объем кристалла сцинтиллятора становится прозрачен для сцинтилляционного света.

Сцинтилляционный свет испускается изотропно, поэтому для минимизации потерь света сцинтиллятор обычно окружается отражающим материалом (таким, как MgO) и затем оптически соединяется с фотокатодом ФЭУ [26].

Фотоны сцинтилляции попадают на фотокатод и высвобождают электроны посредством фотоэлектрического эффекта. Эти фотоэлектроны затем ускоряются сильным электрическим полем в ФЭУ. По мере того как фотоэлектроны ускоряются, они сталкиваются с электродами в трубке (называемыми динодами), высвобождая дополнительные электроны. Затем этот возросший поток электронов снова ускоряется до столкновения с последующими электродами, вызывая сильное умножение (с коэффициентом  $10^4$  и более) электронного потока от его первоначального значения на поверхности фотокатода. Наконец, усиленный зарядовый импульс прибывает на выходной электрод (анод) трубки. Амплитуда этого импульса пропорциональна первоначальному количеству заряда, освобожденного на фотокатод ФЭУ; постоянная пропорциональности представляет собой коэффициент усиления ФЭУ. Первоначальное число фотоэлектронов, освобожденных на фотокатод, пропорционально количеству света, падающего на трубку фотоумножителя, которое, пропорционально количеству энергии, потерянной в сцинтилляторе гамма-квантом (в предположении отсутствия потерь в объеме сцинтиллятора). Таким образом образуется выходной сигнал, пропорциональный энергии, потерянной гамма-квантом в сцинтиллирующей среде.

В разрабатываемом экспериментальном образце гамма-уровнемера был использован органический пластиковый сцинтилляционный детектор (рисунок 5.2).



Рисунок 5.2 – Органический пластиковый сцинтилляционный детектор

Пластиковые сцинтилляторы представляют собой твердые растворы флуоресцирующих органических соединений в подходящем прозрачном веществе. Например, растворы антрацена или стильбена в полистироле, или плексигласе. Концентрации растворенного флуоресцирующего вещества обычно малы и составляют несколько десятых долей процента или несколько процентов.

Так как растворителя намного больше, чем растворенного сцинтиллятора, то регистрируемая частица производит в основном возбуждение молекул растворителя. Энергия возбуждения в дальнейшем передается молекулам сцинтиллятора. Спектр испускания растворителя должен быть более жестким, чем спектр поглощения растворенного вещества, или совпадать с ним. Энергия возбуждения растворителя передается молекулам сцинтиллятора за счет фотонного механизма, то есть молекулы растворителя испускают фотоны, которые затем поглощаются молекулами растворенного вещества. Возможен и другой механизм передачи энергии. Так как концентрация сцинтиллятора мала,

то раствор оказывается практически прозрачным для возникшего излучения сцинтиллятора.

Пластмассовые сцинтилляторы характеризуются: малым временем высвечивания порядка  $10^{-8} - 10^{-9}$  сек, удовлетворительной устойчивостью к воздействию облучений, пропорциональной зависимостью высот импульсов сцинтилляций от энергии излучения. Сцинтилляционная эффективность лучших пластмассовых сцинтилляторов достигает 70% эффективности монокристаллов стибьена. Ценным свойством пластмассовых сцинтилляторов является их прозрачность к собственному излучению.

Сцинтиллирующие пластмассы легко изготавливаются, механически обрабатываются и дают интенсивное свечение. В качестве примера можно назвать твёрдые растворы терфенила или антрацена в полистироле. Фосфоры-пластики могут быть изготовлены больших объёмов и любой формы (блочные детекторы, плёнки, капилляры и т.п.). Пластмассовые сцинтиллирующие детекторы имеют эффективность ниже введённого вещества-сцинтиллятора из-за меньшей его концентрации на единицу объёма детектора. Зато такие детекторы не боятся механических воздействий, влаги и могут эксплуатироваться в диапазоне температур ( $-190^{\circ}\text{C} - +70^{\circ}\text{C}$ ). Их применяют для регистрации заряженных частиц. Они чувствительны также и к  $\gamma$ -излучению.

Так как в органических сцинтилляторах возбуждаются молекулярные уровни, которые излучают в ультрафиолетовой области для согласования со спектральной чувствительностью регистрирующих свет устройств (ФЭУ и фотодиодов) используются светопреобразователи, которые поглощают ультрафиолетовое излучение и переизлучают видимый свет в области 400 нм. [27].

**Фотоэлектронный умножитель (ФЭУ)** — электровакуумный прибор, в котором поток электронов, излучаемый фотокатодом под действием оптического излучения (фототок), усиливается в умножительной системе в результате вторичной электронной эмиссии; ток в цепи анода (коллектора

вторичных электронов) значительно превышает первоначальный фототок (обычно в  $10^5$  раз и выше).

Кремниевые фотоумножители (Si-ФЭУ) представляют собой многоячеистые ( $\sim 1000$ ) лавинные фотодиоды, работающие в режиме гейгеровского ограничения развития лавины [46]. По своим параметрам они близки к параметрам вакуумных фотоумножителей, однако имеют существенно меньшие размеры, более удобное для работы напряжение питания (30-60 В) и, в перспективе, значительно более низкую стоимость. В настоящее время разработаны и используются в ряде работ Si-ФЭУ с размером чувствительной области 1-25 мм<sup>2</sup>. Продолжается работа по оптимизации параметров Si-ФЭУ. Одним из направлений этой работы является уменьшение эффекта оптической связи между ячейками.

Под понятием «оптическая связь» понимается следующее: при развитии электронно-дырочной лавины в полупроводнике образуются фотоны, которые распространяются в объеме фотоприемника и могут поглотиться и вызвать новую лавину в других, преимущественно соседних, ячейках Si-ФЭУ. Это приводит к дополнительной ошибке при амплитудных измерениях. Количество образующихся фотонов пропорционально числу электронов в лавине, т.е. пропорционально коэффициенту усиления в одной ячейке. Согласно работе [47] один фотон образуется на  $\approx 105$  электронов

Существуют фотоэлектронные умножители с полупроводниковыми умножающими элементами (гибридные), принцип действия которых основан на явлении ионизации атомов полупроводника при его бомбардировке электронами [28].

В разрабатываемом образце гамма-уровнемера был использован кремневый ФЭУ серии С (рисунок 5.4.)

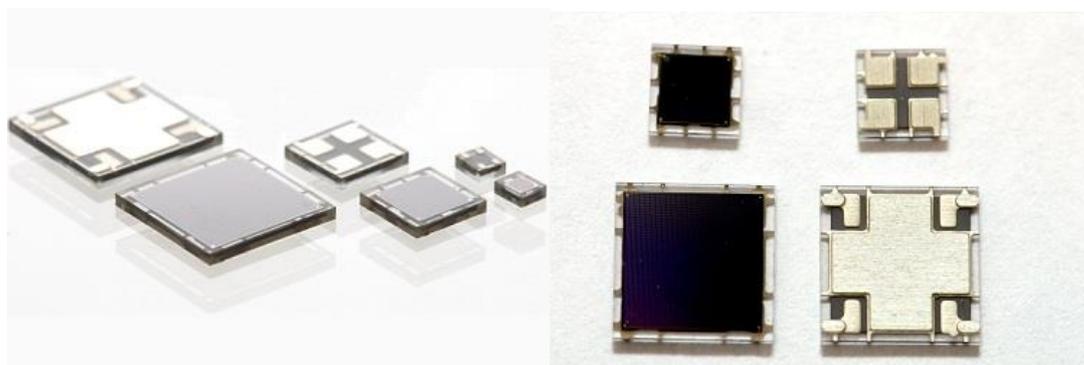


Рисунок 5.4 – Кремневый фотоумножитель серии С

Кремниевые фотоумножители серии С обладают самой низкой в отрасли скоростью темнового счета  $<100$  кГц/мм<sup>2</sup> (типичное значение 30 кГц/мм<sup>2</sup>) и исключительной однородностью напряжения смещения  $\pm 250$  мВ. Спектральный диапазон работы кремниевых фотоумножителей серии С составляет от 300 нм до 800 нм с высокой эффективностью регистрации фотонов (более 40% при 420 нм) протяженной в синюю область спектра. Помимо высокой квантовой эффективности кремниевые фотоумножители серии С также имеют уникальный быстродействующий выход снимающий сигнал через собственную емкость детектора [28].

Кремниевые фотоумножители серии С могут быть в различных корпусах - герметизированный металлический корпус TO18, керамический корпус X13, в котором кристалл монтируется на керамическую подложку и покрывается прозрачной эпоксидной смолой для применений, требующих склейки детектора со сцинтиллятором, а также дешевый SMT корпус, предназначенный для автоматизированного поверхностного монтажа.

Кремниевые фотоумножители серии С характеризуются высоким коэффициентом усиления и квантовой эффективностью сравнимой с характеристиками традиционных фотоэлектронных умножителей, а также обладают дополнительными преимуществами в виде компактных размеров, нечувствительности к воздействию магнитных полей, работой при температурах от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+85^{\circ}\text{C}$  и от низкого напряжения (до 30 В), механической прочностью и невосприимчивостью к внешней засветке.

## **6. ИСПЫТАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА ГАММА-УРОВНЕМЕРА.**

Было проведено экспериментальное исследование образца гамма-уровнемера. Внешний вид и основные технические характеристики образца представлен на рисунке 6.1. и приведены в таблице 6.1.



Рисунок 6.1 – Внешний вид образца гамма-уровнемера.

Таблица 6.1 – Технические характеристика образца гамма-уровнемера

Параметр	Значение
Номинальное напряжение питания, В	24
Потребляемый ток, мА	4-20
Диапазон окружающей температуры, °С	-40 - +85
Допустимая относительная погрешность, %	±1

Первый эксперимент производился в закрытом помещении при комнатной температуре. Образец располагался за защитой из свинца, толщиной 55 см, радиоизотопный источник Cs-137 располагался на расстоянии 3 метров, чтобы равномерно покрывать область по движению уровнемера (рисунок 6.2)

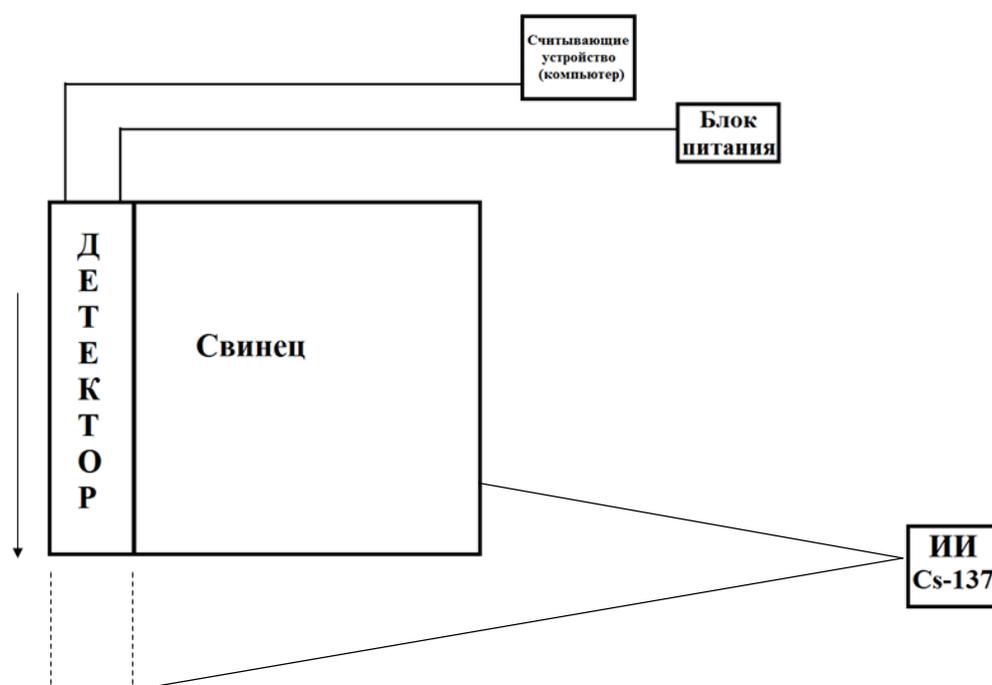


Рисунок 6.2 – Схема проведения эксперимента

Толщина свинца 55 см выбрана так, чтобы порядок степени ослабления импульса совпадал, с порядком импульса проходящего через 8 метров воды.

$$J_{Рь} = J_0 \exp(-1,18\text{см}^{-1} * 55\text{см}), \quad (6.1)$$

$$\frac{J_0}{J_{Рь}} = 10^{28}, \quad (6.2)$$

$$J_{\text{вода}} = J_0 \exp(-0,0857\text{см}^{-1} * 800\text{см}), \quad (6.3)$$

$$\frac{J_0}{J_{Рь}} = 37 * 10^{28}. \quad (6.4)$$

где  $J_0$  – изначальный импульс источника,  $J_{Pb}$  и  $J_{вода}$  – импульс после прохождения через вещество.

Детектор выдвигался из-за свинца с шагом 5 см, Стандартные ошибки вычислялись от 7÷8 измерений по 3 секунды на каждую точку.

На каждом шаге производилось снятие значения тока от расстояния. По достижению выдвижения на всю длину уровнемера, которая составляет 1 метр, с тем же шагом 5 см, уровнемер двигали назад. Данным образом имитировалось изменение уровня. Затем данные для одинаковых значение расстояния усреднялись, вычислялась абсолютная погрешность и при помощи программы Excel 2013 представлялись в графическом виде (рисунок 6.3)

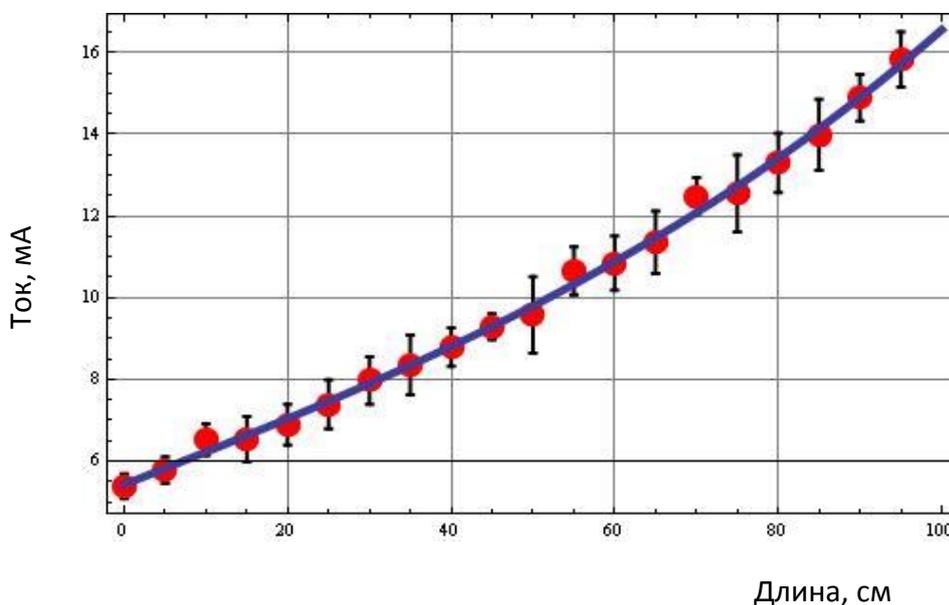


Рисунок 6.3 – зависимость показаний тока от длины облучаемого сцинтиллятора.

Второй эксперимент производился в закрытом помещении при комнатной температуре. В образце проводилось испытание каскада детектора собранных в одну систему, которые располагались за защитой из свинца, толщиной 55 см, радиоизотопный источник Cs-137 располагался на расстоянии 4 метров, чтобы равномерно покрывать область по движению уровнемера (рисунок 6.4)

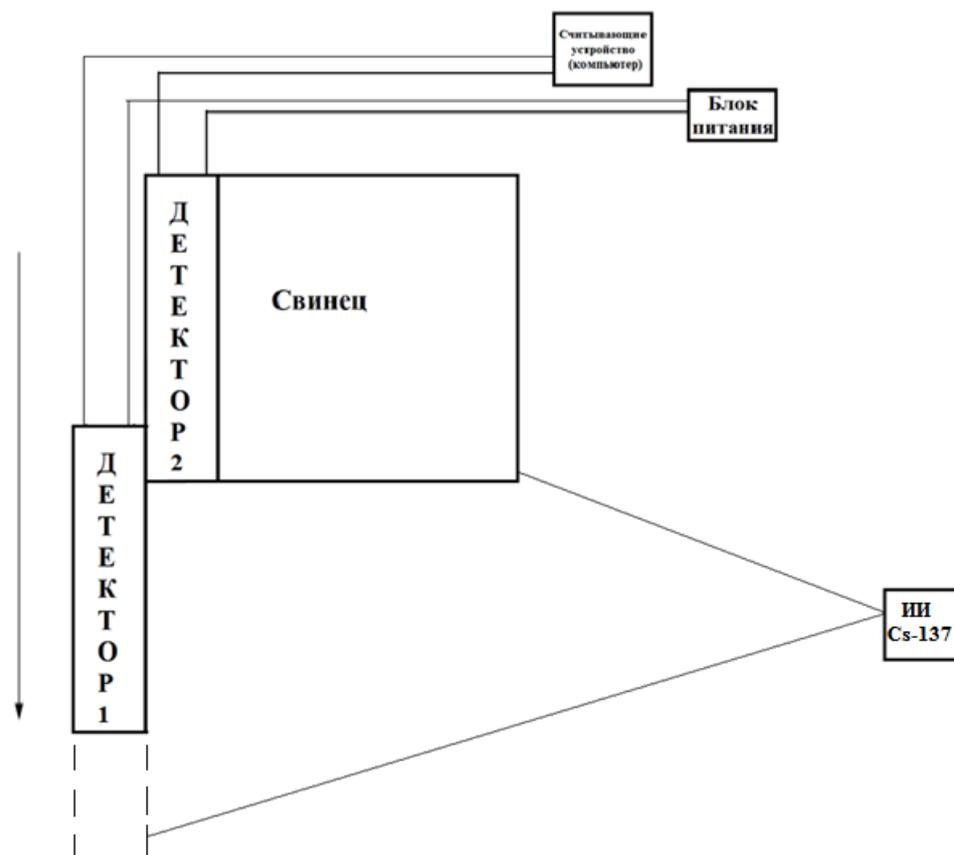


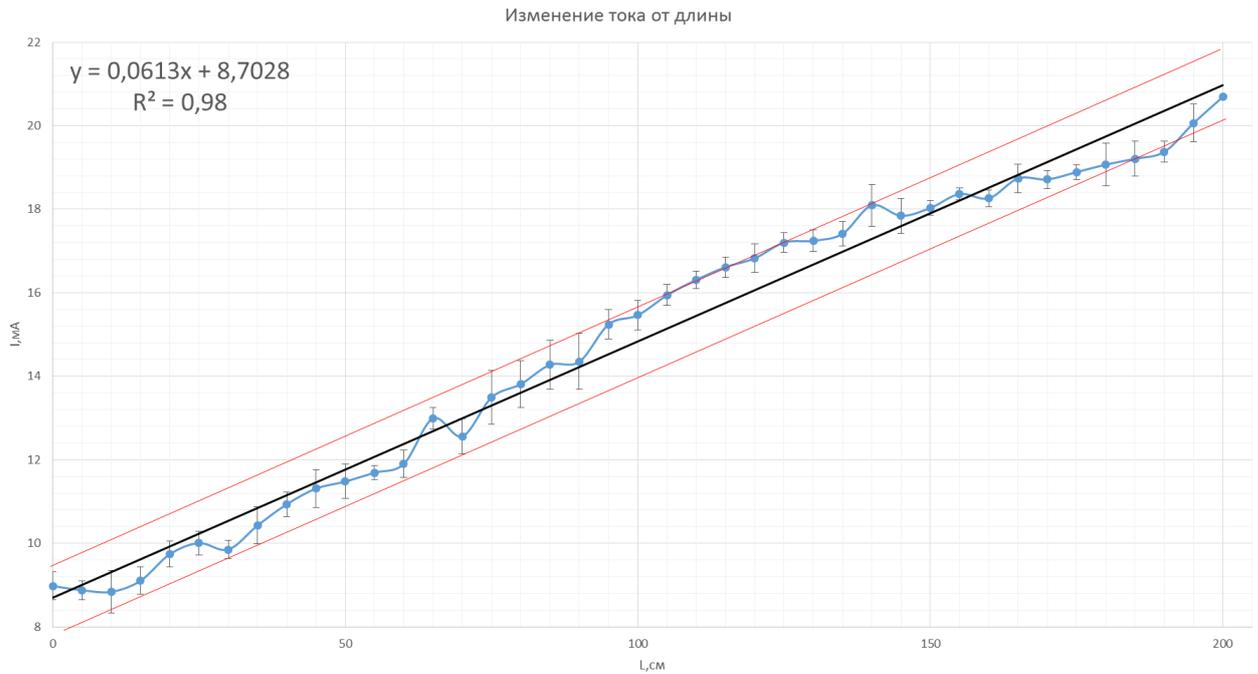
Рисунок 6.4 – Схема проведения эксперимента каскада детектора.

Оборудование, использованное для испытания:

- Каскад из 2 детекторов, каждый длиной 1 метр
- Источник гамма излучения Cs-137 типа ИГИЦ-3-8 с паспортной активностью  $4,63 \cdot 10^8$  Бк на 22.08.2011
- Источник питания GW Instek GPC-3060D, на мощность 24 В
- Осциллограф GW Instek GDS-8106
- Компьютер
- Набор соединительных приборов

Детектор выдвигался из-за свинца с шагом 5 см, Стандартные ошибки вычислялись от  $7 \div 8$  измерений по 3 секунды на каждую точку.

На каждом шаге производилось снятие значения тока от расстояния. По достижению того как уровнемер выдвигался на всю свою дину 2 метра, его с тем же шагом двигали назад. Данным образом имитировалось изменение уровня. Затем данные для одинаковых значение расстояния усреднялись, вычислялась абсолютная погрешность и при помощи программы Excel 2013 представлялись в графическом виде (рисунок 6.5)



**Рисунок 6.5 – Зависимость показаний тока от длины облучаемого сцинтиллятора.**

Из графика видно, что погрешность измерений не выходит за пределы 2,5%, что удовлетворяет проведенным экспериментам, разрешенная погрешность 5%.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Цели и задачи, поставленные в работе, выполнены полностью. Разработан образец радиоизотопного гамма-уровнемера, работающего на низковольтной схеме питания. Проведены испытания по проверки работы и настройки уровнемера с каскадом из 2 детекторов. Выбран оптимальный изотоп для уровнемера. Кроме основных поставленных задач, проведен аналитический обзор и изучена работа радиоизотопных уровнемеров.

Основной задача была выполнена. Была разработан радиоизотопный гамма-уровнемер на низковольтной схеме питания, для контроля уровня и сигнализации границы раздела фаз жидких и сыпучих материалов на предприятиях нефтехимической промышленности, установках замедленного коксования (УЗК), для автоматического управления технологическим процессом. Уровнемер является каскадом из двух детекторов по одному метру каждый.

Проведены испытания экспериментального образца с каскадом детекторов, по полученным данным построен график зависимости показаний тока от длины облучаемого сцинтиллятора и определена погрешность, 2,5 %, которая удовлетворяет проведенным экспериментам.

Проведено обоснования использования радиоизотопного источника Cs-137, исходя из выбора максимальной активности изотопов 4-ой категории и то что данная категория не представляет опасности для человека.

Разработанный образец является заменой существующих устройств мониторинга уровня и раздела фаз в режиме реального времени, типа системы Nitus и уровнемеров/плотномеров LevelPRO/DensityPRO производства Thermo Fisher Scientific Inc. (США), Gammapiot M FMG60 производства Endress-Hauser (Швейцария), которые используют высоковольтную схему питания.