



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра метеорологических прогнозов
ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему: «Валидация автоматического актинометрического комплекса»

Исполнитель: Григорьева Галина Александровна

Руководитель: Доцент, кандидат физ.-мат. наук

(ученая степень, ученое звание)

Самойлова Татьяна Евгеньевна

(Фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат физико-математических наук

(ученая степень, ученое звание)

Воскобойникова Карина Леонардовна

(фамилия, имя, отчество)

«29» июня 2025 г.
Санкт-Петербург
2025

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АКТИНОМЕТРИИ И ВАЛИДАЦИИ	
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	6
1.1 Солнечная радиация.....	6
1.1.1 Прямая солнечная радиация.....	6
1.1.2 Рассеянная солнечная радиация	7
1.1.3 Суммарная радиация.....	7
1.1.4 Отраженная радиация	8
1.2. Длинноволновая радиация атмосферы	8
1.3 Тепловое излучение земли	8
1.4 Принципы измерения солнечной радиации	9
1.5 Приборы для измерения излучения	9
1.5.1 Компенсационный пиргелиометр Онгстрема	9
1.5.2 Водоструйный пиргелиометр	11
1.5.3 Актинометр Михельсона.....	11
1.5.4 Пиранометр Янишевского.....	11
1.5.5 Балансомер Янишевского.....	12
1.6 Физические основы измерений.....	13
1.7 Процедура валидации	13
1.8 Методы валидации актинометрических систем	15
1.9 Международные стандарты WMO и ISO	15
1.8 Влияние метеорологических условий на точность актинометрических измерений.....	16
1.8.1 Облачность.....	16
1.8.1 Влияние влажности воздуха.....	17
1.8.3 Влияние запыленности атмосферы	17
2. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ.....	18
2.1 Автоматический актинометрический комплекс	18
2.1.1 Двухосевая станция слежения за Солнцем 2АР	18
2.1.2 Пиргелиометр СНР-1	19
2.1.3 Пиранометр СМР-6	20
2.1.4 Пиргеометр CGR-4.....	23
2.1.5 Контроллер.....	26

2.2 Арбитражное оборудование.....	27
3. РЕЗУЛЬТАТЫ ВАЛИДАЦИИ И ИХ АНАЛИЗ	29
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	40
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	42

ВВЕДЕНИЕ

Солнечная радиация — это поток энергии, излучаемый Солнцем, включающий в себя широкий спектр электромагнитных волн от инфракрасных (ИК) до ультрафиолетовых (УФ). Этот поток является основным источником энергии для большинства процессов, происходящих на Земле, и играет ключевую роль в поддержании жизни на нашей планете.

Солнечное излучение оказывает влияние на климатическую систему Земли, определяя температуру, погодные условия и обеспечивая свет, необходимый для фотосинтеза в растениях. Кроме того, оно влияет на производство витамина D в человеческом организме и имеет значение для разработки технологий получения возобновляемой энергии, таких как солнечные батареи.

Важность солнечной радиации для Земли трудно переоценить. Она не только поддерживает существующие формы жизни, но и определяет возможности и направления развития цивилизации в будущем. Изучение солнечной радиации позволяет лучше понять процессы, происходящие в атмосфере, и предсказывать изменения климата, что имеет огромное значение для адаптации к глобальным изменениям окружающей среды.

Современные агрометеорологические наблюдения требуют высокой точности измерений солнечной радиации, поскольку она является ключевым фактором, влияющим на фотосинтез, испарение влаги и тепловой баланс почвы. Автоматические актинометрические комплексы (ААК) широко применяются для непрерывного мониторинга радиационного режима, однако их показания нуждаются в периодической валидации (проверке достоверности) с использованием арбитражного оборудования. Это особенно важно в условиях Дальнего Востока, где климатические особенности (муссонный режим, высокая влажность, частые туманы) могут влиять на работу датчиков.

Агрометеорологическая станция Хабаровска использует автоматизированный комплекс для измерения суммарной, рассеянной и отраженной солнечной радиации, а также радиационного баланса. Однако отсутствие регулярных метрологических поверок может привести к накоплению систематических погрешностей, что снижает достоверность данных. В связи с этим возникает необходимость в проведении валидации ААК с помощью эталонного оборудования, такого как пиранометры и пиргелиометры класса эталонной точности.

Современные актинометрические системы, используемые для измерения солнечной радиации, играют ключевую роль в метеорологии, климатологии, сельском хозяйстве и энергетике. Однако их показания могут содержать погрешности, связанные с условиями эксплуатации, старением датчиков и влиянием внешних факторов. Для обеспечения достоверности измерений применяются процедуры валидации (экспертной проверки) и метрологической поверки, регламентированные международными стандартами.

Данное исследование направлено на оценку точности работы актинометрического комплекса станции Хабаровск, выявление возможных погрешностей и разработку рекомендаций по корректировке измерений. Результаты работы могут быть использованы Росгидрометом и сельскохозяйственными предприятиями для повышения качества климатических и агрометеорологических данных.

Целями данной работы являются изучение состава автоматического актинометрического комплекса, установленного на агрометеорологической станции А Хабаровск и проведение статистической обработки получаемой с него информации и сравнением его результатов с результатами измерений срочных наблюдений с использованием арбитражного оборудования.

Объект исследования: автоматический актинометрический комплекс агрометеорологической станции Хабаровск.

Предмет исследования: точность измерений солнечной радиации и методы их валидации с использованием арбитражного оборудования.

Таким образом, данная работа направлена на повышение точности актинометрических измерений, что имеет важное значение для климатологии, агрометеорологии и альтернативной энергетики.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АКТИНОМЕТРИИ И ВАЛИДАЦИИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

1.1 Солнечная радиация

Лучистая энергия Солнца, входя в атмосферу земли, испытывает множество сложных преобразований. На пути от границы атмосферы до поверхности земли происходит частичное поглощение и частичное рассеивание лучистой энергии по причине того, что атмосфера содержит большое количество растворенных в атмосфере газов и паров. Вследствие этого на уровне земной поверхности наблюдается помимо прямой солнечной радиации, еще рассеянная и отраженная от поверхности земли

1.1.1 Прямая солнечная радиация

Прямая солнечная радиация — это часть излучения солнца, поступающая к земле в виде почти параллельных лучей от видимого диска солнца. Вследствие поглощения озоном до земной поверхности не доходят волны длиной от 0,2 до 0,29 мк, а водяной пар создает полосы поглощения в инфракрасной части спектра. Вследствие рассеяния все волны, а в особенности более короткие, ослабляются

Интенсивность прямой солнечной радиации измеряется на нормальную (перпендикулярную) к лучу поверхность пиргелиометрами и актинометрами биметаллическими или термоэлектрическими. Непрерывная регистрация прямой солнечной радиации производится актинографом.

Прямую солнечную радиацию на горизонтальной поверхности S' вычисляют по значению S по формуле

$$S' = S \sin h,$$

где h - высота Солнца в момент наблюдения.

1.1.2 Рассеянная солнечная радиация

Рассеянной радиацией называют энергетическую освещённость, создаваемую рассеянным в атмосфере солнечным излучением, поступающим на горизонтальную поверхность от всего небосвода (из телесного угла 180°). При безоблачном небе рассеиваются преимущественно коротковолновые лучи.

В состав рассеянной радиации входит также радиация, отраженная различными предметами, расположенными выше точки наблюдения: деревьями, строениями и горами. Рассеянная радиация заметно увеличивается при наличии снега на почве, так как в ее создании участвует и отраженная от почвы радиация. При светлых тонких облаках рассеянная радиация может увеличиваться в 4—5 раз по сравнению с радиацией безоблачного неба, тогда как плотные сплошные облака уменьшают ее.

Рассеянная радиация измеряется пиранометром, затенённым от прямой радиации. Регистрация рассеянной радиации производится пиранографом. В составе сложных комплексов радиаций рассеянная радиация входит в показания балансомера и пиргеометра днем. При восходе солнца рассеянная радиация мала, а ночью равна нулю. При безоблачном небе рассеянная радиация постепенно возрастает с увеличением высоты солнца и с увеличением мутности атмосферы.

1.1.3 Суммарная радиация

Суммарная радиация солнца и неба — это сумма прямой и рассеянной солнечных радиаций на горизонтальную поверхность сверху

$$Q = S' + D$$

Суммарная радиация может быть непосредственно измерена незатененным пиранометром. она может быть также вычислена по показаниям затенённого пиранометра и актинометра.

Непосредственная регистрация суммарной радиации может быть произведена менее точно, но значительно проще, соляриграфом, или

эффективным пиранометром. Суммарная радиация измеряется пиранометром без его затенения,

1.1.4 Отраженная радиация

Отраженная коротковолновая радиация часть суммарной радиации, которая отразилась деятельным слоем поверхности земли к атмосфере вверх. Интенсивность отраженной коротковолновой радиации оценивается по интенсивности радиации, приходящей снизу на горизонтальную поверхность, расположенную на небольшой высоте от деятельного слоя,

Для измерения отраженной радиации применяется такой же пиранометр, как и для рассеянной и суммарной радиации, но с приемником, опрокинутым вниз. Пиранометры, специально приспособленные для наблюдений как приемником вверх, так и приемником вниз, называются альбедометрами. Спектральный состав отраженной радиации сходен со спектральным составом суммарной радиации лишь в случаях серых поверхностей земли. Он смещен в сторону длинных волн для большинства почв и растительности, а в сторону коротких волн — для снега, воды и меловых обнажений.

1.2. Длинноволновая радиация атмосферы

Длинноволновая радиация атмосферы представляет собой часть длинноволнового (теплого) излучения атмосферы, направленную к земле и поступающую на горизонтальную поверхность на уровне земли. Интенсивность длинноволновой радиации атмосферы может быть вычислена из показания затененного пиргеометра, измеряющего эффективную радиацию, если исключить его собственное излучение.

1.3 Тепловое излучение земли

Тепловое (длинноволновое) излучение земли представляет собой длинноволновую лучистую энергию, испускаемую деятельным слоем земли и направленную вверх, к атмосфере.

Излучение деятельного слоя ЕЗ входит в состав показания пиргеометра, обращенного приемником вниз и измеряющего «уходящую» эффективную радиацию.

1.4 Принципы измерения солнечной радиации

Принцип действия большинства пиранометров, которые используются для измерения суммарной радиации, а при затенении от прямых лучей и диффузной радиации, основан на измерении разности температур черных (поглощающих излучение) и белых (отражающих излучение) поверхностей с помощью термоэлементов. Последние дают сигнал в милливольтках, который можно легко контролировать с помощью целого ряда стандартных самопишущих систем. Характерным примером такого типа приборов является пиранометр Эппли. Другой, хорошо известный тип пиранометра - пиранометр Робича - основан на различном расширении биметаллического элемента, тогда как с помощью дистилляционного пиранометра Беллани, в котором спирт конденсируется в калиброванном конденсаторе, измеряется суммарная солнечная радиация за данный промежуток времени. Значительно более простые измерения, которые проводятся во многих местах, связаны с определением продолжительности солнечного сияния, т. е. времени, когда диск Солнца не закрыт облаками или дымкой. Она измеряется с помощью самопишущего прибора Кэмпбелла-Стокса, в котором используется сферическая линза, фокусирующая солнечное излучение на термочувствительной бумаге. При наличии прямой солнечной радиации на бумаге появляется след в виде прожога.

1.5 Приборы для измерения излучения

1.5.1 Компенсационный пиргелиометр Онгстрема

Компенсационный пиргелиометр Онгстрема, изображенный на рисунке 1.1 в числе тех приборов, которые используют для абсолютных измерений прямой солнечной радиации.

Приемная часть пиргелиометра представлена двумя одинаковыми зачерненными полосками из манганина. К нижним сторонам полосок поверх

изолирующей прослойки прилеплены спаи термоэлемента, соединённого с чувствительным гальванометром (или мультиметром). В верхней части трубки пиргелиометра, закрытой крышкой находится два щелевидных приемных отверстия одно из которых закрывается поворотным щитком.

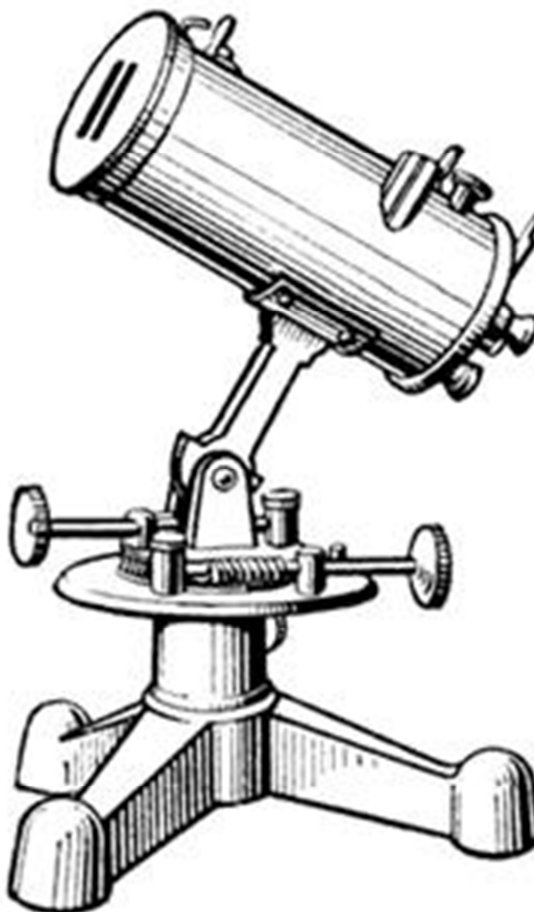


Рисунок 1.1 – Компенсационный пиргелиометр Онгстрема

Принцип действия

При освещении одной из пластинок и затенении другой в цепи термоэлемента возникает термоэлектрический ток, обусловленный разностью температур пластинок. Нагревая вторую пластинку посредством электрического тока до тех пор, пока гальванометр не перестанет регистрировать ток. Очевидно, что количество теплоты нагретой электрическим током пластинки будет равно теплоте полученной второй пластинкой в результате облучения солнечной радиацией. Получим:

$$Q_1 = S \delta t b / 60$$

$$Q_2 = 0.24 i^2 r \text{ (по закону Ленца)}$$

Приравняв оба выражения, получим формулу для расчета солнечной радиации полученной второй пластинкой:

$$S = 14.4 * r * i^2 / \delta l b = K i^2$$

где K – постоянная пиргелиометра

1.5.2 Водоструйный пиргелиометр

В основе данного прибора лежит принцип измерения температуры воды, омывающей приемную часть пиргелиометра, нагревающуюся в результате поглощения солнечной радиации. Во второй, затененной камере нагревают аналогичный поток воды с помощью электрического тока до той же температуры.

1.5.3 Актинометр Михельсона

В основе актинометра Михельсона лежит биметаллическая, зачерненная сажей, пластина, которая нагревается в следствии поглощения солнечной радиации и изгибается. Изгиб фиксируется с помощью присоединенного микроскопа. И по смещению изгиба пластинке судят о потоке солнечной радиации.

1.5.4 Пиранометр Янишевского

Пиранометр Янишевского (рисунок 1.2.) представляет собой поверхность, чередующихся манганин-константановых горячих и холодных спаев термоэлементов соединенных последовательно. Горячие спаи выкрашены в черный цвет, холодные в белый. При попадании на поверхность прямой и рассеянной солнечной радиации, между спаями возникает термоэлектрический ток, который фиксирует гальванометр. Если пиранометр затенить, то на поверхность будет попадать только рассеянная радиация. По разности тока между незатененным и затененным пиранометром рассчитывается прямая солнечная радиация. Для защиты от влияния ветра поверхность со спаями накрывается прозрачным колпаком.



Рисунок 1.2 – Пиранометр Янишевского

1.5.5 Балансомер Янишевского.

Он представляет из себя две пластинки из тонкой медной фольги, расположенных горизонтально. Их наружные поверхности зачернены специальным лаком с поглощающей способностью, приближенной к таковой у абсолютно чёрного тела. Пластины получают солнечную радиацию, нижняя их часть принимает радиацию, отражённую поверхностью, на которой прибор установлен. Прикреплённые к прибору термоэлектрические батареи рассчитывают температурную разницу между сторонами пластинок. Они выглядят как медные бруски, обвитые тонкой металлической полоской, как правило из константана. У каждого витка посеребрена половина. Бруски соединены последовательно, каждый имеет 50 витков, в результате получается порядка 500 термоспаев.

Чётные спаи принимают тепловое воздействие со стороны одной пластины, нечётные — другой, в результате чего образуется разность температур. Это значение пропорционально потокам приходящей и уходящей радиации. На этом и основывается принцип работы балансомера.

Стоит отметить, что работа прибора напрямую зависит от скорости ветра, поскольку его пластины ничем не закрываются. Для этого рядом с балансомером всегда монтируется шест высотой 2,3 метра с анемометром. По его показаниям рассчитываются дополнительные поправки в результат.



Рисунок 1.3 – Балансомер Янишевского

1.6 Физические основы измерений.

Принцип работы практически всех актинометрических приборов основан на измерении температуры теплочувствительных элементов под воздействием радиации.

1.7 Процедура валидации

Цель процесса валидации — обеспечить объективные доказательства того, что система при применении выполняет требования заинтересованных сторон, достигая ее намеченного использования в заданной эксплуатационной среде. Главная задача валидации состоит в том, чтобы приобрести уверенность в возможностях системы по достижению намеченного назначения или использования в определенных условиях ее эксплуатации. Процесс валидации гарантирует, что «построен правильный продукт».

В результате успешной реализации процесса валидации (аттестации):

- а) определяются критерии валидации для требований заинтересованных сторон;
 - б) подтверждается пригодность услуг от системы (результатов функционирования), востребованных заинтересованными сторонами;
 - в) определяются ограничения валидации, которые влияют на требования, архитектуру или проект;
 - г) непосредственно осуществляется валидация системы или системного элемента;
 - д) становятся доступными любые обеспечивающие системы или услуги, необходимые для валидации;
 - е) регистрируются результаты валидации и отклонения;
- представляются объективные доказательства того, что реализованная система удовлетворяет потребностям и требованиям заинтересованных сторон;
- ж) устанавливается прослеживаемость системных элементов, прошедших валидацию.

Выполнять валидацию или участвовать в ее выполнении могут поставщик, приобретающая сторона или агент приобретающей стороны.

Метод или методики валидации предусматривают: инспекцию (включая независимое рассмотрение), анализ (включая моделирование, имитацию, аналогию/подобие), демонстрацию или тестирование. Выбор методов или методик валидации делается согласно типу системы, целям проекта и допустимым рискам.

Выбираются соответствующие методики валидации, определяются цели, условия и критерии соответствия для каждого шага валидации

Валидация осуществляется в приемлемое время по графику выполнения работ в определенной окружающей среде (настолько близко к эксплуатационной среде или ее представлению, насколько это возможно) с определенными обеспечивающими системами и ресурсами. Выполнение

валидации состоит из охвата результатов выполнения процедур валидации, сравнения полученных результатов с ожидаемыми результатами и выводов о степени соответствия представленного элемента; решения о приемлемости степени соответствия.

1.8 Методы валидации актинометрических систем

Помимо периодической поверки, актинометры проходят валидацию – комплексную проверку достоверности данных. Она включает:

1. Лабораторные тесты – проверка чувствительности, линейности отклика и температурной стабильности.
2. Полевые испытания – сравнение с арбитражными приборами в реальных условиях (например, на тестовых полигонах WMO).
3. Статистический анализ – оценка случайных и систематических погрешностей с использованием методов регрессии и корреляции.

Особое внимание уделяется влиянию метеоусловий: например, при высокой влажности или запыленности вводятся поправочные коэффициенты, основанные на моделях переноса излучения.

1.9 Международные стандарты WMO и ISO

Всемирная метеорологическая организация (WMO) и Международная организация по стандартизации (ISO) разработали строгие требования к актинометрическим измерениям. В частности, Руководство WMO №8 определяет методики поверки и эксплуатации приборов, а стандарты ISO 9060 и ISO 9847 устанавливают классификацию пиранометров и методы их калибровки.

Согласно этим документам, актинометрические приборы делятся на три класса точности:

- Вторичный стандарт – наивысшая точность ($\pm 1-2\%$), используется для поверки других приборов.
- Первый класс – допустимая погрешность до $\pm 5\%$, применяется в научных исследованиях.

- Второй класс – точность $\pm 10\%$, подходит для оперативного мониторинга.

Калибровка приборов должна проводиться в условиях, максимально приближенных к реальным, с использованием арбитражного оборудования – эталонных пиранометров и пиргелиометров, прошедших сертификацию в специализированных центрах (например, в PMOD/WRC в Швейцарии).

1.8 Влияние метеорологических условий на точность актинометрических измерений

Точность измерений солнечной радиации с помощью автоматических актинометрических комплексов (ААК) зависит от множества факторов, среди которых ключевую роль играют метеорологические условия. Облачность, влажность воздуха и запыленность атмосферы могут вносить значительные погрешности в данные, искажая реальные значения приходящей радиации.

1.8.1 Облачность

Облачность является одним из наиболее существенных факторов, изменяющих поток солнечной радиации. В зависимости от типа, высоты и плотности облаков, их влияние может варьироваться от незначительного. Высокие облака (перистые) – пропускают значительную часть прямой радиации, но рассеивают коротковолновое излучение, увеличивая долю рассеянной составляющей. Средние облака (высококучевые) – могут снижать прямую радиацию на 30–50%, при этом рассеянная радиация возрастает. Плотные низкие облака (слоисто-дождевые) – почти полностью блокируют прямое солнечное излучение, оставляя только рассеянную составляющую.

Возможные погрешности измерений, связанные с влиянием облачности:

- Занижение суммарной радиации – при переменной облачности ААК может не успевать реагировать на быстрые изменения освещенности.

- Искажение соотношения прямой и рассеянной радиации – некоторые актинометры калибруются для ясного неба, что приводит к ошибкам при облачности.

1.8.1 Влияние влажности воздуха

Водяной пар в атмосфере поглощает и рассеивает солнечное излучение, особенно в инфракрасном диапазоне. В условиях высокой влажности (характерных для муссонного климата Хабаровска) это может приводить к систематическим погрешностям измерений.

Поглощение в ИК-диапазоне – водяной пар снижает интенсивность длинноволновой радиации, что влияет на измерения пиргелиометров.

Конденсация на датчиках – при высокой влажности возможно образование росы или инея на поверхности актинометров, что искажает показания.

Погрешности измерений

Занижение прямой радиации – из-за поглощения в полосах водяного пара (например, в диапазоне 940 нм).

Дрейф нуля в пасмурную погоду – при длительной высокой влажности некоторые датчики требуют дополнительной калибровки.

1.8.3 Влияние запыленности атмосферы

Аэрозольные частицы (пыль, дым, промышленные выбросы) рассеивают и поглощают солнечное излучение, что особенно заметно в городах и в периоды природных пожаров.

Механизмы воздействия

Рассеяние M_i (крупные частицы) – приводит к увеличению рассеянной радиации.

Поглощение (сажа, углеродные аэрозоли) – снижает общий поток радиации.

Погрешности измерений

Завышение рассеянной радиации – из-за сильного рассеяния на частицах.

Занижение прямой радиации – особенно в условиях смога или песчаных бурь.

2. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ

2.1 Автоматический актинометрический комплекс

Рассмотрим современный актинометрический комплекс компании Kipp&Zonen, установленный на агрометеорологической станции А Хабаровск.

В состав ААК, обеспечивающего наблюдения по программе непрерывной регистрации составляющих радиационного баланса, входят:

1. контроллер (фирма Vaisala),
2. пиргелиометр СНР-1,
3. три пиранометра СНР-6,
4. два пиргеометра CGR-4,
5. двухосевая станция слежения за Солнцем 2АР,
6. стойка для датчиков отраженного излучения,
7. поверочная труба (контроль пиранометра),
8. специализированное ПО.

2.1.1 Двухосевая станция слежения за Солнцем 2АР

Следящая система 2АР, изображенная на рисунке 2.1 обеспечивает автоматическое наведение пиргелиометра на солнце и автоматическое непрерывное затенение (угол затенения равен 5°) пиранометра и пиргеометра от прямых солнечных лучей для точного измерения приходящей длинноволновой и рассеянной радиации.

Приемник GPS, встроенный в систему, учитывает данные о местоположении и местном времени, направляя пиргелиометр и затеняющее устройство точно на Солнце. Система слежения связана с контроллером посредством трех проводов разъема RS232C.



Рисунок 2.1 – Двухосевая станция слежения за Солнцем с установленными на ней, пиргелиометром СНР-1, двумя пиранометрами СМР-6, пиргеометром CGR-4 и двумя затеняющими кольцами СМ 121

Также на стойку станции слежения установлены пиргелиометр, (измерение прямой солнечной радиации), пиргеометр и два пиранометра (измерение суммарной и рассеянной радиации).

2.1.2 Пиргелиометр СНР-1

Является абсолютным прибором (сравнение двух значений одной физической величины). Предназначен для измерения прямой солнечной радиации в диапазоне волн от 0,2 мкм до 4 мкм. Однако работает он так же за счет термоэлектрического эффекта (Эффект Зеебека). Коллимационная труба пиргелиометра (рисунок 2.2) и конструкция датчика благодаря специальной форме обеспечивают пиргелиометру угол зрения 5° . Так же есть кварцевое окно и козырек, защищающие датчик от внешних воздействий.



Рисунок 2.2 – Пиргелиометр SHP-1 и датчиком системы солнечной ориентации

2.1.3 Пиранометр SMP-6

Пиранометр представляет собой специальный тип измерительного прибора.

Является высококачественным радиометром, предназначенный для измерения энергетической освещенности коротковолнового излучения на плоской поверхности, возникающей вследствие сложения падающего прямого солнечного излучения и рассеянного излучения из полусферы над ним (рис. 2.3).



Рисунок 2.3 – Пиранометр CMP-6.

Пиранометр включает в себя:

- чувствительный элемент,
- два колпака,
- солнцезащитный экран,

-сушильная кассета, расположенная в корпусе пиранометра (за счет силикагеля, которым она наполнена, предотвращает появление конденсата на внутренних стенках колпаков) (рис. 2.4)

Используется для измерения энергетической освещенности в коротковолновом диапазоне от 0,31 мкм и до 2,8 мкм.

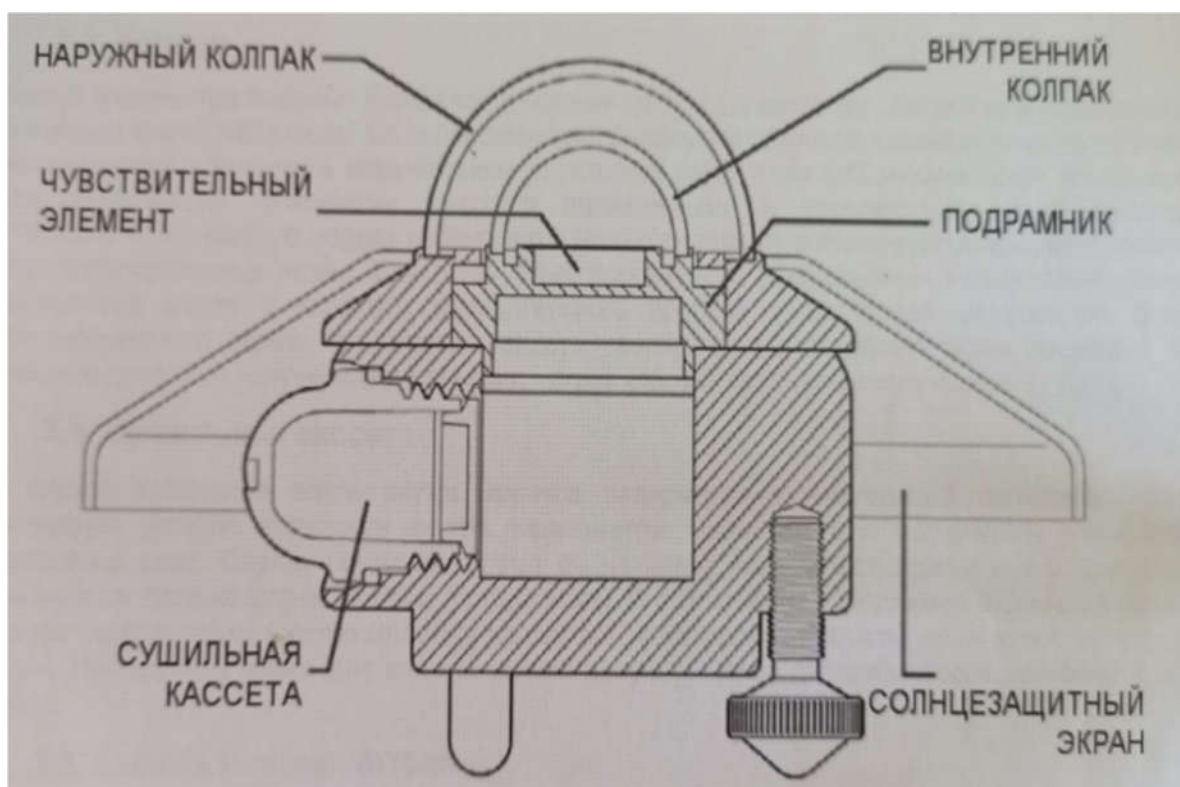


Рисунок 2.4 - Схема устройства пиранометра СМР-6

И хотя в основе измерения лежит термоэлектрический эффект, приемная пластина пиранометра СМР-6 состоит только из черной плоскости. Термобатарея преобразует в электрический ток разницу температур между приемной пластиной (черный цвет) и корпусом прибора (белый цвет).

Для измерения радиации неба прямое солнечное излучение перехватывается универсальным затеняющим кольцом модели СМ 121. Тень затеняющего кольца полностью закрывает колпаки пиранометра. Однако для этого необходимо следовать за положением солнца, поэтому пиранометр для измерения радиации неба устанавливают на станцию слежения за солнцем, как показано на рисунке 2.1.



Рисунок 2.5 – Перевернутый пиранометр

В перевернутом положении пиранометр (рис. 2.5) измеряет отраженное коротковолновое излучение. Высота над ровной поверхностью составляет от 1 до 2 метров.

2.1.4 Пиргеометр CGR-4

Пиргеометр CGR-4 состоит из:

- кремниевого окна,
- датчика температуры,
- термобатареи
- сушильной кассеты;
- солнцезащитного экрана.

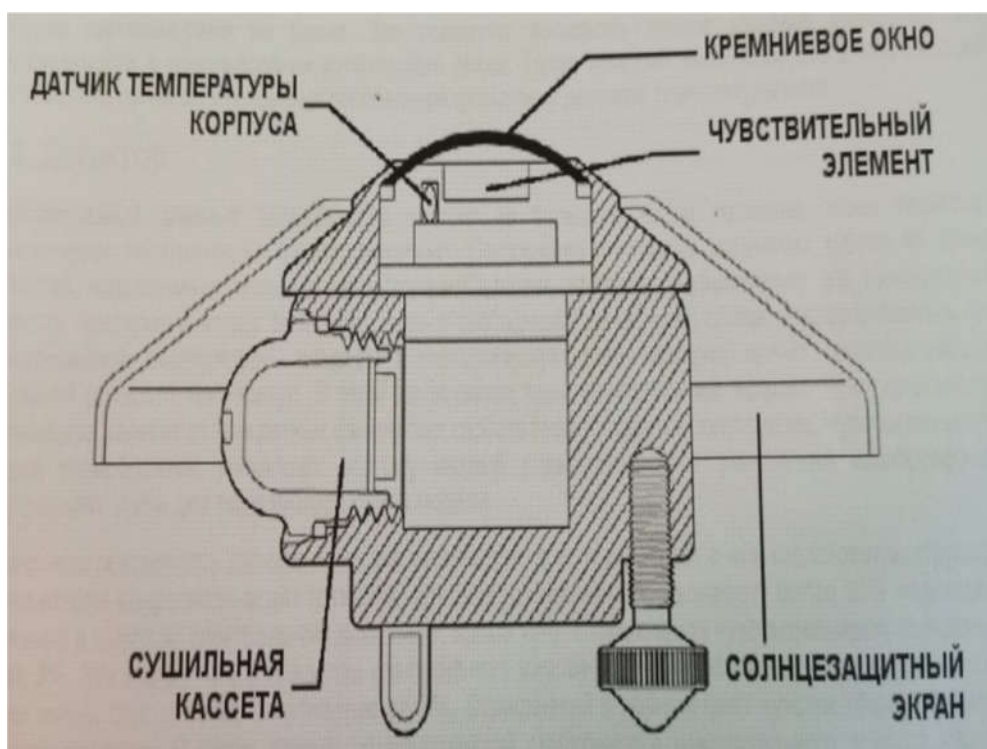


Рисунок 2.6 – Схема пиргеометра

В основе детектора пиргеометра лежит пассивный термочувствительный элемент, называемый термобатареей. Термобатарея реагирует на полную энергию, поглощенную черным поверхностным слоем, который представляет собой спектрально-неселективную краску и нагревается. Вырабатываемое тепло через тепловое сопротивление поступает на радиатор (корпус пиргеометра). Разность температур на тепловом сопротивлении детектора преобразуется как линейная функция от энергетической освещенности поглощенного солнечного излучения.

На повышение температуры сильно влияет ветер, дождь. Поэтому детектор CGR-4 защищен кремниевым колпаком в форме мениска. Сушильная кассета, заполненная силикагелем, предотвращает появление капель росы на внутренних сторонах кремневого колпака, который могут сильно охлаждаться во время ясных безветренных ночей.

На внутренней поверхности кремневого колпака находится интерференционный фильтр, предназначенный для пропускания длинноволнового излучения и препятствующий попаданию на детектор

коротковолнового солнечного излучения. Материал кремниевого колпака и нанесенный на него нечувствительный к солнцу фильтр определяют спектральный диапазон измерения пиргеометра.

Чувствительный элемент термобатареи состоит из большого числа попарных спаев термопар, электрически подключенных последовательно. Поглощение излучением одним из спаев, называемым активным или горячим спаем приводит к увеличению его температуры. Разность температур между активным спаем и свободным «холодным» спаем, поддерживаемым при фиксированной температуре, создает электродвижущую силу, которая прямо пропорциональна созданной разности температур. В этом заключается термоэлектрический эффект. Чувствительность каждой термобатареи уникальна поэтому каждый радиометр имеет калибровочный коэффициент, даже для радиометров одной модели.

На верхнюю поверхность датчика нанесена черная краска, имеющая очень шероховатую структуру множеством микроскопических полостей, которые улавливают до 95% падающего излучения в широком спектральном диапазоне. Спектральная чувствительность составляет меньше 3%.

Датчик температуры корпуса необходим для расчета составляющей падающего длинноволнового излучения. Он показывает абсолютную температуру поверхности детектора и устанавливается рядом с холодным спаем.

Для измерения атмосферного длинноволнового излучения прямое солнечное длинноволновое излучение перехватывается универсальным затеняющим кольцом модели СМ 121. Тень затеняющего кольца полностью закрывает колпаки пиргеометра. Однако для этого необходимо следовать за положением солнца, поэтому пиргеометр для измерения длинноволнового излучения неба устанавливают на станцию слежения за солнцем, как показано на рисунке 2.1.

В перевернутом положении пиргеометр (рис.2.7) измеряет тепловое излучение Земли. Высота над ровной поверхностью составляет от 1 до 2 метров.



Рисунок 2.7 – Перевернутый пиргеометр CGR-4

2.1.5 Контроллер

Сердцем любой автоматической станции является контроллер (рисунок 2.8). Он представляет собой единый блок, который обеспечивает электрическое подключение и сопряжение датчиков. Так же контролирует выполнение задач сбора и хранения данных наблюдений, управления и мониторинга оборудования на ААК. Показания датчиков поступают в мкВ, затем в контроллере преобразуются в Вт/м². Передача информации происходит по каналам связи в виде телеграмм по электронной почте.



Рисунок 2.8 – контрольный блок

В архиве хранятся такие данные за месяц как:

- среднечасовые актинометрические данные по истинному солнечному времени;
- суммарная солнечная радиация;
- прямая солнечная радиация;
- рассеянная солнечная радиация;
- отраженная солнечная радиация;
- длинноволновая уходящая и приходящая радиация;
- УФ-радиация в зонах А и В;
- метеорологические данные.

2.2 Арбитражное оборудование

Арбитражные приборы служат основой для поверки рабочих актинометров. Их главная особенность – высочайшая точность, достигаемая за счет:

- Использования термостабилизированных датчиков, минимизирующих температурный дрейф.

- Применения многоступенчатой калибровки в условиях естественного и искусственного солнечного излучения.
- Автоматического учета влияния окружающей среды (температуры, влажности, ветра).

Процедура поверки включает сравнительные измерения: рабочий прибор и эталонный устанавливаются рядом, и их показания регистрируются в идентичных условиях. Различия в данных позволяют выявить систематические погрешности и разработать корректирующие коэффициенты.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

В результате наблюдений за май-август 2024 были получен блок данных для срочного и автоматического метода измерений. Результаты представлены в таблицах в приложениях. Для дальнейшего исследования возьмем измерения за август 2024 в 5 сроках (6-30, 9-30, 12-30 (контрольный срок), 15-30, 18-30) в течении месяца. Данные за август 2024 представлены в таблицах 3.1-3.5.

Таблица 3.1 – Результаты измерений автоматическим актинометрическим комплексом и ручными измерениями на арбитражном оборудовании за август 2024 за 6 срок (время измерения 6-30)

Дата измерения	Прямая радиация, кВт/м2			Рассеянная радиация, кВт/м2			Отраженная радиация, кВт/м2			Суммарная радиация, кВт/м2		
	ручной	ААК	разность	ручной	ААК	разность	ручной	ААК	разность	ручной	ААК	разность
1.08	-	-	-	0,04	0,04	0,00	0,01	0,01	0,00	0,04	0,04	0,00
2.08	-	-	-	0,18	0,18	0,00	0,05	0,05	0,00	0,18	0,18	0,00
3.08	-	-	-	0,10	0,10	0,00	0,02	0,02	0,00	0,10	0,10	0,00
4.08	0,24	0,24	0,00	0,09	0,09	0,00	0,08	0,08	0,00	0,33	0,33	0,00
5.08	-	-	-	0,11	0,11	0,00	0,02	0,02	0,00	0,11	0,11	0,00
6.08	-	-	-	0,03	0,03	0,00	0,01	0,01	0,00	0,03	0,03	0,00
7.08	-	-	-	0,08	0,08	0,00	0,02	0,02	0,00	0,08	0,08	0,00
8.08	-	-	-	0,11	0,11	0,00	0,03	0,03	0,00	0,11	0,11	0,00
9.08	0,16	0,16	0,00	0,07	0,07	0,00	0,06	0,06	0,00	0,23	0,23	0,00
10.08	-	-	-	0,10	0,10	0,00	0,02	0,02	0,00	0,10	0,10	0,00
11.08	-	-	-	0,12	0,12	0,00	0,03	0,03	0,00	0,12	0,12	0,00
12.08	-	-	-	0,12	0,12	0,00	0,02	0,02	0,00	0,12	0,12	0,00
13.08	-	-	-	0,04	0,04	0,00	0,01	0,01	0,00	0,04	0,04	0,00
14.08	-	-	-	0,12	0,12	0,00	0,02	0,02	0,00	0,12	0,12	0,00
15.08	0,06	0,06	0,00	0,10	0,10	0,00	0,04	0,04	0,00	0,17	0,17	0,00
16.08	0,13	0,13	0,00	0,13	0,13	0,00	0,06	0,06	0,00	0,27	0,27	0,00
17.08	0,11	0,11	0,00	0,08	0,08	0,00	0,05	0,05	0,00	0,19	0,19	0,00
18.08	-	-	-	0,13	0,13	0,00	0,01	0,01	0,00	0,03	0,03	0,00
19.08	0,02	0,02	0,00	0,07	0,07	0,00	0,02	0,02	0,00	0,09	0,09	0,00
20.08	0,14	0,14	0,00	0,05	0,05	0,00	0,05	0,05	0,00	0,19	0,19	0,00
21.08	0,15	0,15	0,00	0,41	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,56	0,56	0,00
22.08	-	-	-	0,05	0,05	0,00	0,01	0,01	0,00	0,05	0,05	0,00
23.08	-	-	-	0,03	0,03	0,00	0,01	0,01	0,00	0,03	0,03	0,00
24.08	-	-	-	0,04	0,04	0,00	0,01	0,01	0,00	0,04	0,04	0,00
25.08	0,03	0,03	0,00	0,10	0,10	0,00	0,03	0,03	0,00	0,13	0,13	0,00
26.08	-	-	-	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
27.08	-	-	-	0,07	0,07	0,00	0,02	0,02	0,00	0,07	0,07	0,00
28.08	0,12	0,12	0,00	0,06	0,06	0,00	0,05	0,05	0,00	0,18	0,18	0,00
29.08	0,11	0,11	0,00	0,05	0,05	0,00	0,04	0,04	0,00	0,16	0,16	0,00
30.08	0,04	0,04	0,00	0,11	0,11	0,00	0,04	0,04	0,00	0,16	0,16	0,00
31.08	-	-	-	0,04	0,04	0,00	0,01	0,01	0,00	0,04	0,04	0,00

Таблица 3.2 – Результаты измерений автоматическим актинометрическим комплексом и ручными измерениями на арбитражном оборудовании за август 2024 за 9 срок (время измерения 9-30)

Дата измерения	Прямая радиация, кВт/м2			Рассеянная радиация, кВт/м2			Отраженная радиация, кВт/м2			Суммарная радиация, кВт/м2		
	ручной	ААК	разность	ручной	ААК	разность	ручной	ААК	разность	ручной	ААК	разность
1.08	-	-	0,00	0,06	0,06	0,00	0,01	0,01	0,00	0,06	0,06	0,00
2.08	0,67	0,67	0,00	0,47	0,47	0,00	0,20	0,20	0,00	1,14	1,15	0,01
3.08	-	-	0,00	0,19	0,19	0,00	0,04	0,04	0,00	0,19	0,19	0,00
4.08	0,85	0,86	0,01	0,11	0,11	0,00	0,22	0,22	0,00	0,96	0,95	0,01
5.08	-	-	0,00	0,20	0,20	0,00	0,04	0,04	0,00	0,20	0,20	0,00
6.08	-	-	0,00	0,13	0,13	0,00	0,03	0,03	0,00	0,13	0,13	0,00
7.08	0,08	0,08	0,00	0,36	0,36	0,00	0,10	0,10	0,00	0,45	0,45	0,00
8.08	0,05	0,05	0,00	0,34	0,34	0,00	0,07	0,07	0,00	0,39	0,39	0,00
9.08	-	-	0,00	0,04	0,04	0,00	0,01	0,01	0,00	0,04	0,04	0,00
10.08	-	-	0,00	0,22	0,22	0,00	0,05	0,05	0,00	0,22	0,22	0,00
11.08	-	-	0,00	0,30	0,30	0,00	0,07	0,07	0,00	0,30	0,30	0,00
12.08	-	-	0,00	0,15	0,15	0,00	0,03	0,03	0,00	0,15	0,15	0,00
13.08	-	-	0,00	0,20	0,20	0,00	0,04	0,04	0,00	0,20	0,20	0,00
14.08	-	-	0,00	0,39	0,39	0,00	0,09	0,09	0,00	0,39	0,39	0,00
15.08	-	-	0,00	0,38	0,38	0,00	0,10	0,10	0,00	0,38	0,38	0,00
16.08	0,55	0,55	0,00	0,12	0,12	0,00	0,14	0,14	0,00	0,67	0,67	0,00
17.08	0,45	0,45	0,00	0,33	0,33	0,00	0,18	0,18	0,00	0,78	0,79	0,01
18.08	-	-	0,00	0,14	0,14	0,00	0,03	0,03	0,00	0,14	0,14	0,00
19.08	0,47	0,47	0,00	0,18	0,18	0,00	0,15	0,15	0,00	0,65	0,65	0,00
20.08	0,58	0,58	0,00	0,11	0,11	0,00	0,17	0,17	0,00	0,70	0,70	0,00
21.08	0,35	0,35	0,00	0,20	0,20	0,00	0,13	0,13	0,00	0,55	0,55	0,00
22.08	-	-	0,00	0,09	0,09	0,00	0,02	0,02	0,00	0,09	0,09	0,00
23.08	-	-	0,00	0,08	0,08	0,00	0,02	0,02	0,00	0,08	0,08	0,00
24.08	0,49	0,49	0,00	0,10	0,10	0,00	0,08	0,08	0,00	0,59	0,59	0,00
25.08	0,03	0,03	0,00	0,35	0,35	0,00	0,09	0,09	0,00	0,38	0,38	0,00
26.08	-	-	0,00	0,05	0,05	0,00	0,01	0,01	0,00	0,05	0,05	0,00
27.08	-	-	0,00	0,33	0,33	0,00	0,09	0,09	0,00	0,33	0,33	0,00
28.08	0,55	0,55	0,00	0,63	0,63	0,00	0,15	0,15	0,00	0,63	0,63	0,00
29.08	0,50	0,50	0,00	0,61	0,61	0,00	0,14	0,14	0,00	0,61	0,61	0,00
30.08	-	-	0,00	0,14	0,14	0,00	0,03	0,03	0,00	0,14	0,14	0,00
31.08	-	-	0,00	0,16	0,16	0,00	0,04	0,04	0,00	0,16	0,16	0,00

Таблица 3.3 – Результаты измерений автоматическим актинометрическим комплексом и ручными измерениями на арбитражном оборудовании за август 2024 за 12 срок (время измерения 12-30)

Дата измерения	Прямая радиация, кВт/м2			Рассеянная радиация, кВт/м2			Отраженная радиация, кВт/м2			Суммарная радиация, кВт/м2		
	ручной	ААК	разность	ручной	ААК	разность	ручной	ААК	разность	ручной	ААК	разность
1.08	-	-	-	0,06	0,06	0,00	0,01	0,01	0,00	0,06	0,06	0,00
2.08	0,34	0,34	0,00	0,52	0,52	0,00	0,19	0,19	0,00	0,85	0,84	0,01
3.08	-	-	-	0,24	0,24	0,00	0,05	0,05	0,00	0,24	0,24	0,00
4.08	-	-	-	0,51	0,51	0,00	0,12	0,12	0,00	0,51	0,51	0,00
5.08	-	-	-	0,36	0,36	0,00	0,09	0,09	0,00	0,36	0,36	0,00
6.08	-	-	-	0,29	0,29	0,00	0,06	0,06	0,00	0,29	0,29	0,00
7.08	-	-	-	0,47	0,47	0,00	0,11	0,11	0,00	0,47	0,47	0,00
8.08	0,61	0,61	0,00	0,19	0,19	0,00	0,18	0,18	0,00	0,80	0,80	0,00
9.08	0,71	0,71	0,00	0,20	0,20	0,00	0,19	0,19	0,00	0,91	0,90	0,01
10.08	-	-	-	0,46	0,46	0,00	0,09	0,09	0,00	0,46	0,46	0,00
11.08	-	-	-	0,24	0,24	0,00	0,04	0,04	0,00	0,24	0,24	0,00
12.08	0,40	0,40	0,00	0,42	0,42	0,00	0,12	0,12	0,00	0,82	0,82	0,00
13.08	-	-	-	0,18	0,18	0,00	0,04	0,04	0,00	0,18	0,18	0,00
14.08	0,72	0,72	0,00	0,12	0,12	0,00	0,17	0,17	0,00	0,84	0,84	0,00
15.08	-	-	-	0,24	0,24	0,00	0,06	0,06	0,00	0,24	0,24	0,00
16.08	0,67	0,67	0,00	0,15	0,15	0,00	0,18	0,18	0,00	0,82	0,82	0,00
17.08	0,61	0,61	0,00	0,25	0,25	0,00	0,19	0,19	0,00	0,86	0,85	0,00
18.08	-	-	-	0,43	0,43	0,00	0,10	0,10	0,00	0,43	0,43	0,00
19.08	0,71	0,71	0,00	0,13	0,13	0,00	0,17	0,17	0,00	0,85	0,85	0,00
20.08	0,72	0,72	0,00	0,11	0,11	0,00	0,19	0,19	0,00	0,83	0,83	0,00
21.08	0,40	0,40	0,00	0,31	0,31	0,00	0,18	0,18	0,00	0,71	0,71	0,00
22.08	-	-	-	0,15	0,15	0,00	0,03	0,03	0,00	0,15	0,15	0,00
23.08	-	-	-	0,11	0,11	0,00	0,03	0,03	0,00	0,11	0,11	0,00
24.08	0,73	0,73	0,00	0,10	0,10	0,00	0,15	0,15	0,00	0,83	0,83	0,00
25.08	-	-	-	0,27	0,27	0,00	0,07	0,07	0,00	0,27	0,27	0,00
26.08	-	-	-	0,35	0,35	0,00	0,09	0,09	0,00	0,35	0,35	0,00
27.08	0,28	0,28	0,00	0,22	0,22	0,00	0,14	0,14	0,00	0,50	0,50	0,00
28.08	0,64	0,64	0,00	0,21	0,21	0,00	0,17	0,17	0,00	0,85	0,85	0,00
29.08	0,61	0,61	0,00	0,35	0,35	0,00	0,24	0,24	0,00	0,96	0,94	0,02
30.08	-	-	-	0,06	0,06	0,00	0,01	0,01	0,00	0,06	0,06	0,00
31.08	-	-	-	0,28	0,28	0,00	0,07	0,07	0,00	0,28	0,28	0,00

Таблица 3.4 – Результаты измерений автоматическим актинометрическим комплексом и ручными измерениями на арбитражном оборудовании за август 2024 за 15 срок (время измерения 15-30)

Дата измерения	Прямая радиация, кВт/м2			Рассеянная радиация, кВт/м2			Отраженная радиация, кВт/м2			Суммарная радиация, кВт/м2		
	ручной	ААК	разность	ручной	ААК	разность	ручной	ААК	разность	ручной	ААК	разность
1.08	-	-	-	0,16	0,16	0,00	0,03	0,03	0,00	0,16	0,16	0,00
2.08	0,61	0,60	0,01	0,22	0,22	0,00	0,21	0,21	0,00	0,83	0,85	0,02
3.08	-	-	-	0,31	0,31	0,00	0,07	0,07	0,00	0,31	0,31	0,00
4.08	0,05	0,05	0,00	0,20	0,20	0,00	0,11	0,11	0,00	0,70	0,69	0,01
5.08	-	-	-	0,08	0,08	0,00	0,02	0,02	0,00	0,08	0,08	0,00
6.08	-	-	-	0,26	0,26	0,00	0,06	0,06	0,00	0,26	0,26	0,00
7.08	-	-	-	0,19	0,19	0,00	0,04	0,04	0,00	0,19	0,19	0,00
8.08	-	-	-	0,12	0,12	0,00	0,03	0,03	0,00	0,12	0,12	0,00
9.08	-	-	-	-	-	-	0,19	0,19	0,00	-	-	-
10.08	-	-	-	0,25	0,25	0,00	0,06	0,06	0,00	0,25	0,25	0,00
11.08	-	-	-	0,06	0,06	0,00	0,01	0,01	0,00	0,06	0,06	0,00
12.08	-	-	-	0,17	0,17	0,00	0,03	0,03	0,00	0,17	0,17	0,00
13.08	-	-	-	0,08	0,08	0,00	0,02	0,02	0,00	0,08	0,08	0,00
14.08	0,46	0,46	0,00	0,1	0,1	0,00	0,12	0,12	0,00	0,55	0,55	0,00
15.08	0,42	0,42	0,00	0,22	0,22	0,00	0,16	0,16	0,00	0,64	0,64	0,00
16.08	0,39	0,39	0,00	0,14	0,14	0,00	0,12	0,12	0,00	0,53	0,53	0,00
17.08	0,04	0,04	0,00	0,25	0,25	0,00	0,07	0,07	0,00	0,29	0,29	0,00
18.08	0,44	0,44	0,00	0,14	0,14	0,00	0,13	0,13	0,00	0,56	0,56	0,00
19.08	0,43	0,43	0,00	0,11	0,11	0,00	0,13	0,13	0,00	0,54	0,54	0,00
20.08	0,45	0,45	0,00	0,08	0,08	0,00	0,13	0,13	0,00	0,53	0,53	0,00
21.08	0,46	0,46	0,00	0,08	0,08	0,00	0,13	0,13	0,00	0,53	0,53	0,00
22.08	-	-	-	0,14	0,14	0,00	0,03	0,03	0,00	0,14	0,14	0,00
23.08	-	-	-	0,04	0,04	0,00	0,01	0,01	0,00	0,04	0,04	0,00
24.08	0,44	0,44	0,00	0,04	0,04	0,00	0,08	0,08	0,00	0,48	0,48	0,00
25.08	0,04	0,04	0,00	0,26	0,26	0,00	0,08	0,08	0,00	0,30	0,30	0,00
26.08	-	-	-	0,15	0,15	0,00	0,04	0,04	0,00	0,15	0,15	0,00
27.08	0,42	0,42	0,00	0,12	0,12	0,00	0,13	0,13	0,00	0,54	0,54	0,00
28.08	0,38	0,38	0,00	0,17	0,17	0,00	0,14	0,14	0,00	0,56	0,56	0,00
29.08	0,23	0,23	0,00	0,22	0,22	0,00	0,13	0,13	0,00	0,46	0,46	0,00
30.08	-	-	-	0,19	0,19	0,00	0,05	0,05	0,00	0,19	0,19	0,00
31.08	-	-	-	0,16	0,16	0,00	0,04	0,04	0,00	0,16	0,16	0,00

Таблица 3.5 – Результаты измерений автоматическим актинометрическим комплексом и ручными измерениями на арбитражном оборудовании за август 2024 за 18 срок (время измерения 18-30)

Дата измерения	Прямая радиация, кВт/м2			Рассеянная радиация, кВт/м2			Отраженная радиация, кВт/м2			Суммарная радиация, кВт/м2		
	ручной	ААК	разность	ручной	ААК	разность	ручной	ААК	разность	ручной	ААК	разность
1.08	-	-	-	0,02	0,02	0,00	0,02	0,02	0,00	0,08	0,08	0,00
2.08	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,06	0,06	0,00
3.08	-	-	-	0,04	0,04	0,00	0,04	0,04	0,00	0,16	0,16	0,00
4.08	0,05	0,05	0,00	0,02	0,02	0,00	0,02	0,02	0,00	0,09	0,09	0,00
5.08	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
6.08	-	-	-	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,04	0,04	0,00
7.08	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00
8.08	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,06	0,06	0,00
9.08	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
10.08	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,06	0,06	0,00
11.08	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
12.08	-	-	-	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00
13.08	-	-	-	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
14.08	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,05	0,05	0,00
15.08	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,04	0,04	0,00
16.08	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,06	0,06	0,00
17.08	-	-	-	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,03	0,03	0,00
18.08	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,04	0,04	0,00
19.08	-	-	-	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,00
20.08	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,00
21.08	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00
22.08	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
23.08	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
24.08	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00
25.08	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
26.08	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
27.08	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00
28.08	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
29.08	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
30.08	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
31.08	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00

На основе полученных данных были построены графики отношения результатов измерения и расчета различных видов солнечной радиации, измеренной автоматическим актинометрическим комплексом и ручным методом с эталонным оборудованием

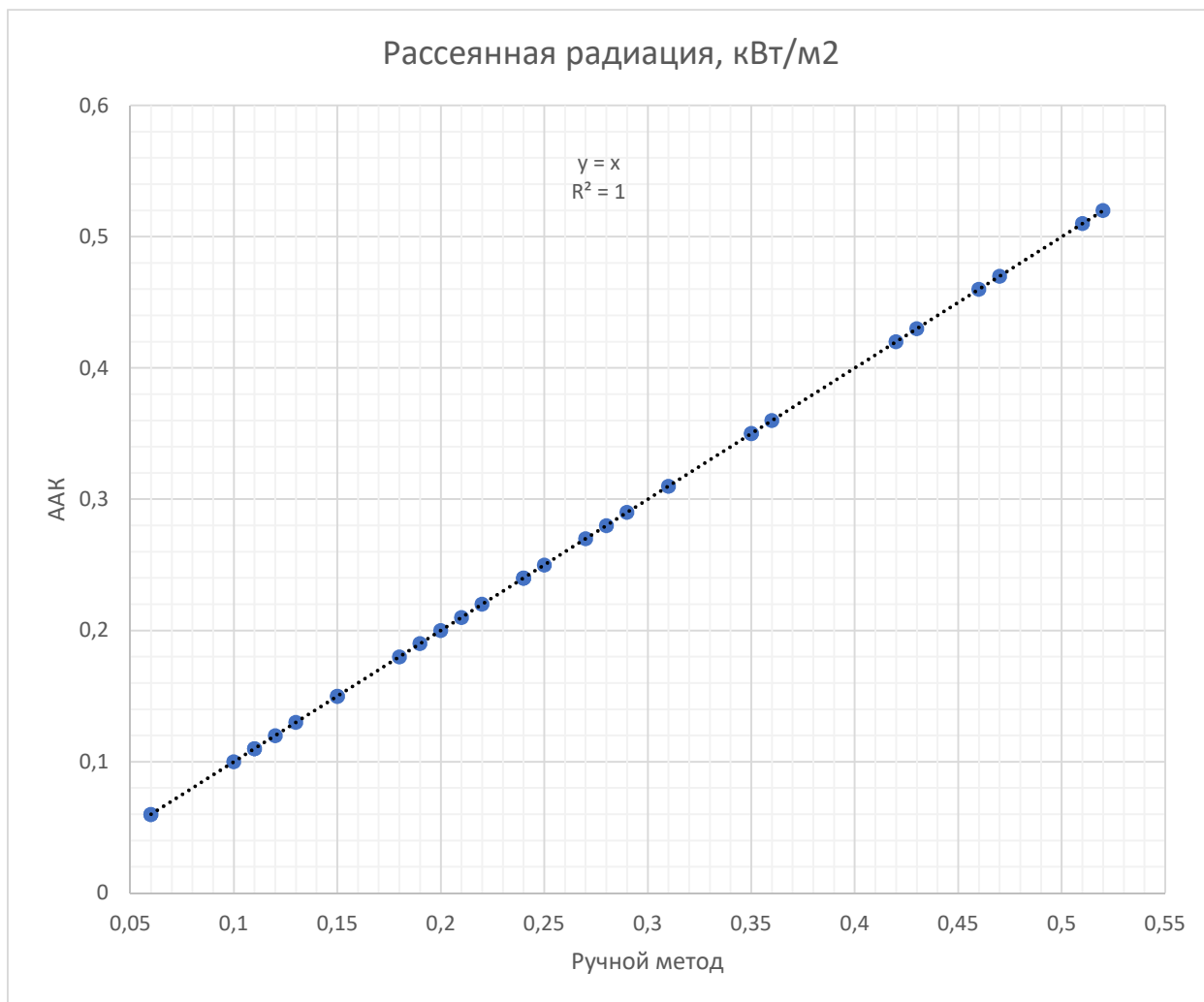


Рисунок 3.1 – график отношения результатов измерения рассеянной радиации, измеренной различным оборудованием

Из рисунка 3.1 мы видим, что графиком является ровная прямая линия, делящая угол пополам, что говорит о стабильной и корректной работе затененного пиранометра и затененного пиргеометра, улавливающих рассеянную коротковолновую и длинноволновую солнечную радиацию.

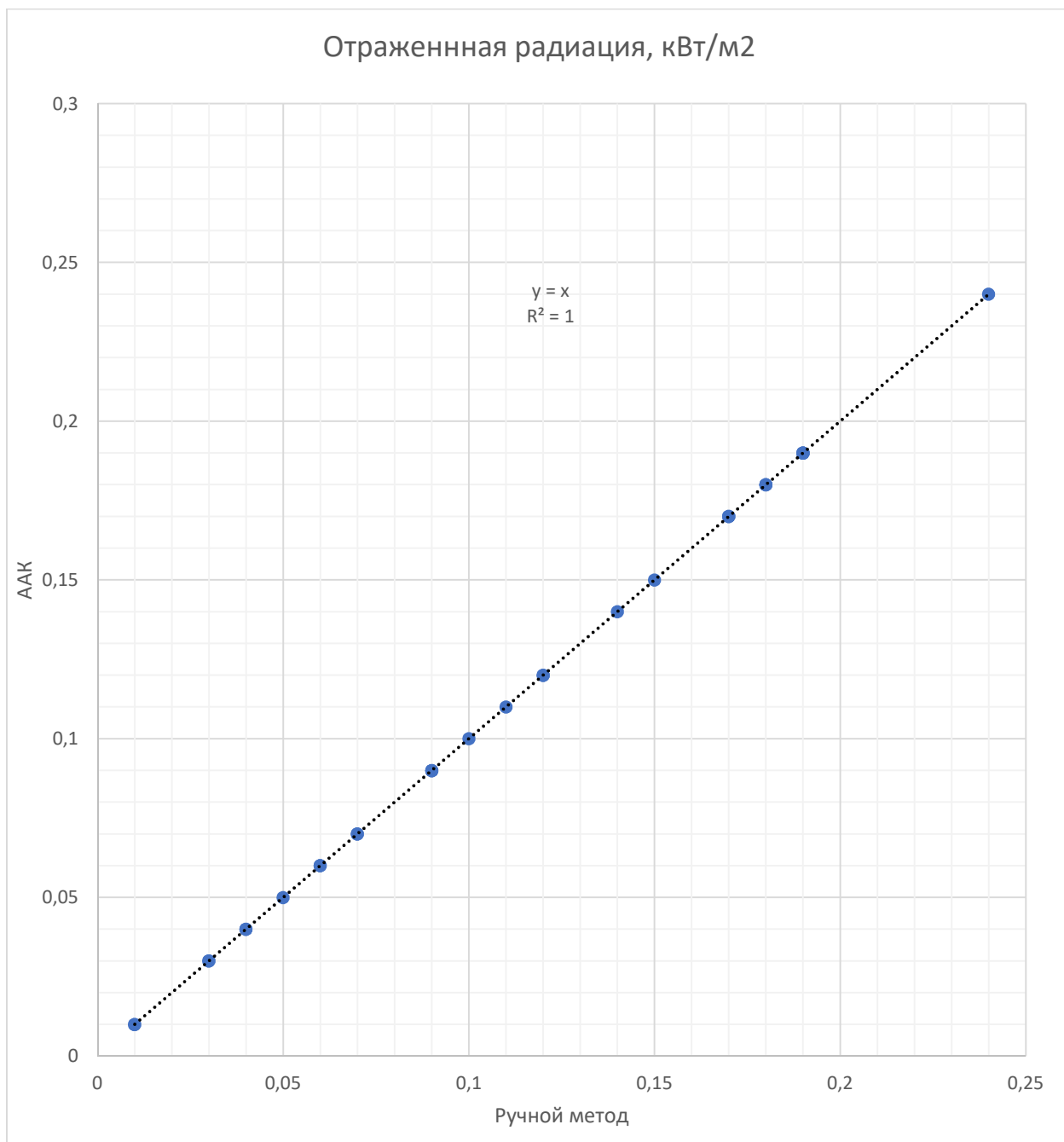


Рисунок 3.2 – график отношения результатов измерения отраженной радиации, измеренной различным оборудованием

График, изображенный на рисунке 3.2 показывает стабильную работу перевернутых пиранометра и пиргеометра, так как графиком является прямая уравнения $y = x$, делящая плоскость координат пополам.

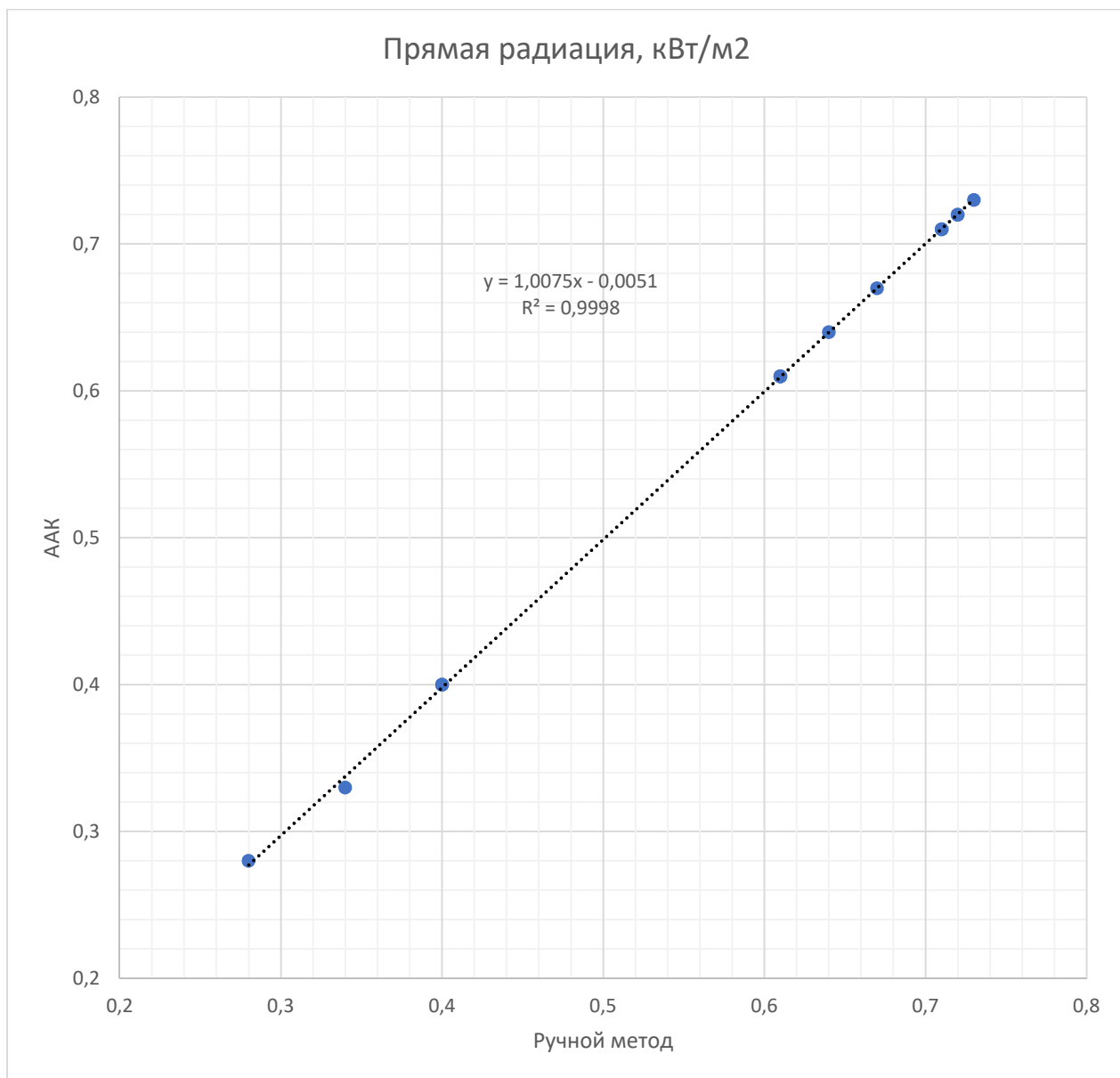


Рисунок 3.3 – график отношения результатов измерения прямой радиации, измеренной различным оборудованием

График, изображенный на рисунке 3.3 достаточно близок к ровной прямой, но имеет незначительное отклонение, что, возможно, является результатом влияния на измерения атмосферных явлений, облачности и ветра.

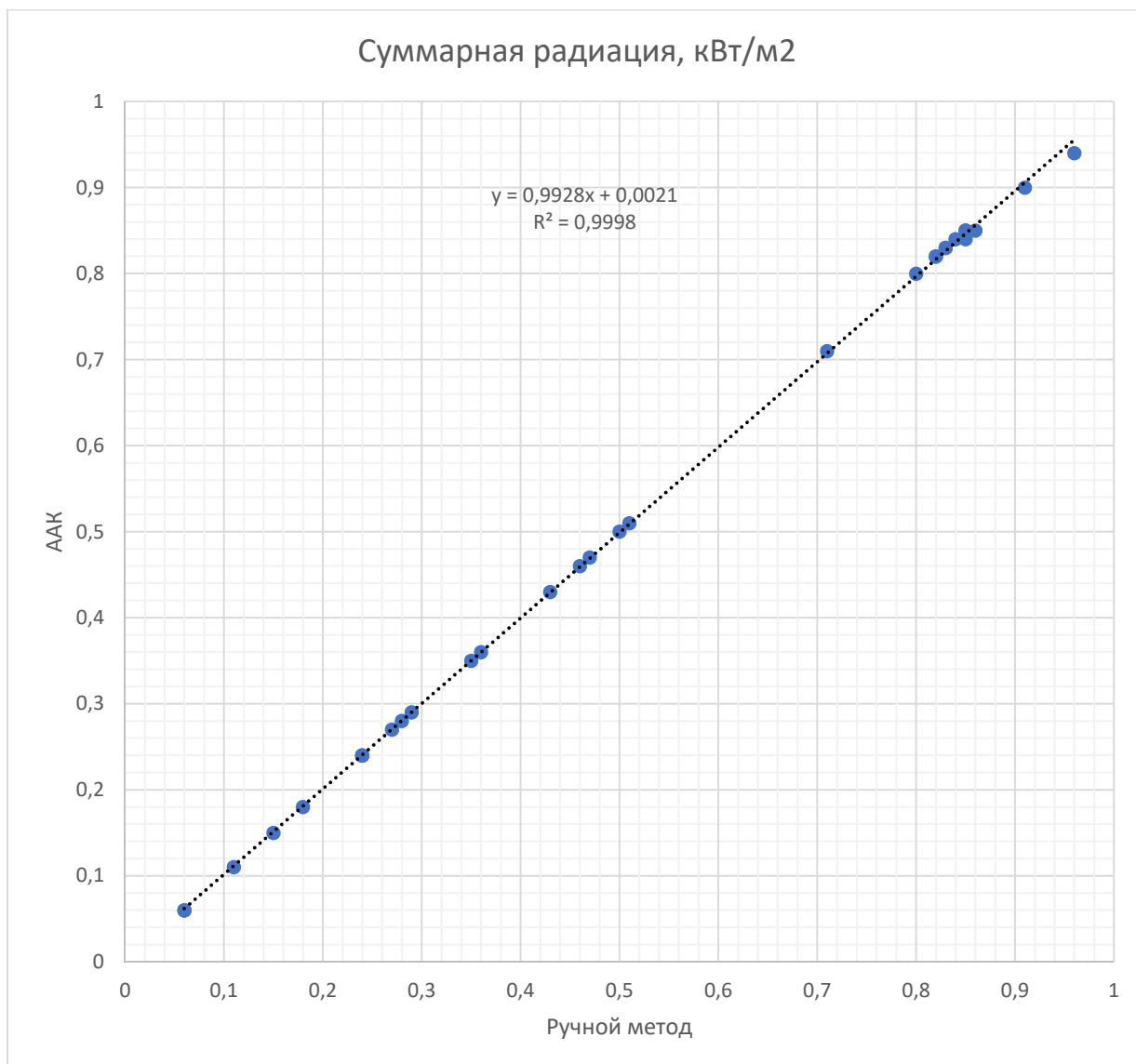


Рисунок 3.4 – график отношения результатов измерения суммарной радиации, измеренной различным оборудованием

Исходя из формулы расчета суммарного излучения и неровности графика прямой солнечной радиации на рисунке 3.3, можно предположить, что неровность графика, изображенного на рисунке 3.4 внесена именно помехами измерения прямой солнечной радиации.

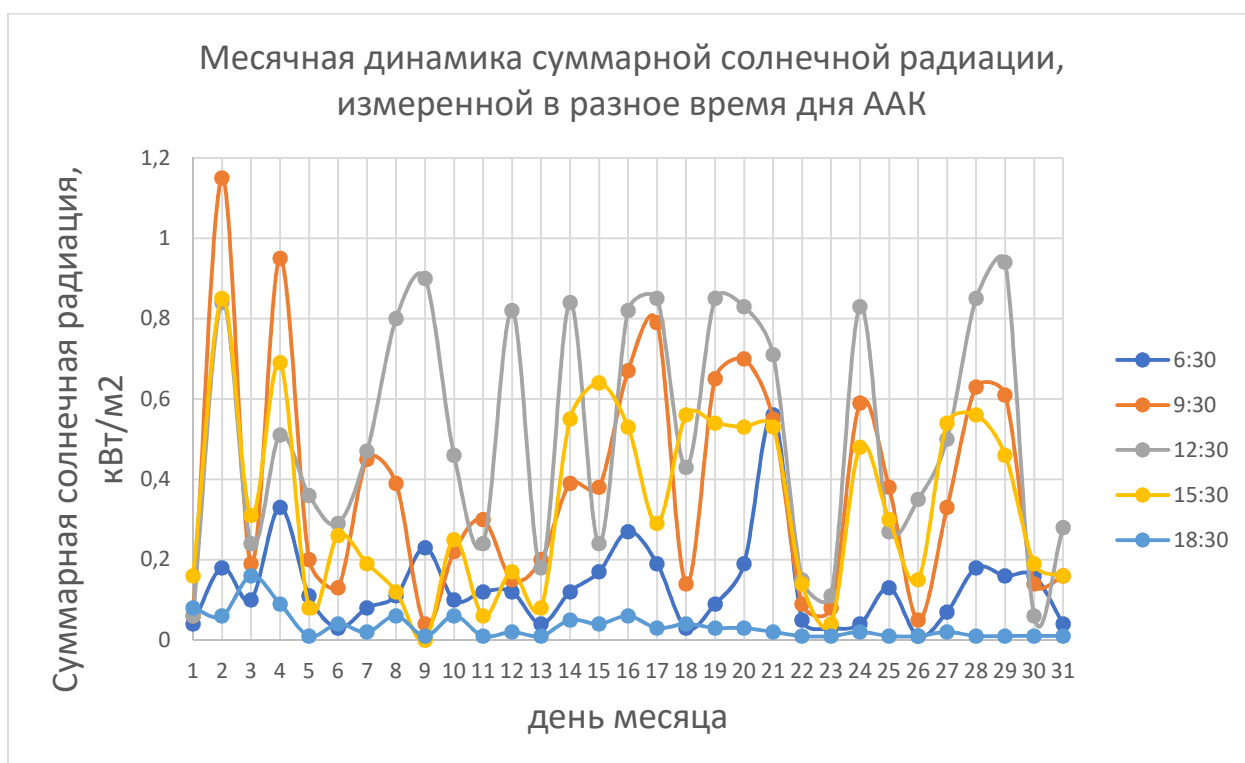
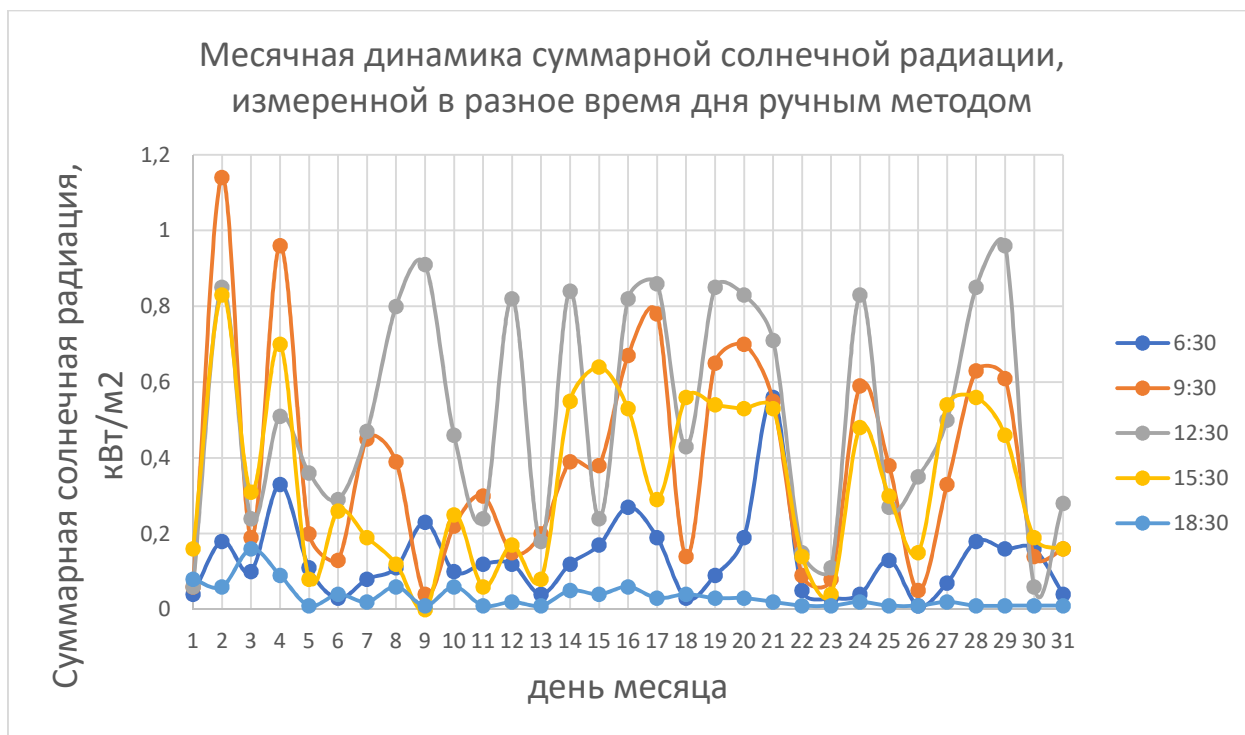


Рисунок 3.5 – Месячная динамика суммарной солнечной радиации, измеренной на ААК и ручным методом

На рисунке 3.5 изображена месячная динамика суммарной солнечной радиации в разные время дня измеренные автоматическим актинометрическим комплексом и ручным методом с использованием арбитражного оборудования. Нетрудно заметить, что оба графика

коррелируются друг с другом. Наблюдая за изменением суммарной солнечной радиации в течении месяца, во время которого, как известно изменяется траектория и высота положения солнца над горизонтом, можно заключить, что гелиостат (датчик системы наведение на солнечный диск) и двух осевая система так же работает исправно.

Выводы

Соблюдение международных стандартов и использование арбитражного оборудования – обязательные условия для обеспечения точности актинометрических измерений. Регулярная поверка и валидация позволяют минимизировать погрешности, что критически важно для климатического мониторинга, прогнозирования урожайности и работы солнечных электростанций. Внедрение автоматизированных систем валидации, учитывающих рекомендации WMO и ISO, – ключевое направление развития современной актинометрии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Соблюдение международных стандартов и использование арбитражного оборудования – обязательные условия для обеспечения точности актинометрических измерений. Регулярная поверка и валидация позволяют минимизировать погрешности, что критически важно для климатического мониторинга, прогнозирования урожайности и работы солнечных электростанций. Внедрение автоматизированных систем валидации, учитывающих рекомендации WMO и ISO, – ключевое направление развития современной актинометрии.

Метеорологические условия оказывают комплексное влияние на точность актинометрических измерений. Облачность изменяет соотношение прямой и рассеянной радиации, влажность вызывает поглощение в ИК-диапазоне и конденсацию на датчиках, а запыленность приводит к дополнительному рассеянию и поглощению. Для минимизации погрешностей необходимо:

1. Проводить регулярную валидацию ААК с эталонными приборами.
2. Использовать дополнительные метеоданные (влажность, AOD) для введения поправок.
3. Применять современные алгоритмы коррекции, учитывающие региональные климатические особенности.

Учет этих факторов позволит повысить точность мониторинга солнечной радиации, что критически важно для агрометеорологии, климатологии и солнечной энергетики.

По результатам проведенной работы мы выяснили, что установленный на станции А Хабаровск автоматический актинометрический комплекс с установленными на нем оборудованием работает корректно, исправно и в соответствии с установленными на него нормативными требованиями. Автоматический актинометрический комплекс станции А Хабаровск прошел валидацию успешно

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 57193-2016 Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла систем: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 31 октября 2016 г. № 1538-ст: дата введения — 2017—11—01.
2. РД 52.04.562-96 Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 5. Актинометрические наблюдения. Часть 1 – дата введения – 1997-09-01.
3. РМГ 115-2019 ГСИ. Калибровка средств измерений. Алгоритмы обработки результатов измерений и оценивания неопределенности – М.: Стандартинформ, 2019 - 31 с.
4. Руководство гидрометеорологическим станциям по актинометрическим измерениям/ под ред. Г.П. Гущина, Е.П. Барашкова – 3-е изд.- Л.: Гидрометеоздат, 1973, - 223с.
5. Восканян К.Л., Саенко А.Г. Актинометрические наблюдения. Пособие для учебной практики – СПб.: РГГМУ, 2010 – 54 с.
6. К.Я. Кондратьев. Актинометрия. -Л.: Гидрометеоздат, 1965 – 691 с.
7. 2АР Двухосевая станция за солнцем/Зубатый привод устройства позиционирования. Руководство по эксплуатации.
8. Пиргелиометр СНР-1. Руководство по эксплуатации.
9. Пиранометр серии СМР. Руководство по эксплуатации
10. Пиргеометр CGR-4. Руководство по эксплуатации