Институт прикладной астрономии
Российской академии наук

ПОЛИТЕХ
Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого

Адаптивная обработка выходных данных наземного радиометрического комплекса дистанционного мониторинга параметров тропосферы

К.А. Дрожжов[1], С.И. Иванов[1], Г.Н. Ильин[2]

[1]Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

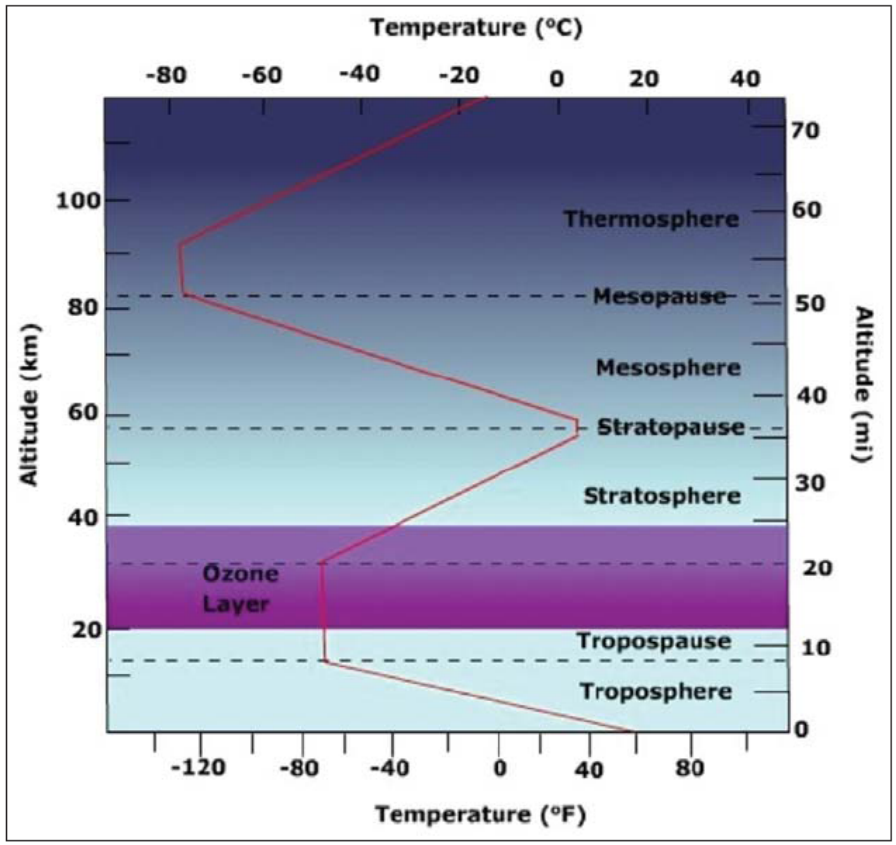
[2]Институт прикладной астрономии Российской академии наук

Актуальность

Troposphere

The troposphere is the atmospheric layer closest to the planet and contains the largest percentage (around 80%) of the mass of the total atmosphere. Temperature and water vapor content in the troposphere decrease rapidly with altitude. Water vapor plays a major role in regulating air temperature because it absorbs solar energy and thermal radiation from the planet's surface. The troposphere contains 99 % of the water vapor in the atmosphere.

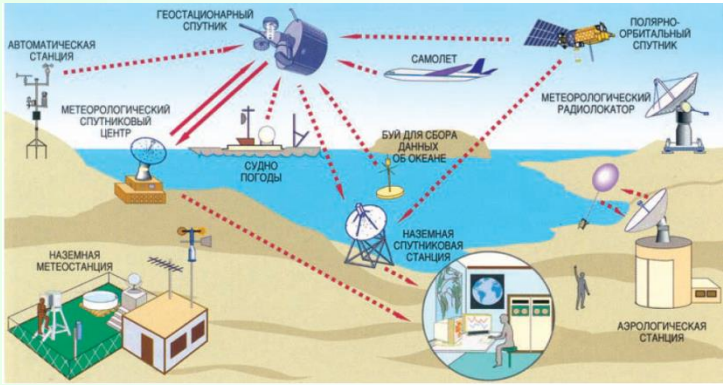
All weather phenomena occur within the troposphere, although turbulence may extend into the lower portion of the stratosphere. Troposphere means "region of mixing" and is so named because of vigorous convective air currents within the layer.

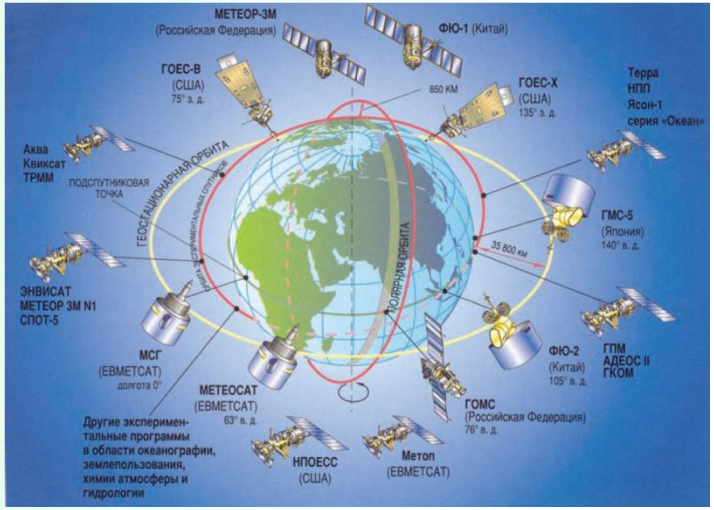


Параметры тропосферы

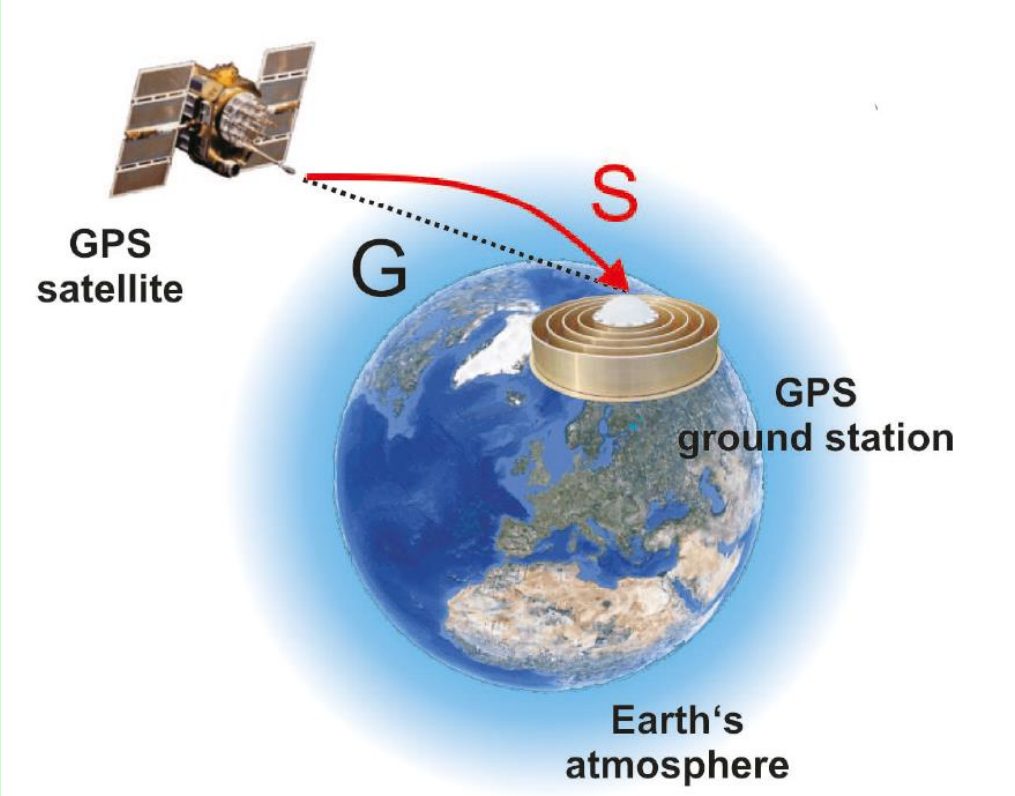
Интегральное содержание водяного пара Q (кг/м2);
Содержание конденсированной воды в облаках W (кг/м2);
Высотный профиль температуры T (h) атмосферы;
Тропосферная задержка распространения радиосигнала τ (мм).

Актуальность

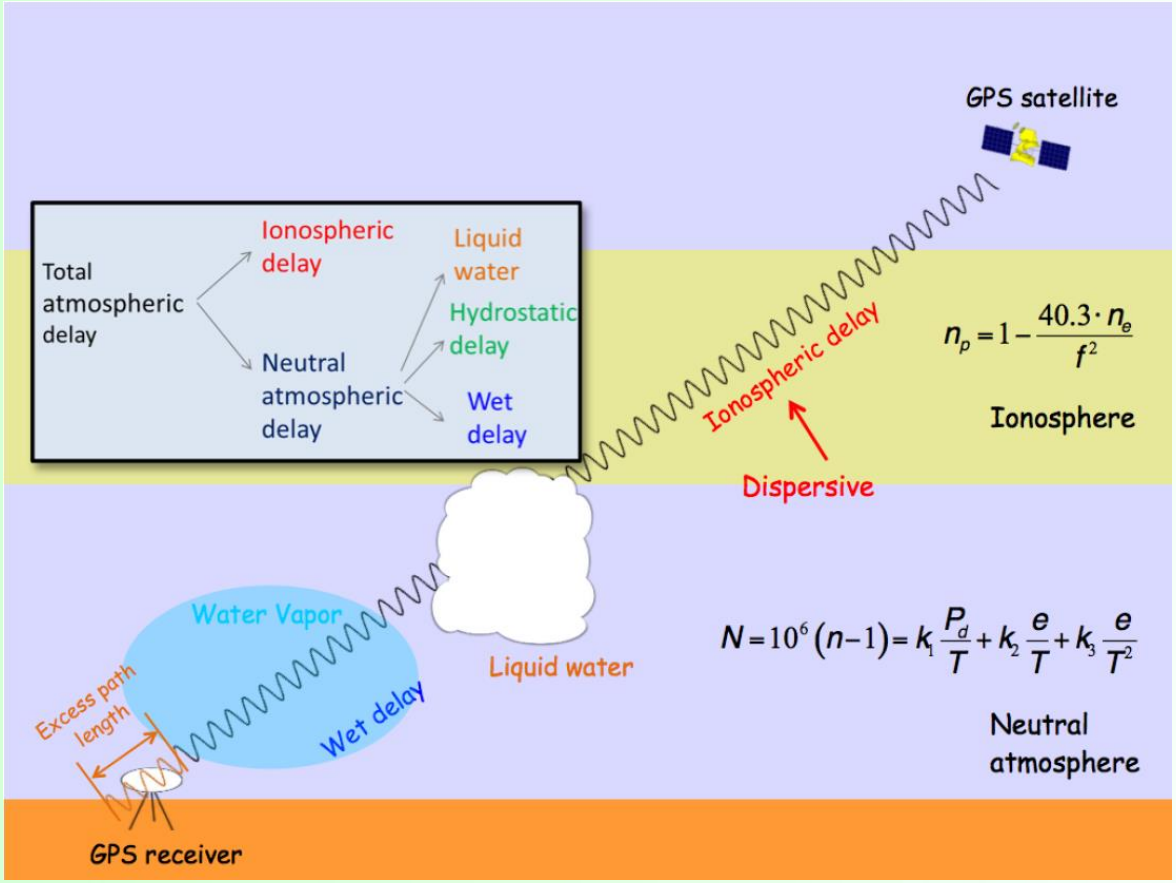




Актуальность



Актуальность



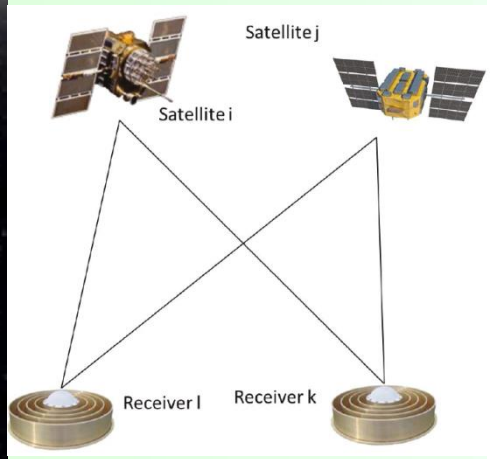
•«Сухая»(гидростатическая) составляющая до 4 метров. Хорошо вычисляется на основе стандартной модели.

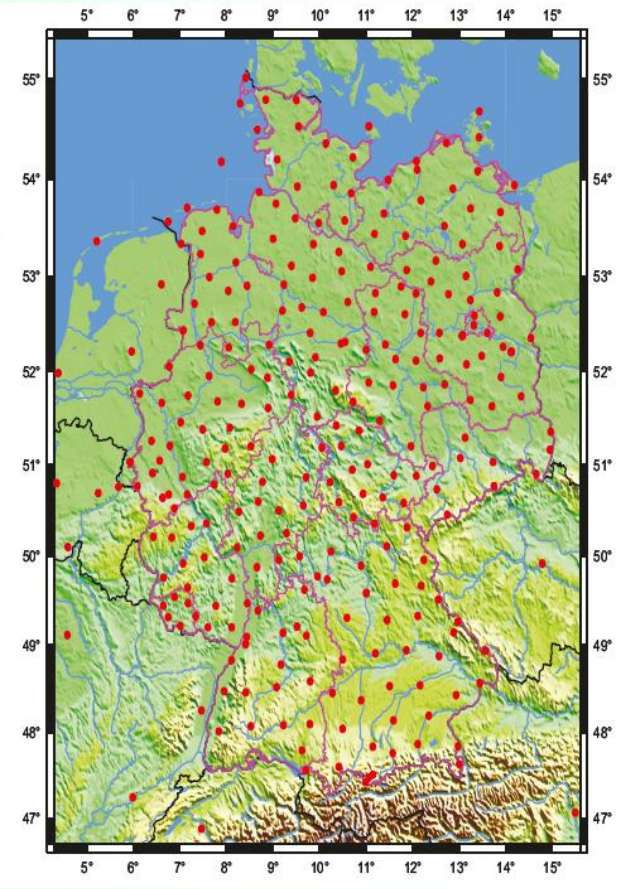
•«Влажная» составляющая до 0,4 метра. Представляет основную сложность в вычислении тропосферной задержки. Обусловлена присутствием в тропосфере водяного пара.

Системы мониторинга параметров

Инструменты мониторинга параметров тропосферы наземными средствами

Системы мониторинга параметров





Системы мониторинга параметров тропосферы с применением космического сегмента

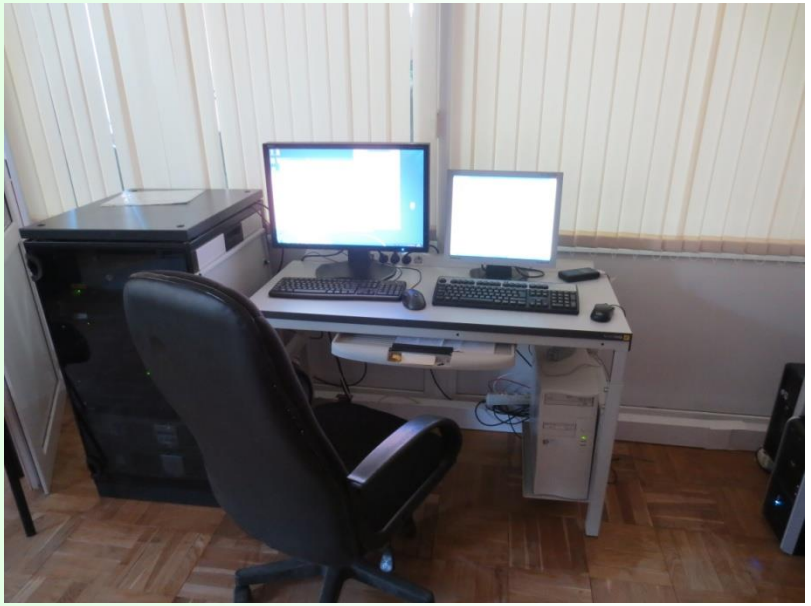
ЦЕЛЬ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Радиометр водяного пара рядом со станцией слежения NASA's Goldstone в Калифорнии для калибровки тропосферной задержки сигнала от космического аппарата Cassini . Проект обнаружения гравитационных волн, 2003

ЦЕЛЬ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Радиометр водяного пара (РВП) ИПА РАН

Центр дистанционного управления и мониторинга РВП



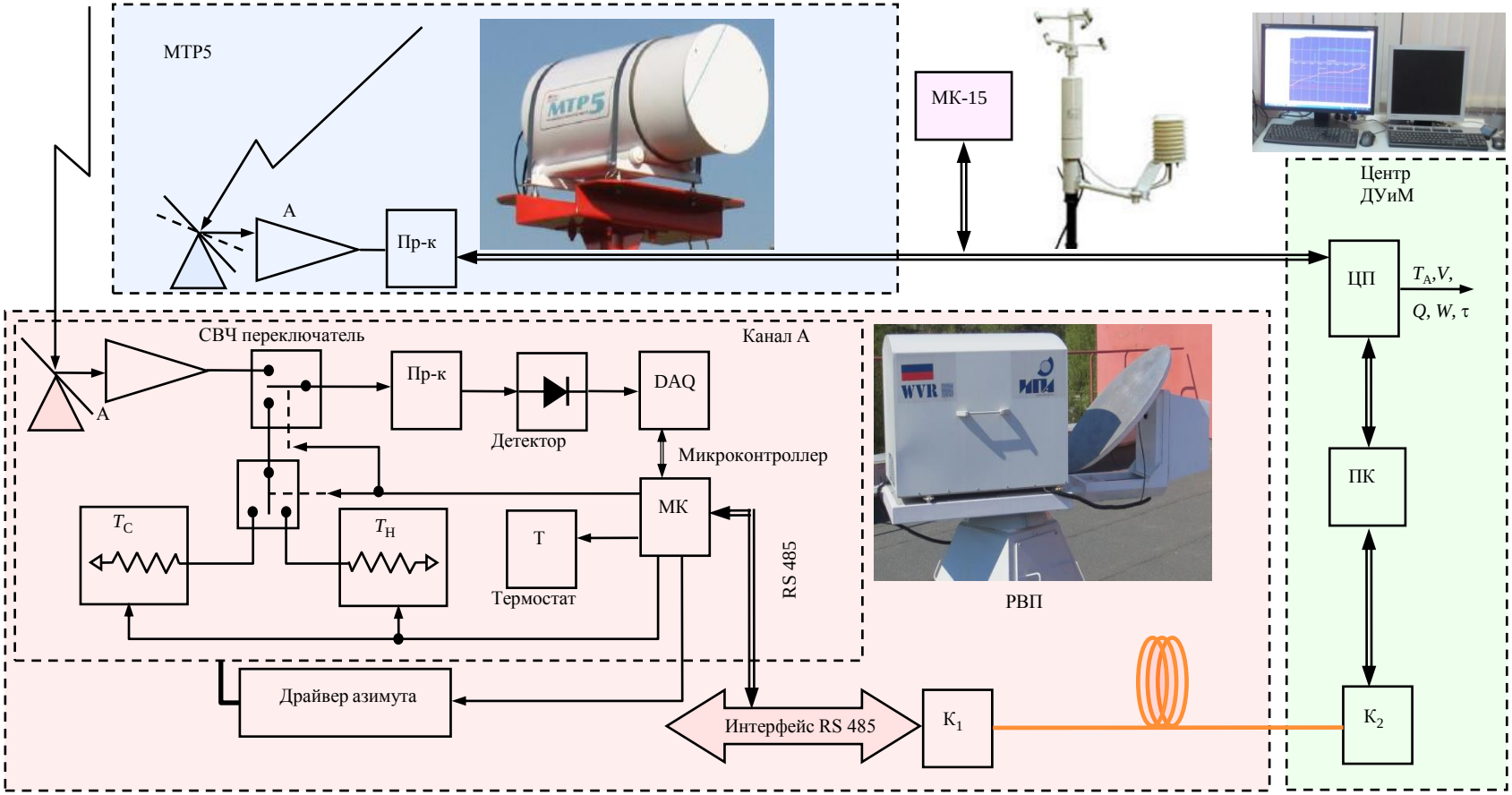
1. *Арсаев И.Е., Быков В.Ю., Ильин Г.Н., Юрчук Э.Ф* Радиометр водяного пара – средство измерения радиояркостной температуры атмосферы //Измерительная техника, 2017. №5. С.60-65.

2. Ильин Г.Н., Троицкий А.В. Определение тропосферной задержки радиосигнала радиометрическим методом //Известия высших учебных заведений. Радиофизика. 2017. Т.60, №4. С. 326-335.

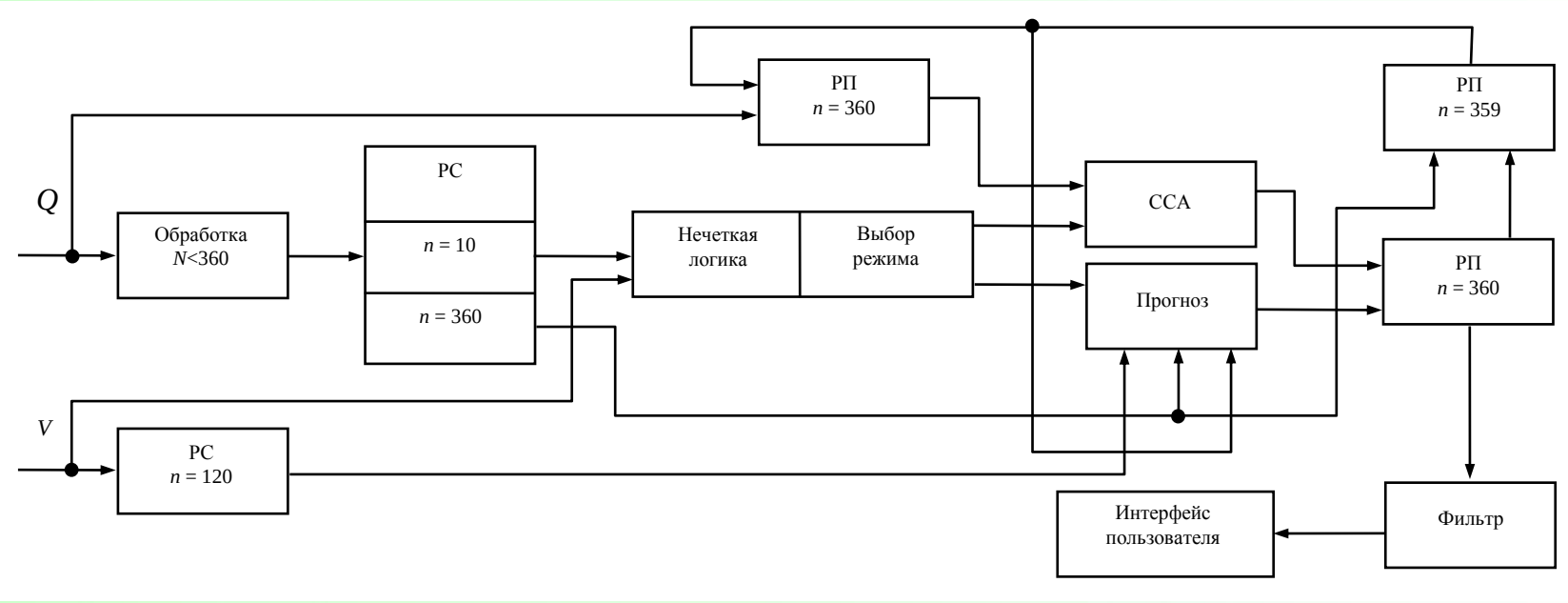
Collocation stations of the VLBI Network “Quasar”

Радиометрический метод дистанционного зондирования тропосферы характеризуется высокой точностью, оперативностью, большим объёмом измерительных данных и низкой стоимостью. К недостаткам метода следует отнести низкую точность оценок параметров в период интенсивных атмосферных осадков в виде дождя или мокрого снега.

Функциональная схема РВП



Алгоритм обработки данных РВП



Блок схема алгоритма обработки временного ряда данных РВП

Алгоритм обработки данных РВП

алгоритм сингулярного спектрального анализа- «Гусеница»

Первый этап SVD содержит следующие шаги:

•построение ганкелевой траекторной матрицы **X** из выборки исходного сигнала $\{x_i\}$, количество строк которой определяется выбором размера скользящего усредняющего окна L;

•SVD разложение симметрической квадратной матрицы **A**, полученной из траекторной матрицы $\mathbf{A}=\mathbf{X}\cdot\mathbf{X}^{\mathrm{T}}$, определение ортонормированной системы собственных векторов ***U*** (левых сингулярных векторов) матрицы **A**, соответствующих собственным неотрицательным числам $s_1>\ldots>s_L>0$, и собственных векторов ***V*** (правых сингулярных векторов);

SVD разложение траекторной матрицы **X** на одноранговые матрицы $\mathbf{X}_i$, количество которых определяется рангом матрицы **A**:

$$\mathbf{X}=\sum_i \mathbf{X}_i=\sum_i \sqrt{s_i}U_i V^{\mathrm{T}}$$

Второй этап восстановления полезного сигнала содержит следующие шаги:

•перегруппировка собственных троек (U_i V_i s_i) в сингулярном разложении, имеющих примерно одинаковую проекцию на обобщенные координатывыборочного пространства, и новое разложение траекторной матрицы **X** по выбранным тройкам;

•проведение диагонального усреднения полученных на предыдущем шаге результирующих матриц $\mathbf{X}_i$ (приведение их к ганкелевой форме) и восстановление полезного сигнала.

•Сингулярное разложение траекторной матрицы осуществляется виртуальным прибором SVD из палитры Linear Algebra программой среды LabVIEW. Матрица A является квадратной, поэтому параметры входа SVD Option могут быть выбраны произвольно.

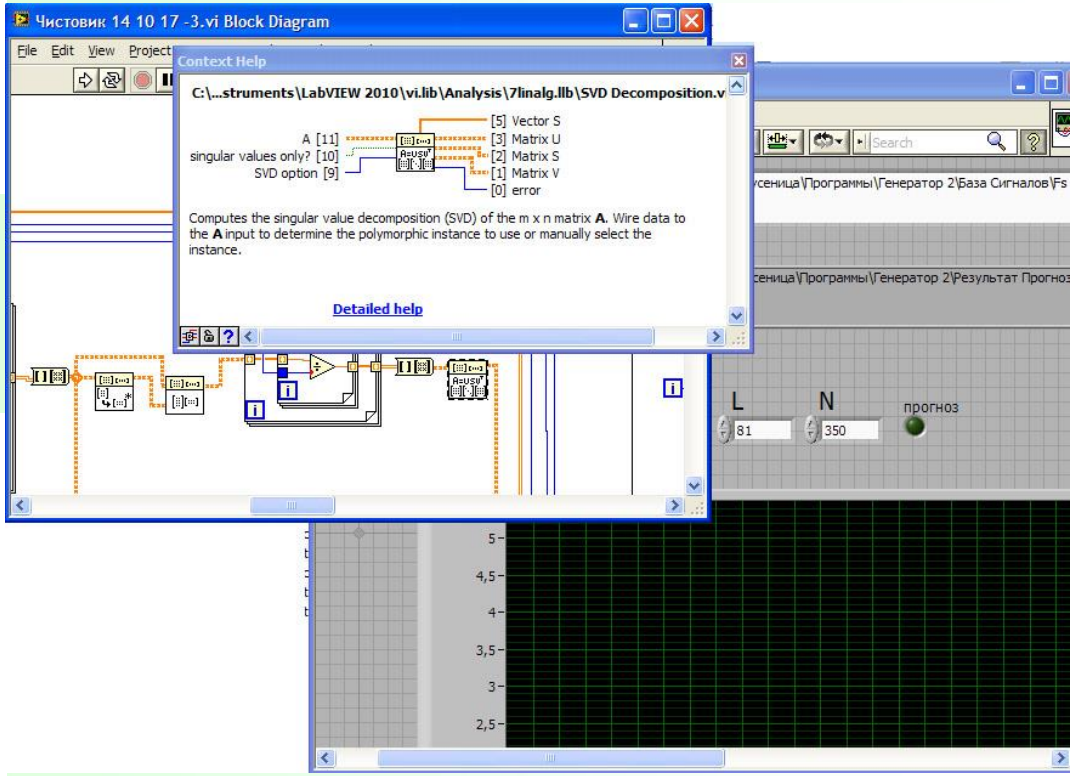
Алгоритм обработки данных РВП

алгоритм сингулярного спектрального анализа- «Гусеница»

Прогноз алгоритма SSA-«Гусеница» на *m* точек вперед осуществляется применением *m* раз операции прогноза на одну точку

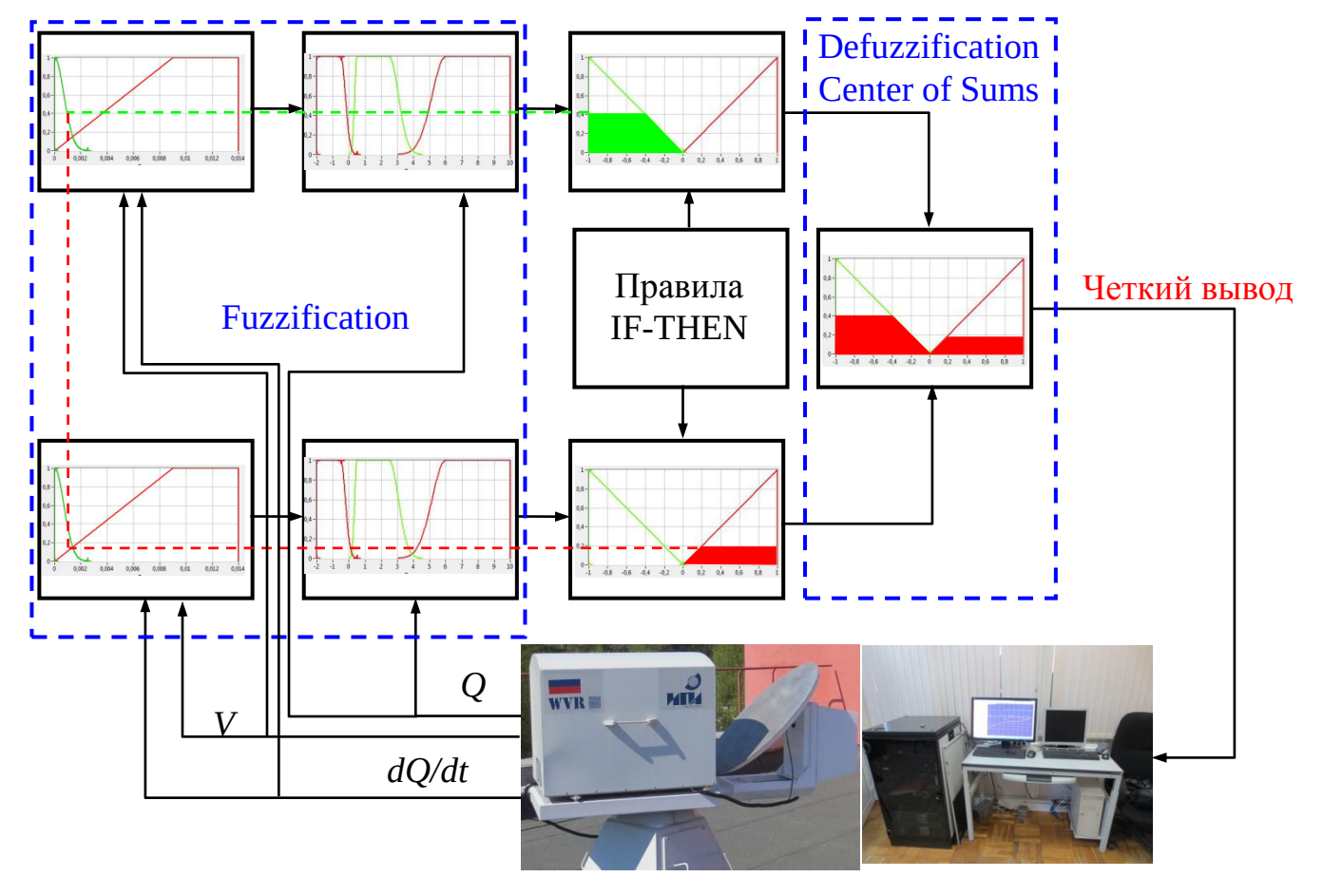
$$x_{n+1} = \frac{V_L \cdot V_*^T Z}{1 - V_L V_L^T},$$

где V_* – прямоугольная матрица L-1 x L и V_L – вектор-строка, объединение которых порождает ортогональную матрицу L x L собственных векторов ковариационной матрицы $\mathbf{XX}^T$. Элементы вектора Z представляют собой L-1 последних поступивших отсчетов входного сигнала $x(t)$. Для предсказания следующих значений требуется изменить соответствующим образом длину окна усреднения L, значения элементов вектора Z и применить алгоритм метода SSA для вычисления V_L и V_*.



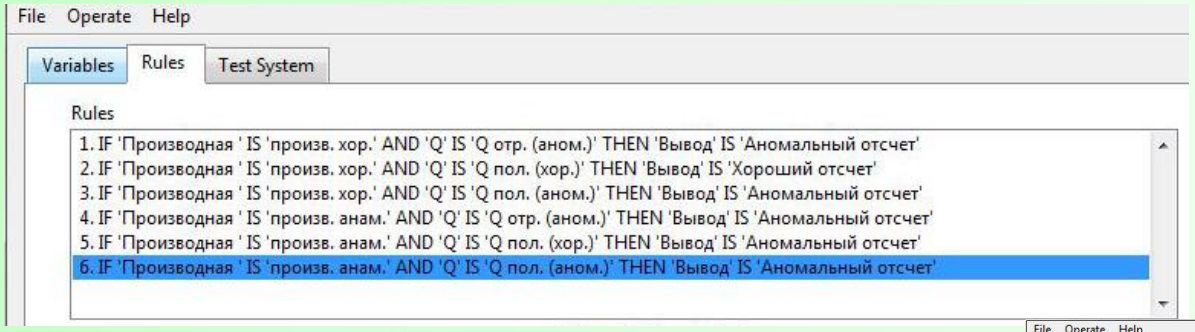
Алгоритм обработки данных РВП

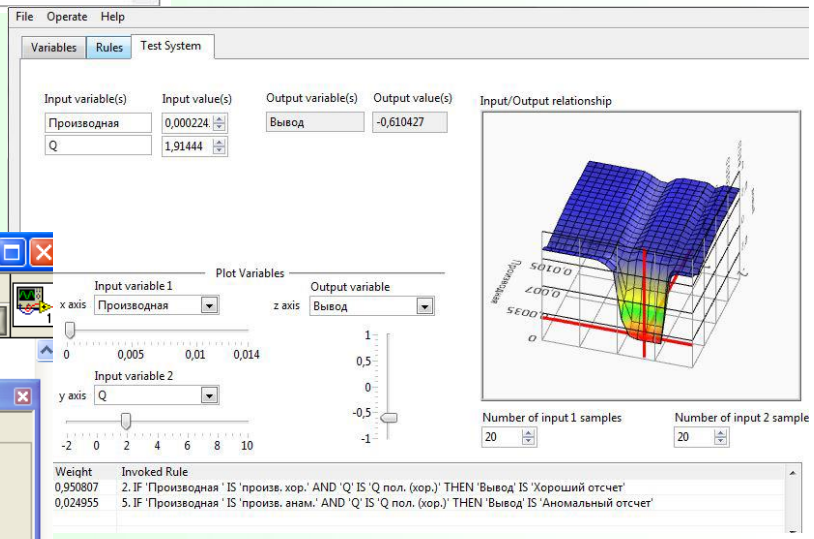
Контроллер Мамдани нечеткой логики

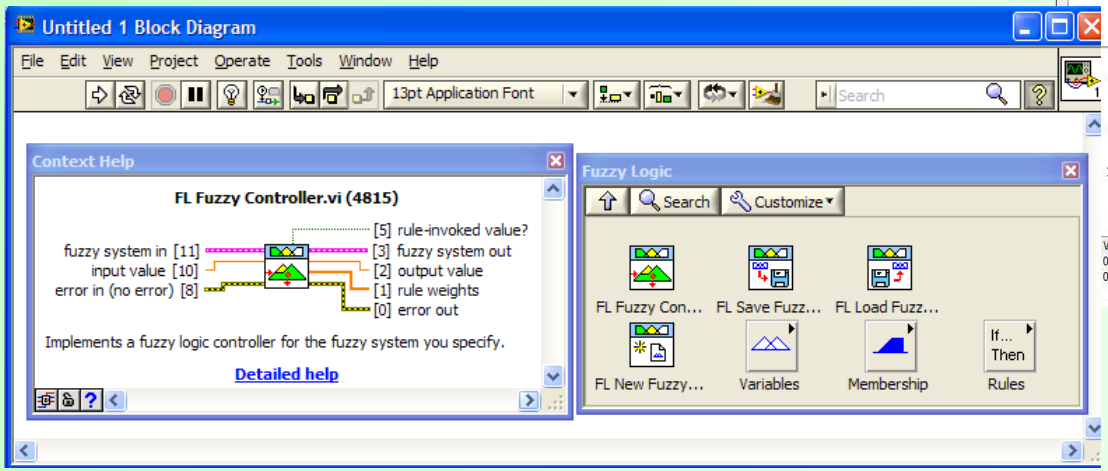


Алгоритм обработки данных РВП

Контроллер Мамдани нечеткой логики







Алгоритм обработки данных РВП

Тестирование алгоритма

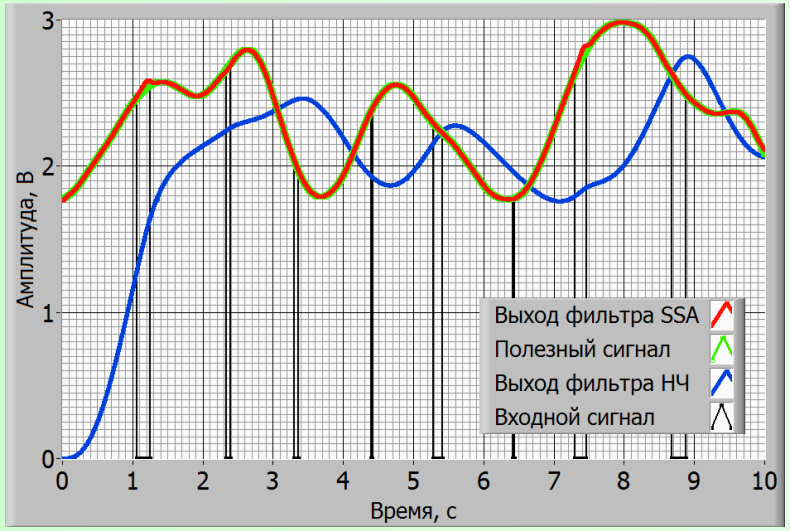


Рис. 1. Сигналы на входе и выходе фильтра SSA и ФНЧ в отсутствии аддитивного шума

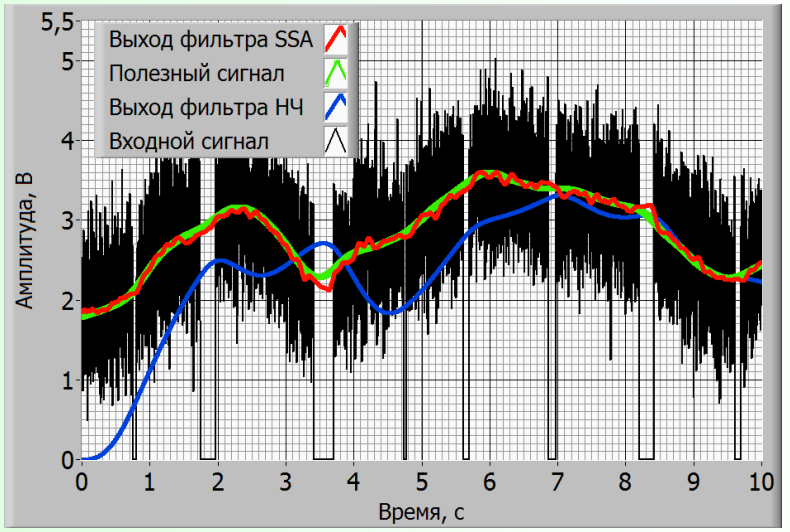


Рис. 2. Сигналы на входе и выходе фильтра SSA и ФНЧ при наличии аддитивного шума (СКО шума равно 0.5 В)

Алгоритм обработки данных РВП

Тестирование алгоритма

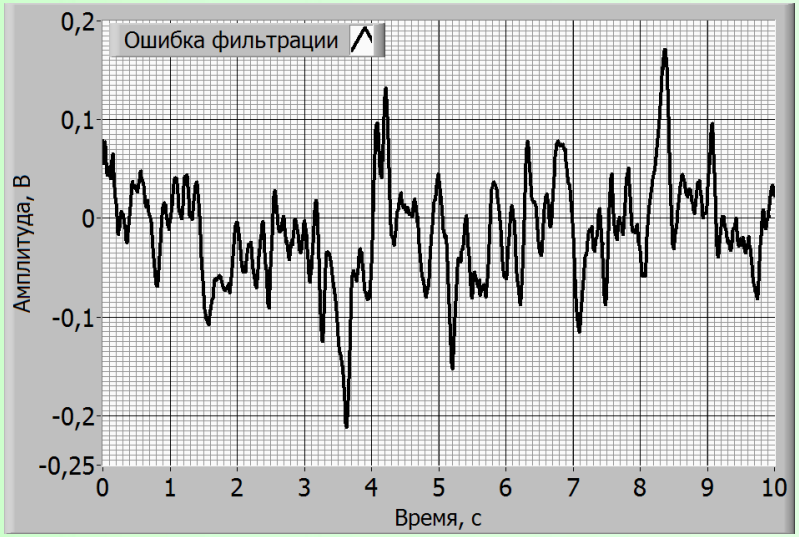


Рис. 3. Ошибка фильтрации методом SSA.
СКО шума 0.5 В

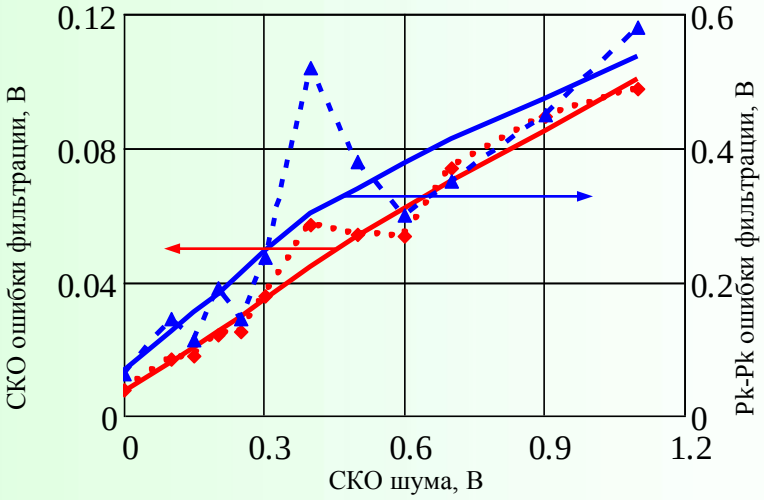
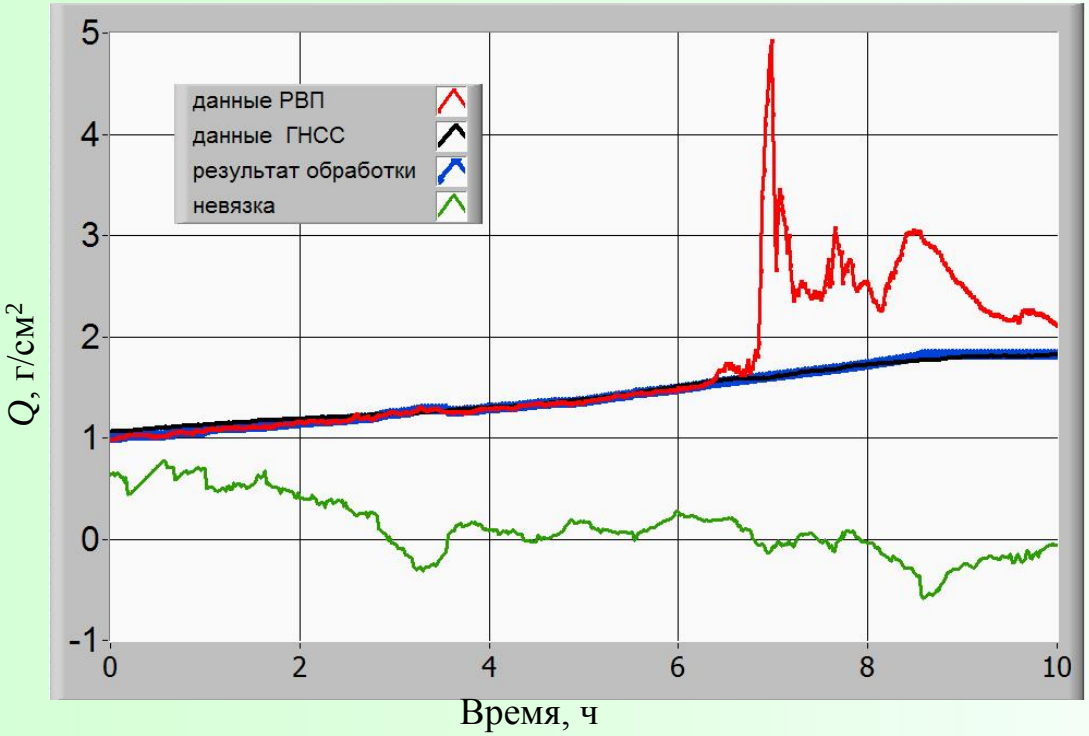


Рис. 4. Зависимость ошибки фильтрации методом SSA от СКО аддитивного шума

Алгоритм обработки данных РВП

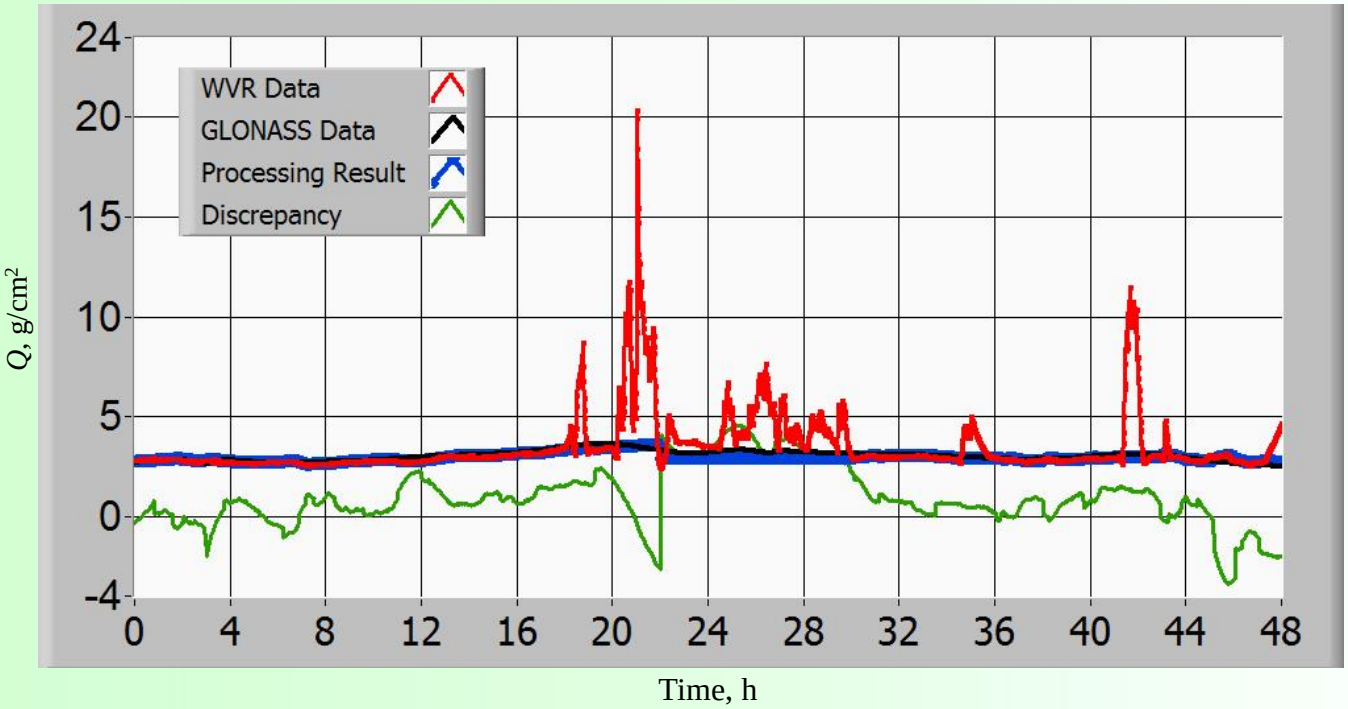
Тестирование алгоритма



Временной ряд данных РВП (красный график), данных ГНСС (черный график), результата обработки (синий график) и разность между результатом обработки и данными ГНСС, увеличенная в 10 раз (зеленый график)

Алгоритм обработки данных РВП

Тестирование алгоритма



Временной ряд данных РВП (красный график), данных ГНСС (черный график), результата обработки (синий график) и разность между результатом обработки и данными ГНСС, увеличенная в 10 раз (зеленый график)

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ