

## **Оперативный мониторинг параметров хода часов приемников сигналов ГНСС в Восточно-Сибирском филиале ФГУП «ВНИИФТРИ»**

© Е. П. Гладкевич, Г. И. Модестова

Восточно-Сибирский филиал ФГУП «ВНИИФТРИ», г. Иркутск, Россия

Программный комплекс BERNESE использован как основа контроля качества сигнала опорной частоты и временных шкал GPS/ГЛОНАСС-приемников. Опции BERNESE модифицированы и дополнены для работы в оперативном режиме. С 2013 г. результаты оперативных вычислений используются для анализа качества данных спутниковых измерений, являются дополнительным средством для устранения недостатков в работе тракта, передающего опорную частоту. Выполнены переход программного комплекса BERNESE на версию 5.2 с уточнением тропосферной модели, переобработка данных измерений 2016 года, а также анализ результатов вычислений. Сделан вывод об улучшении качества спутниковых измерений в Восточно-Сибирском филиале ФГУП «ВНИИФТРИ» в результате проделанной работы.

**Ключевые слова:** опорная частота, спутниковые измерения, GPS/ГЛОНАСС-приемники, временная шкала.

Восточно-Сибирский филиал ФГУП «ВНИИФТРИ» обеспечивает непрерывное функционирование технических средств определения параметров вращения Земли в пункте метрологического контроля Государственной службы времени и частоты, выполняя эксплуатацию, обслуживание и ремонт комплекса спутниковых средств измерений на базе приемников ГНСС-сигналов. Целью работы является постоянное ежесуточное исследование поведения часов приемников по данным наблюдений на пунктах филиала, а также поиск возможности улучшения качества работы приемников.

На территории астрогеодинамического полигона Восточно-Сибирского филиала ФГУП «ВНИИФТРИ» работают шесть пунктов наблюдений сигналов спутников GPS и ГЛОНАСС (рис. 1).

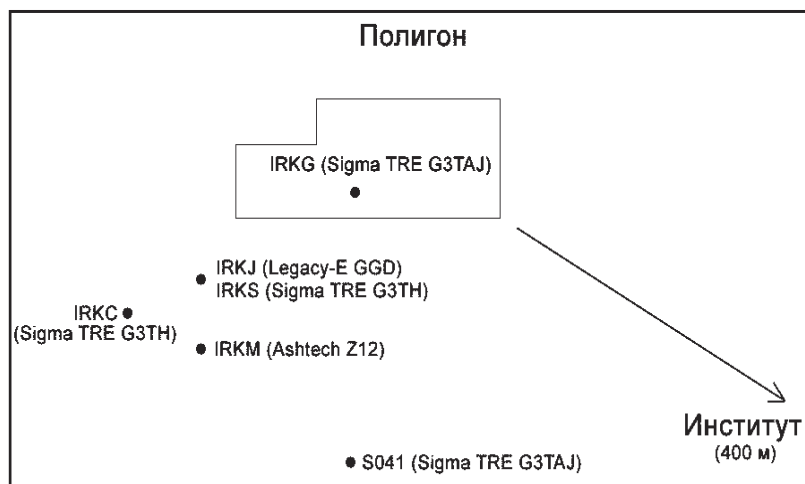


Рис. 1. Расположение института и астрогеодинамического полигона с пунктами спутниковых измерений

Все приемники подключены к внешнему опорному источнику частоты 5 МГц — водородному генератору, который входит в состав государственного вторичного эталона единиц времени и частоты. Генератор находится в здании института. Частотный сигнал приемники получают с помощью приемо-передающей аппаратуры в виде входных и выходных буферных усилителей через кабельную линию длиной 600 м. Такая схема получения сигнала влияет на качество работы приемников в части точности и стабильности определения хода часов приемников. Имея в своем распоряжении программный комплекс BERNESSE [1], в Восточно-Сибирском филиале ФГУП «ВНИИФТРИ» нашли возможность его применения как основы контроля качества прошедшего по длинной кабельной линии сигнала опорной частоты, а также временной шкалы GPS/ГЛОНАСС-приемников.

В оперативном режиме постобработки суточных файлов данных обрабатываются кодовые спутниковые измерения методом нулевых разностей с использованием свободной от влияния ионосферы линейной комбинации частот L3, а также учетом тропосферных задержек. Выполняется определение и учет поправок хода часов приемников по отношению к системному времени GPS, вычисление показаний часов

приемников и спутников в виде файлов стандартного формата RINEX с дискретом таким же, как измерения — 30 с. В дальнейшем для исследования информация преобразуется и представляется в графическом виде с помощью разработанных скриптов [2]. Типичный графический вид хода часов при обработке с помощью пакета BERNESE 5.0 (рис. 2) показывает, что получено достаточно хорошее в пределах погрешностей совпадение с решением международной службы IGS.

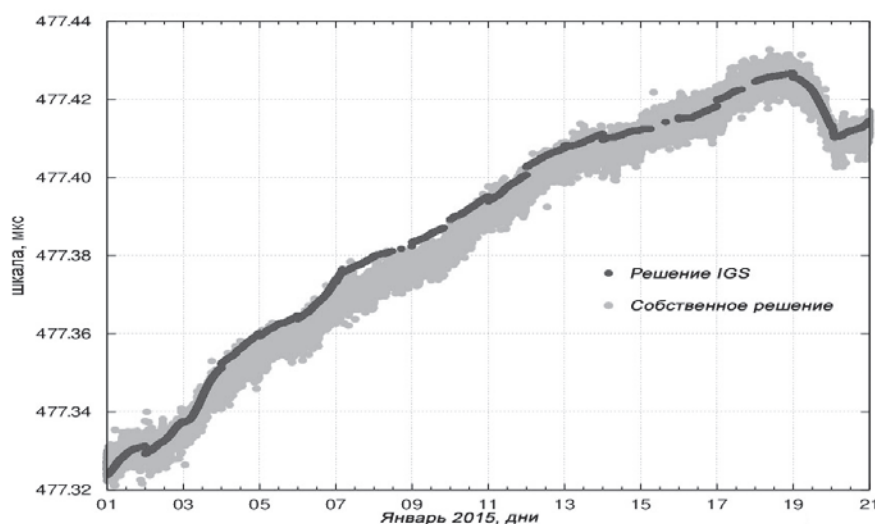


Рис. 2. Сравнение хода часов приемника IRKJ из решения IGS и собственного решения

С 2013 г. значения показаний часов приемников используются для оперативной работы по анализу качества данных спутниковых измерений. Таким способом была выявлена значительная зависимость качества работы от температуры помещения у приемника Turborogue (работал с 1995 г. по 2014 г.). Шкала приемника испытывала скачки, при этом часто терялись спутники и приемник приходилось перезагружать. После стабилизации температуры помещения на уровне 22–23 градуса прекратились скачки шкалы и потери спутников. Этот момент в конце июля явно виден на рис. 3.

В 2015 г. анализ вычислений являлся дополнительным средством для устранения недостатков в работе тракта, передающего опорную частоту. Велись работы с буферными усилителями, кабельными соединениями и заземлением. В результате стабильность сигнала улучшилась и шкалы приемников в настоящее время в основном

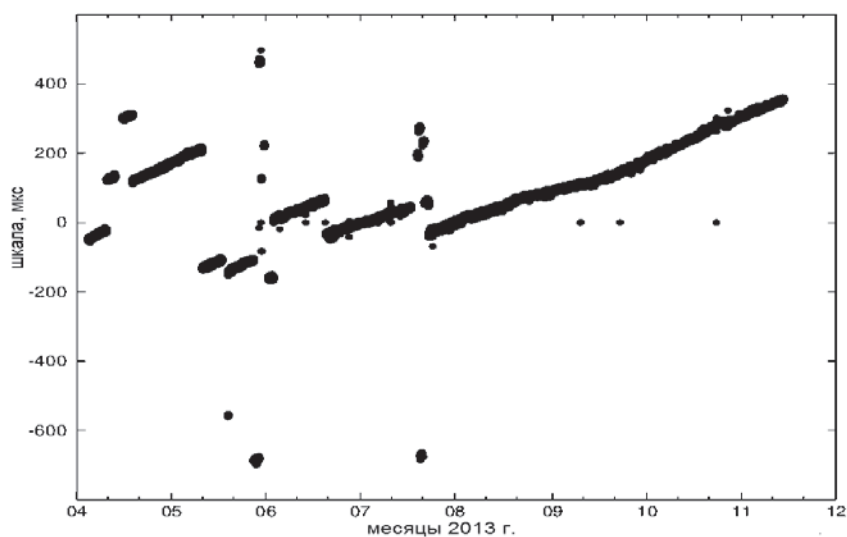


Рис. 3. Шкала приемника Turborogue в 2013 году

непрерывны, без скачков и сбоев. На рис. 4 показано поведение шкалы приемника LEGACY за 2015–2016 годы. В 2015 г. наблюдались множественные не связанные с работой опорного генератора самопроизвольные скачки у всех приемников, которые часто приводили к потере спутников. Приемник Ashtech на пункте IRKM при этом переходил на внутреннюю шкалу. После проведенных работ по улучшению качества частотного сигнала скачки прекратились у всех приемников, стабилизировалось поведение постоянно измеряемых разностей шкал

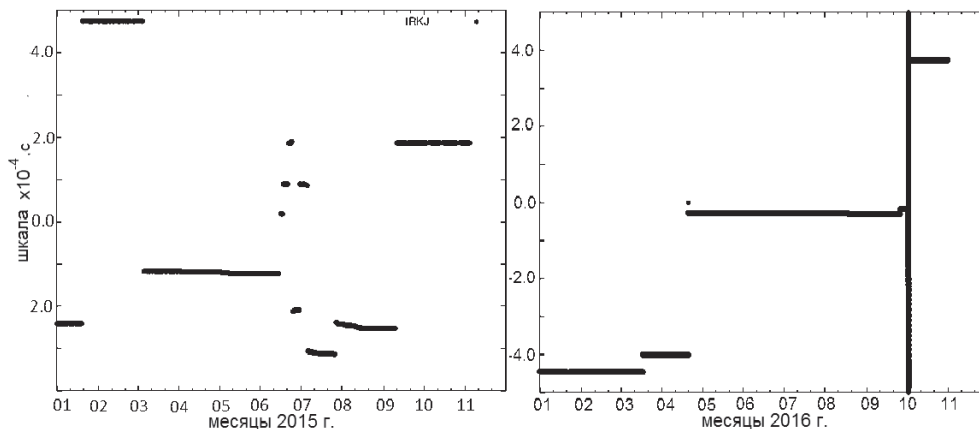


Рис. 4. Поведение шкалы приемника JAVAD (пункт IRKJ)

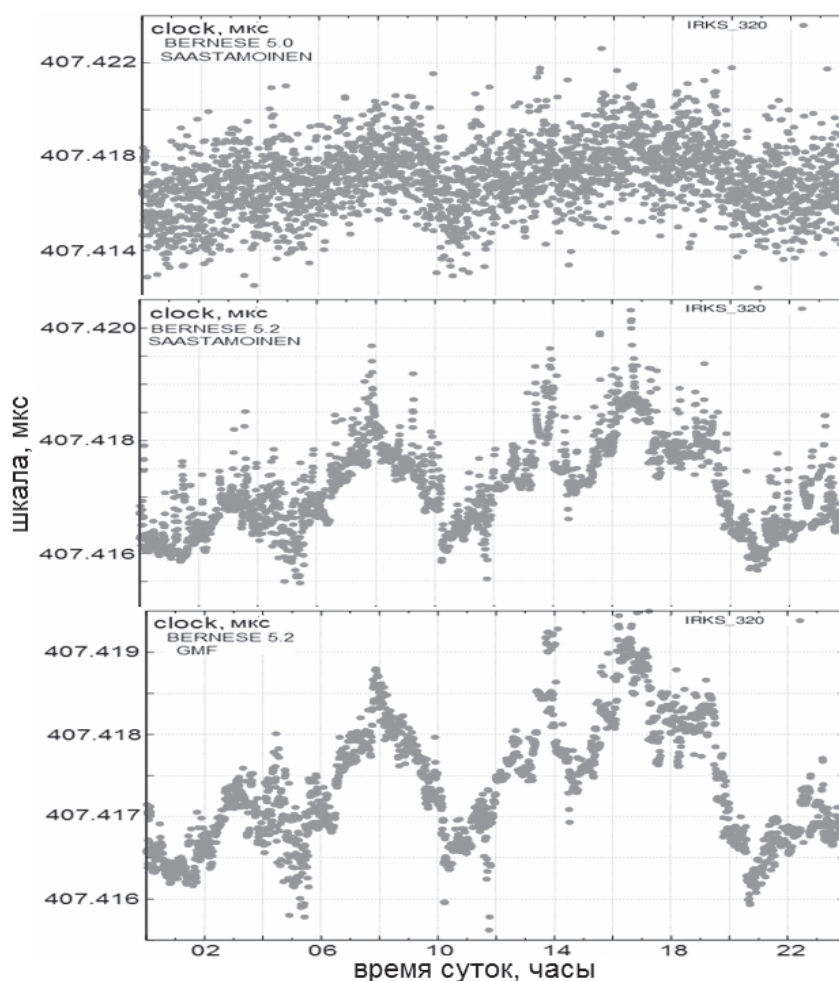


Рис. 5. Результаты вычислений шкалы приемника Sigma 107 (пункт IRKS) за 17 ноября 2016 г.

водородного стандарта и приемников Legacy-E и Sigma-107. Все скачки с конца 2015 г. связаны с нарушениями стабильности в работе или заменой водородного генератора, что говорит об отсутствии помех в тракте для качественного сигнала.

При обработке программным пакетом BERNESE 5.0 обычный разброс данных составляет 5–10 нс. После перехода на версию 5.2 без изменения модели тропосферных задержек значительно улучшилась точность определений часов приемников по внешней сходимости. Стали видны суточные колебания. Версия 5.2 отличается от 5.0 алгоритмом уточнения в вычислениях орбит спутников, а также улучше-

нием в программах обработки ГЛОНАСС-измерений и разрешении неоднозначностей. Затем вместо простой модели для учета тропосферы, которая зависит только от координат пункта (опция SAASTAMOINEN), была применена так называемая модель Global Mapping Function(GMF), учитывающая номер дня года. При изменении тропосферной модели (опция SAASTAMOINEN изменяется на опцию GMF) разброс результатов вычислений стал еще меньше и составил 0.5–1.0 нс. Оперативные вычисления по версии 5.2 в 2017 г. и переобработка данных измерений 2016 года показали колебания в показаниях часов на суточном интервале, которые не проявлялись в версии 5.0. Явно стали видны общие для одного определенного типа приемников изменения и отличия для приемников разного типа. На рис. 5 можно сравнить результаты вычислений шкалы приемника Sigma 107 (пункт IRKS) за 17 ноября 2016 г. разными вариантами программы. BERNESE – 5.0 и 5.2, с изменением способа вычисления тропосферных задержек (опции SAASTAMOINEN и GMF).

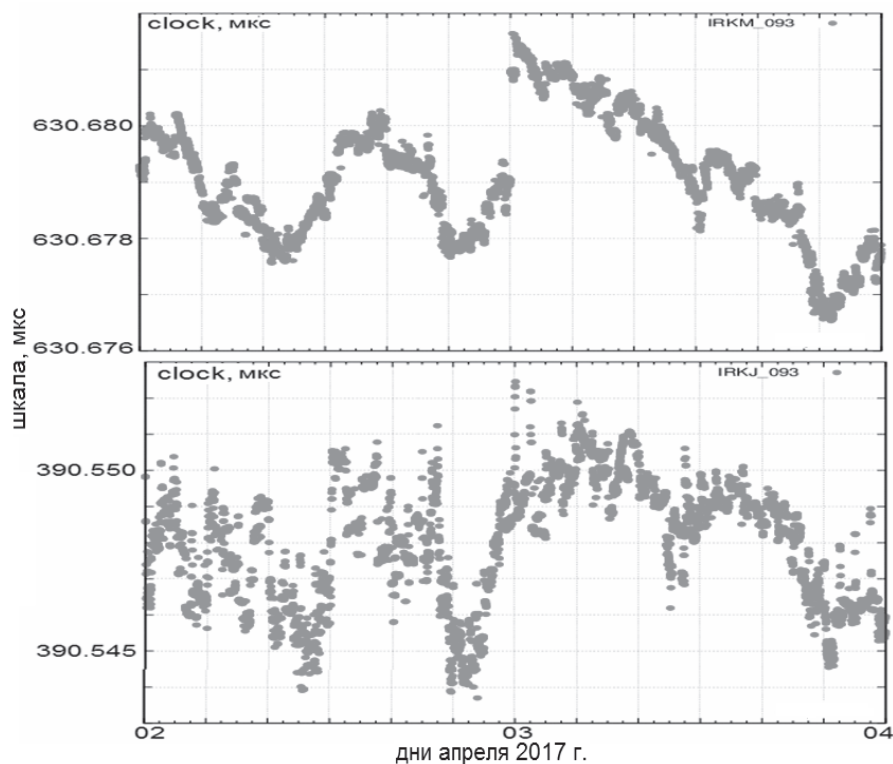


Рис. 6. Результаты вычислений шкал приемников Ashtech и LEGACY (BERNESE 5.2)

На рис. 6 представлены результаты вычислений шкал приемников Ashtech и LEGACY программным пакетом BERNESE версии 5.2 за двое суток с использованием тропосферной модели GMF. Видны общие черты и различия в поведении шкал (суточный скачок, разный разброс по внешней сходимости). Разброс результатов составил 1 нс для приемника Ashtech на пункте IRKM, 2–3 нс — LEGACY на пункте IRKJ.

Учет постоянно измеряемых разностей шкал водородного стандарта и внутренних шкал приемников Legacy-E и Sigma-107, более тщательное изучение зависимости от температуры помещения могут помочь выявить причины колебаний показаний часов.

Таким образом, вычисление показаний часов приемников спутниковых сигналов по результатам кодовых измерений на основе программного комплекса BERNESE 5.2 позволяет видеть подробную картину поведения их временных шкал. На этой основе получена возможность отслеживать в оперативном режиме нестандартные ситуации в работе аппаратуры. Поиск, установление и устранение причин сбоев помогает улучшать качество спутниковых измерений Восточно-Сибирском филиале ФГУП «ВНИИФТРИ».

#### **Литература**

1. Rolf Dach, Simon Lutz, Peter Walser, Pierre Fridez. Bernese GNSS Software Version 5.2 // Astronomical Institute, University of Bern. — 2015.

2. Гладкевич Е. П., Емельянов В. А., Модестова Г. И. Анализ хода часов приемников GNSS как инструмент оперативного контроля работы аппаратно-программного комплекса приема и обработки спутниковых сигналов // Материалы VIII Международного симпозиума «Метрология времени и пространства — 14–16 сентября 2016. — С. 236–240.

### **Operational Monitoring of the GNSS Receiver Clock Parameters in the East-Siberian Branch of the VNIIFTRI**

**E. P. Gladkevich, G. I. Modestova**

The software BERNESE is used as a quality control for the reference frequency and time scale of the GPS/GLONASS receivers. The BERNESE has been modified and upgraded to work in the online mode. Operational results of its calculations have been used since 2013 to analyze the data quality of satellite measurements. They are an additional tool to address the shortcomings in the work of the tract which transmits reference frequencies. We have put into operation the version 5.2 of the BERNESE with the tropospheric model adjusted. The 2016 measurement data have been re-

processed and calculation results analysed. A conclusion is made about improvements in the quality of satellite measurements in the East-Siberian branch of the VNIIFTRI as a result of the work done.

**Keywords:** reference frequency, satellite measurements, GPS/GLONASS receivers, the time scales.