

Второе событие — открытие памятной доски в честь Марка Борисовича Кауфмана на одном из этажей ГМЦ ГСВЧ, рядом с комнатой, в которой в течение многих лет проработал М.Б. Кауфман и в которой продолжают трудиться его соратники, ученики.

УДК 521.3, 521.92

МЕТОД КАУФМАНА СОВМЕСТНОЙ ОБРАБОТКИ ДАНЫХ О ПВЗ

С.Л. Пасынок

ФГУП «ВНИИФТРИ», Менделеево, Московская обл.
pasynok@vniiftri.ru

14 февраля 2018 года вся метрологическая общественность отмечала восьмидесятилетие со дня рождения Кауфмана Марка Борисовича — талантливого исследователя в области определения параметров вращения Земли различными методами космической геодезии (астрооптическим, методами радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами и спутниковой лазерной дальнометрии, а также по результатам приёма сигналов глобальных навигационных спутниковых систем), автора алгоритмов и программ комбинированной обработки, одного из основоположников отечественной Службы времени, проработавшего во ФГУП «ВНИИФТРИ» с 1965 по 2014 г. Метод совместной обработки данных о ПВЗ, разработанный М.Б. Кауфманом в 2006 году, и по сей день используется в работе ГСВЧ.

On February 14, 2018 all metrological public celebrated the eightieth anniversary since the birth of Kaufman Mark Borisovich — the talented researcher in the field of Earth's orientation parameters (EOP) evaluation by various methods of space geodesy (astrooptical, very long baseline interferometry, satellite laser ranging and also by results of detection of the global navigation satellite systems signals), the author of algorithms and programs of the combined processing, one of founders of a National Time and EOP service who worked in FSUE "VNIIFTRI" from 1965 to 2014. The method of combined data processing for EOP evaluation was developed by M.B. Kaufman in 2006 and it is used in work of SSTF till now.

Ключевые слова: ГСВЧ, параметры вращения Земли, движение земного полюса, движение небесного полюса, прецессия, нутация, всемирное время

Key words: SSTF, EOP, terrestrial pole motion, celestial pole motion, precession, nutation, universal time.

1. Введение

Работы по определению параметров вращения Земли являются неотъемлемой частью деятельности ГСВЧ. Вместе с Государственным эталоном времени и частоты они составляют метрологическую основу координатно-временного обеспечения страны. Направление определения ПВЗ — одно из ведущих в исследовательской деятельности Главного метрологического

центра ГСВЧ. Ярким представителем этого направления является Марк Борисович Кауфман, двадцать семь лет проработавший в лаборатории определения ПВЗ и возглавлявший её в течение целого ряда лет.



Рис. 1. Марк Борисович Кауфман

2.1. Основные этапы жизненного пути

Марк Борисович Кауфман — кандидат физико-математических наук, один из основоположников Российской службы определения параметров вращения Земли. Марк Борисович Кауфман родился в г. Москва 14 февраля 1938 года. В 1962 г. он окончил Московский институт инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии. Свою рабочую деятельность Марк Борисович начал ещё в студенческие годы на Московском аэрогеодезическом предприятии, на котором и продолжал работать после окончания института до поступления на работу в ФГУП «ВНИИФТРИ».

С 1965 по 2014 год (49 лет) Марк Борисович проработал во ВНИИФТРИ: сначала в лаборатории астрономического времени в должностях младшего, затем старшего научного сотрудника; с 1987 г. — в лаборатории определения параметров вращения Земли (ОПВЗ) старшим научным сотрудником, начальником лаборатории, ведущим научным сотрудником.

Марк Борисович Кауфман вёл научную и практическую работу по астрономическим наблюдениям с целью определений всемирного времени и координат полюса. Он начал свою рабочую деятельность с проведения астрономических наблюдений. Астрооптические павильоны ФГУП «ВНИИФТРИ» в 1975 г. и астроябля Данжона производства OPL (Франция), с помощью которой производились наблюдения, показаны на рис. 2.



Рис. 2. Астрооптические павильоны ФГУП «ВНИИФТРИ» в 1975 г. (слева) и астролябия Данжона производства OPL (Франция) (справа)

Он участвовал в разработке вероятностно-статистического метода вычислений параметров вращения Земли по данным наблюдений обсерваторий Государственной службы времени и частоты (1977), алгоритмов и программ комбинированной обработки астрономических, спутниковых и радиоинтерферометрических измерений с целью оперативного определения параметров вращения Земли; занимался исследованиями теоретических и практических вопросов применения средств космических навигационных систем для решения задач ГСВЧ.

Марк Борисович не только вёл работу лаборатории определения параметров вращения Земли, но и представлял отечественную службу ПВЗ за рубежом, неизменно участвуя в отечественных и зарубежных конференциях и в средствах массовой информации. На рисунке 3 даны снимки из передачи «Сегодня утром» на телеканале НТВ (2007 г.), на которых Марк Борисович Кауфман отвечает на вопросы телеведущей о календаре, введении дополнительной секунды и вращении Земли. На рисунке 4 изображён Марк Борисович Кауфман в составе участников рабочей группы по использованию Vernese 5.0 (Швейцария, г. Берн, Астрономический институт Бернского университета, 2006 г.). На рисунке 5 Марк Борисович изображён в составе участников заседания Рабочей группы Международной службы вращения Земли и опорных систем (IERS) по определению и прогнозированию параметров вращения Земли (ПВЗ) (Польша, г. Варшава, Центр космических исследований Польской академии наук, 2009 г.).

Следует заметить, что Марк Борисович, хотя и не оформил диссертацию на соискание учёной степени доктора наук, обладал поистине академическими познаниями и опытом. Это позволяло ему вести множество научно-

исследовательских и опытно-конструкторских работ по целому ряду направлений.



Рис. 3. Марк Борисович Кауфман отвечает на вопросы телеведущей в передаче «Сегодня утром» на телеканале НТВ (2007 г.)



Рис. 4. Марк Борисович Кауфман в составе участников рабочей группы по использованию Betnese 5.0 (Швейцария, г. Берн, Астрономический институт Бернского университета, 2006 г.). Марк Борисович в первом ряду, четвёртый справа

Марк Борисович был горячим энтузиастом своего дела и активным сторонником внедрения новых средств измерений и методов обработки измерительных данных. При его активном участии было начато в 1987 году использование отечественных данных радиоконтроля орбит (РКО) спутников космической навигационной системы (КНС) ГЛОНАСС для определения ПВЗ в ГСВЧ [1] и данных доплеровских измерений сигналов геодезического спутника ГЕО-ИК, выполнявшихся с 10–15 пунктов на территории нашей страны [2]. Под его началом была внедрена и модифицирована во ВНИИФТРИ в 1997 г. и затем в 2000 г. программа обработки лазерных измерений ITALAS [3], разработанная по заказу ГМЦ ГСВЧ И.С. Гаязовым в Институте теоретической астрономии РАН.



Рис. 5. Марк Борисович Кауфман в составе участников заседания Рабочей группы Международной службы вращения Земли (IERS) по определению и прогнозированию параметров вращения Земли (ПВЗ) (Польша, г. Варшава, Центр космических исследований Польской академии наук, 2009 г.). Марк Борисович возле колонны справа сверху

По его инициативе был закуплен и внедрен в ФГУП «ВНИИФТРИ» программный комплекс BERNESSE4.2 для обработки ГНСС измерений, разработанный в астрономическом институте Бернского университета [4], впоследствии обновлённый до версий 5.0 и 5.2. По сути ПК BERNESSE не является программой в обычном понимании, а является библиотекой программ, которые исследователь может использовать для решения своей частной задачи, написав отдельную управляющую программу, которая готовит нужные входные данные и параметры для отдельных подпрограмм и запускает их на выполнение в порядке, необходимом для реализации заданного алгоритма. Марк Борисович разработал алгоритм для ежесуточного определения ПВЗ по данным GPS и написал программу, которая обеспечивает выполнение его алгоритма в оперативном неинтерактивном (т.е. без участия оператора) режиме.

При всех достоинствах спутниковых методов определений ПВЗ их основной недостаток состоит в принципиальной невозможности абсолютных определений всемирного времени UT1. Метод радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой (РСДБ) позволяет определять полный набор параметров вращения Земли. Марк Борисович модернизировал для целей оперативной службы ПВЗ и внедрил в ежесуточную работу в ГМЦ ГСВЧ [5] программный комплекс VieVS, разработанный в Институте геодезии и геофизики Технологического университета города Вены (Австрия). На рисунке 6 изображена работа программы в интерактивном режиме.

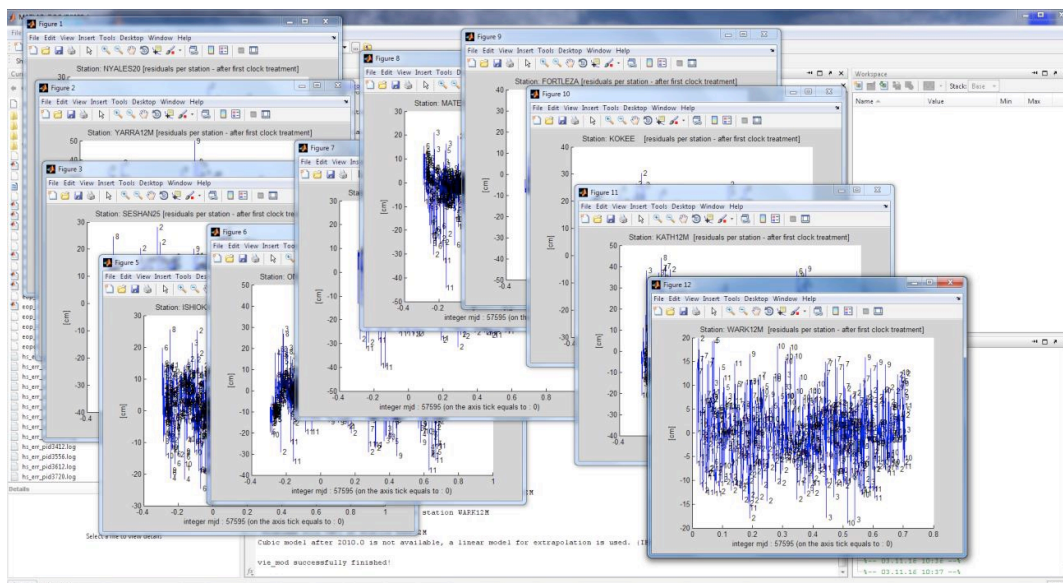


Рис. 6. Определение ПВЗ по данным РСДБ в ГМЦ ГСВЧ с помощью модернизированной М.Б. Кауфманом программы VieVs в интерактивном режиме

Марк Борисович также разработал первый вариант программы определения эфемеридно-временной информации космических аппаратов ГЛОНАСС.

Также много времени и сил Марк Борисович отдавал наставнической работе. Через его наставничество прошли почти все сотрудники сегодняшнего состава отдела, а также некоторые из сегодняшних сотрудников ГМЦ ГСВЧ. Марк Борисович тщательно подбирал состав своей лаборатории. Почти всех сегодняшних сотрудников нашёл и привёл на работу в лабораторию именно он.

Марк Борисович был награжден медалью «Ветеран труда», знаком «За заслуги в стандартизации», Почётной грамотой Росстандарта, является автором более 70 опубликованных научных работ.

Кауфман М.Б. является соавтором фундаментального труда «Каталог звездных положений служб времени СССР» (1971). С 1990 по 2014 год он являлся ответственным редактором официального бюллетеня Госстандарта «Всемирное время и координаты полюса». Умер Марк Борисович 20 апреля 2014 года. В корпусе ГМЦ ГСВЧ возле комнаты № 417, в которой Марк Борисович работал последние годы жизни, установлена мемориальная плита его памяти (рис. 7).



Рис. 7. Мемориальная плита памяти Кауфмана Марка Борисовича, установленная возле комнаты корпуса ГМЦ ГСВЧ, в которой Марк Борисович работал последние годы жизни.

2.2. Метод совместной обработки данных о ПВЗ

Марк Борисович Кауфман разработал действующий и в настоящее время метод совместной обработки данных о ПВЗ для вычисления опорных оперативных значений ПВЗ ГМЦ ГСВЧ и внедрил его в регулярную работу ГМЦ ГСВЧ в 2006 году [6].

Этот метод был разработан с учетом все возрастающих требований к точности и оперативности выдачи текущих и прогнозируемых значений ПВЗ, возникающих сегодня, в первую очередь, в связи с задачей эфемеридно-временного обеспечения модернизируемой системы ГЛОНАСС.

Помимо существенного повышения оперативности выдачи данных, эта методика обеспечила более высокую точность ПВЗ (за счет возможности привлечения большего объема измерений), а также лучшую прогнозируемость (благодаря возможности использования самых последних измерений).

Результирующие значения ПВЗ в настоящее время образуются путем комбинирования 9 независимых рядов, формируемых в ЦОАД Росстандарта (ГМЦ ГСВЧ), РАН (ИПА РАН) и Роскосмоса (СВОЭВП, ЦУП ЦНИИМАШ и ИАЦ ЦНИИМАШ).

Как показывает анализ и многолетний опыт, среди указанных рядов наиболее устойчивыми в систематическом отношении являются ряды РСДБ и GPS, и именно среднее из их сглаженных значений, вычисляемых в ГМЦ ГСВЧ, принято в качестве российской опорной системы ПВЗ. Для остальных рядов вычисляются систематические поправки путем экспоненциально-сглаживания отклонений ПВЗ от опорных значений. После учета этих поправок образуются средние из значений ПВЗ каждого ряда с весами, принятыми на основании оценки точности за предшествующий календарный год.

Согласно принятой методике, предусмотрены следующие основные этапы совместной обработки:

- исключение систематических погрешностей индивидуальных рядов ПВЗ;
- образование средневзвешенных значений ПВЗ;
- прогнозирование;
- анализ результатов и оценка точности;
- формирование бюллетеней с выходными данными.

Вычисления ПВЗ на всех этапах производятся по отдельности для каждого из параметров — всемирного времени и координат полюса. Полученные значения ПВЗ относятся к 0 час. UT каждых суток.

Вычисления по принятой методике ведутся тремя циклами:

- ежедневно определяются оперативные значения ПВЗ на истекшие сутки и прогноз на следующие 30 суток;
- еженедельно (каждый четверг) перерабатываются накопленные измерения за истекшую календарную неделю, уточняются систематические погрешности используемых независимых рядов и вычисляются срочные значения ПВЗ;
- спустя 5 недель после завершения очередного календарного месяца перерабатываются все накопленные за этот месяц измерения и вычисляются окончательные значения ПВЗ.

Такой режим вычислений позволяет быстро, хотя и с ограниченной точностью, получать текущие значения и прогноз ПВЗ, а затем уточнять их по мере поступления новых данных измерений. Так, при вычислении оперативных и срочных значений ПВЗ используется ограниченный набор наблюдений, доступных на момент обработки.

Вычисления ПВЗ на всех этапах производятся по отдельности для каждого из параметров — всемирного времени и координат полюса. Они проводятся утром каждые сутки с таким расчетом, чтобы отправить потребителям информацию о ПВЗ по автоматизированному каналу связи до 10 часов утра по Московскому времени. Полученные опорные значения ПВЗ относятся к 0 часам UT каждых суток.

В результате вычислений по этой методике формируются следующие виды информации об оперативных официальных значениях ПВЗ:

- бюллетени Q формируются ежедневно и содержат оперативные значения ПВЗ на истекшие сутки и прогноз на следующие 30 суток;
- первая часть бюллетеня А формируется еженедельно (каждый четверг) и содержит срочные значения ПВЗ за истекшую неделю ГСВЧ и прогноз на следующие 7 недель с недельным шагом. При этом перерабатывают-

ся накопленные измерения за истекшую календарную неделю и уточняются систематические погрешности используемых независимых рядов; – информационное сообщение ДТ по мере необходимости.

На всех этапах вычислений производится оценка точности ПВЗ. Ежедневно одновременно с определением ПВЗ оценивается их точность и результаты выводятся в специальных рабочих бюллетенях R. Они содержат результаты оценки точности по внутренней сходимости.

Каждое утро, в том числе в праздничные и выходные дни, оператор (до отправки данных о ПВЗ потребителям) осуществляет графический просмотр результатов определения ПВЗ, который в случае необходимости может быть уточнен с помощью данных бюллетеня R.

Этот метод совместной обработки измерений и по сей день используется в ГМЦ ГСВЧ для определения оперативных данных о ПВЗ.

Заключение

Сегодня работа, фундамент которой заложили Д.Ю. Белоцерковский [7] и М.Б. Кауфман, продолжается [8]. Работы, проводимые в ГМЦ ГСВЧ, в части обработки и анализа данных измерений для целей определения ПВЗ находятся на высоком научно-техническом уровне. Проводится совершенствование средств ГМЦ ГСВЧ для целей повышения точности и оперативности определения и прогнозирования ПВЗ. ГСВЧ продолжает обеспечивать потребности страны в узаконенной информации о ПВЗ согласно требованиям Постановления Правительства РФ № 225 «Об утверждении Положения о Государственной службе времени, частоты и определения параметров вращения Земли».

Литература

1. Быханов Е.В., Кауфман М.Б. Вычисление параметров вращения Земли в ГСВЧ с использованием данных навигационной системы ГЛОНАСС. Исследования в области измерений времени и частоты: сборн. научн. трудов ВНИИФТРИ. — М.: ВНИИФТРИ, 1989.
2. Бойков В.В., Каплан Б.Л., Максимов В.Г. Определение ПВЗ по наблюдениям геодезического спутника ГЕО-ИК. Всемирное время и координаты полюса. — М.: Госстандарт СССР, 1991. — бюл. Е-65.
3. Gayazov I.S., Kaufman M.B. Analysys of the weekly ERP calculations on the basis of SLR data. *Annales Geophysicae*. EGS, Suppl. 1 to the vol. 14, p. 1, 1996.
4. Bernese GPS Software. Version 4.2. // Univ. of Bern. — 2001.
5. Кауфман М.Б., Пасынок С.Л. Оперативные вычисления параметров вращения Земли по данным РСДБ с помощью программы VieVS, труды

-
- ИПА РАН, вып. 23 (Материалы 4-й Всероссийской конференции «Фундаментальное и прикладное координатно-временное и навигационное обеспечение» (КВНО-2011), 10–14 октября 2011 г., С.-Петербург, ИПА РАН). — СПб.: Наука, 2012. — ISBN 978-5-02-038188-9. — С. 361–363.
6. Кауфман М.Б. Точные методы измерения параметров вращения Земли в интересах навигационно-временных определений. Точные измерения для высоких технологий. — Менделеево: ВНИИФТРИ, 2008. — С. 80–118.
 7. Основоположники метрологических направлений, Давид Юльевич Белоцерковский // Альманах современной метрологии. — 2016. — № 7. — С. 189–192. — ISSN 2313–8068.
 8. Блинов И.Ю., Пасынок С.Л., Безменов И.В., Игнатенко И.Ю., Цыба Е.Н., Вострухов Н.А., Редькина Н.П., Синёв А.Н., Сысак Е.В., Чинилина М.А., Шлегель В.Р., Жестков А.Г. Деятельность ГМЦ ГСВЧ по определению параметров вращения Земли в 2017 году // Альманах современной метрологии. — 2018. — № 13. — С. 9-61. — ISSN 2313-8068.