

Юбилей Центра контроля космического пространства.

Комментарии

А.И. Назаренко, д.т.н., профессор, пенсионер

Аннотация

Автор является одним из участников создания в 1970г уникального «завода» по обработке орбитальной информации - Российского Центра контроля космического пространства (ЦККП), разработанного по инициативе Министерства обороны. Все последующие годы до выхода на пенсию в 2017 г. занимался решением актуальных задач космической баллистики. В связи с публикацией материалов о 55-лети ЦККП и с учетом накопленного опыта возникла потребность проанализировать развитие Центра, выявить актуальные проблемы и сделать соответствующие рекомендации.

Оглавление

I	<u>Введение. Новости</u>
II	<u>Мои комментарии</u>
	1 Этапы создания ЦККП
	2 Данные о точности каталога
	2а) <u>Контроль падения спутников</u>
	2б) <u>Опасные сближения</u>
	3 Данные о числе объектов в Главном каталоге.
	4 Сложившаяся ситуация. Перспективы
	5 Актуальные задачи по развитию СККП
	<u>Литература</u>

Юбилей Центра контроля космического пространства. Комментарии

А.И. Назаренко, д.т.н., профессор, пенсионер

I. Введение. Новости [1]

09:45 | 10 марта 2020 года, вторник

Центр контроля космического пространства космических войск ВКС отметил 55-летний юбилей

ЦАМТО, 10 марта. В подмосковном Дуброве 6 марта прошли торжественные мероприятия, посвященные 55-летию юбилею Центра контроля космического пространства (ЦККП).

В них приняли участие представители командования 15-й армии ВКС (особого назначения), ветераны, стоявшие у истоков создания и развития ЦККП, военнослужащие и гражданский персонал центра.

Личный состав и ветеранов ЦККП с 55-летним юбилеем поздравил командующий 15-й армии ВКС (особого назначения) генерал-лейтенант Андрей Вышинский. Он отметил, что "совершенствование и развитие техники и вооружения ЦККП, трудолюбие, самоотверженность и высокий профессионализм многих поколений военнослужащих и гражданских специалистов уникального технического комплекса ЦККП позволяют успешно выполнять сложнейшие задачи по обеспечению военной безопасности России в космической сфере".

ЦККП был создан решением Правительства СССР в марте 1965 года для организации информационного обеспечения безопасности полетов отечественных космических аппаратов, контроля за деятельностью иностранных государств в космическом пространстве и обеспечению безопасности Советского Союза в космосе и из космоса.

За 55 лет специалистами ЦККП выполнены работы по обнаружению и принятию на сопровождение более 255 тыс. космических объектов, прогнозированию и контролю прекращения баллистического существования около 182 тыс. космических объектов, выдано предупреждение о 1487 опасных сближениях космических объектов с орбитальной станцией "Мир", 204 опасных сближениях с Международной космической станцией, 1628 опасных сближениях с космическими аппаратами отечественной орбитальной группировки.

В ходе несения боевого дежурства дежурные силы ЦККП провели свыше 2 тыс. особо важных работ по контролю состава и состоянию орбитальных группировок иностранных космических систем, а также проведению экспериментов на орбитах с космическими аппаратами иностранных государств.

За прошедшие годы было создано **уникальное программно-алгоритмическое обеспечение контроля космического пространства и аппаратный комплекс, позволяющие вести обработку информации в реальном масштабе времени. Его возможности по скорости и объему обработки информации за прошедшие десятилетия увеличились более чем в 40 раз.**

В настоящее время ЦККП входит в состав Главного центра разведки космической обстановки 15-й армии (особого назначения) космических войск ВКС.

В нем хранится и обрабатывается в автоматическом режиме координатная и некоординатная информация о космических объектах, предназначенная для непрерывной, постоянной и глобальной оценки космической обстановки как в мирное, так и в военное время, информационное обеспечение безопасности запусков и полетов отечественных космических аппаратов, выдача данных о космических объектах и космической обстановке потребителям информации, ведение радиотехнической разведки космического пространства.

Важнейшее направление деятельности ЦККП – ведение единой информационной базы космических объектов – **Главного каталога космических объектов** системы контроля космического пространства, предназначенного для долговременного хранения орбитальной измерительной

радиолокационной, оптической, радиотехнической и специальной информации о космических объектах искусственного происхождения на высотах от 120 км до 50 тыс. км.

В ЦККП содержится информация о 1,5 тыс. показателях характеристик каждого космического объекта (номер, орбитальные характеристики, признаки, координаты и др.), находящегося на сопровождении ЦККП. Ежесуточно для поддержания Главного каталога космических объектов системы контроля космического пространства обрабатывается более **60 тыс.** измерений.

Для информационного обеспечения безопасности космической деятельности России в околоземном пространстве специалисты ЦККП проводят непрерывный контроль наличия **опасных сближений** космических объектов с космическими аппаратами российской орбитальной группировки. Так, в 2019 году центром осуществлено предупреждение о **19 опасных сближениях** космических объектов с российскими космическими аппаратами.

Кроме того, специалисты ЦККП осуществляют непрерывный мониторинг изменений параметров движения космических объектов, осуществляющих **неконтролируемое схождение с орбиты** на земную поверхность. На командный пункт центра регулярно поступает полная и достоверная информация от специализированных радиотехнических, оптико-электронных, лазерно-оптических средств российской системы контроля космического пространства, анализ которой, позволяет рассчитать прогноз предполагаемой даты и района падения фрагментов космических объектов, не сгоревших в плотных слоях атмосферы.

В частности, в минувшем году специалисты ЦККП спрогнозировали и осуществили контроль прекращения баллистического существования **более 200 космических объектов**, сообщает Департамент информации и массовых коммуникаций Минобороны РФ.

Ниже приведен вопрос автора к ЦНТИ «Поиск», где был опубликован приведенный выше текст:

Я. Назаренко Андрей Иванович (д.т.н., профессор, пенсионер, проработал в области космической техники более 50 лет) прочитал материалы информационного бюллетеня «Космическая деятельность стран мира», выпуск 11. Являюсь одним из участников создания ЦККП. Хочу опубликовать комментарии по поводу статьи «Центр контроля космического пространства ... отметил 55-летний юбилей». Как опубликовать комментарии? Ответ на этот вопрос я не получил.

Выдержки из текста статьи.

1. Важнейшее направление деятельности ЦККП – ведение единой информационной базы космических объектов – Главного каталога космических объектов ... искусственного происхождения на высотах от 120 км до 50 тыс. км.
2. Создано уникальное программно-алгоритмическое обеспечение контроля космического пространства и аппаратный комплекс, позволяющие вести обработку информации в реальном масштабе времени. Его возможности по скорости и объему обработки информации за прошедшие десятилетия увеличились более чем в 40 раз.
3. Ежесуточно для поддержания Главного каталога космических объектов системы контроля космического пространства обрабатывается более 60 тыс. измерений.
4. В 2019 году центром осуществлено предупреждение о **19 опасных сближениях** космических объектов с российскими космическими аппаратами.
5. В минувшем году специалисты ЦККП спрогнозировали и осуществили контроль прекращения баллистического существования более 200 космических объектов.

II. Мои комментарии.

1. Этапы создания ЦККП. Создание упомянутого программно-алгоритмического обеспечения осуществлялось в несколько этапов.

На *первом и втором этапах* роль главного конструктора ЦККП выполнял **СНИИ 45** Министерства обороны. Этот институт был создан в 1961 г. по инициативе 4ГУМО (Г.Ф. Байдуков, К.А. Трусов, М.Г. Мымрин, М.И. Ненашев). Командиром был назначен И.М. Пенчуков, его заместителем – Н.П. Бусленко. В 1962 в составе института было создано Управление контроля космического пространства. Командиром управления назначен полковник Е.М. Ошанин. Институт нес ответственность за выполнение всех этапов, начиная от аванпроекта и кончая постановкой Центра на боевое дежурство. Принципиально новая проблема, которую пришлось решать, - это разработка программно-алгоритмической системы, которая должна была обеспечить работу Центра в автоматическом режиме. Новизна данной задачи проявилась в том, что ни одна промышленная организация МОМ и МРП не взялась за ее решение. Именно поэтому МО вынуждено было взять на себя ответственность за создание ЦККП.

Нередко бывают случаи, когда большой проект начинает выполняться без необходимого обоснования его выполнимости. В результате оказывается, что выделенные средства потрачены зря. При создании ЦККП благоприятным обстоятельством было то, что инициатор проекта Н.П. Бусленко детально обсуждал возможности его создания с выдающимися специалистами по космической баллистике П.Е. Эльясбергом и М.Д. Кисликом. Важным было и то, что И.М. Пенчуков и Н.П. Бусленко очень тщательно подходили к подбору кадров. В дальнейшем на должность Н.П.Б. был назначен М.Д. Кислик, а на должность Е.М. Ошанина – А.Д. Курланов.

В результате напряженной работы большого коллектива специалистов в **1970** году ЦККП был принят в эксплуатацию и поставлен на боевое дежурство. В рекордно короткие сроки был построен «завод» по автоматической обработке больших объемов космической информации. «ЦККП - классический пример объединения науки и практики» (Ю.В. Вотинцев). Этот *первый этап* характерен тем, что он был основан на оптической измерительной информации и был реализован на одномашинном вычислительном комплексе (5Э92Б). Необходимость выполнения *второго этапа* была обусловлена ростом числа объектов в каталоге, вводом в строй радиолокационных станций и переходом на новый вычислительный комплекс (5Э51). Испытания второй очереди были успешно завершены в **1974**г.

В середине 70-х годов было принято решение передать функции генерального разработчика (конструктора) от военной организации – гражданской (**МАК «Вымпел»**). К этому времени число объектов в каталоге достигло $\approx 4\ 000$, а число ежедневно обрабатываемых измерений $\approx 10\ 000$. Задачи определения времени падения спутников и расчета возможных опасных сближений решались оперативно в автоматическом режиме.

Примечание: при подготовке изложенного ниже текста (п.1) использованы материалы сайта <http://lfvn.astronomer.ru/report/0000006/p000006.htm> [2].

На *третьем этапе* в начале 80-х годов удалось провести существенное совершенствование ЦККП: модернизацию аппаратурного и вычислительного комплексов путем ввода внешней памяти на магнитных дисках (МД) и обновления инженерного оборудования, сопряжение с радиолокационными средствами полигонов и модернизацию программно-алгоритмической системы. В 1979 году были успешно проведены межведомственные испытания ЦККП. В 1981 году были проведены приемочные испытания модернизированной системы боевых алгоритмов и программ ЦККП. В **1983** году после приемочных испытаний ЦККП были введены в боевую эксплуатацию. В это время число объектов в каталоге достигло **6 000**.

На следующем *четвертом* этапе в **1989-1990**гг были проведены межведомственные испытания КП ПКО и ККП 1 этапа развития с вычислительным комплексом на базе ЭВМ "Эльбрус-1". Испытания показали значительный рост возможностей по контролю космического пространства. Повышенные и вновь определенные характеристики ККП были внесены в формуляр КП ПКО и ККП. К этому времени ЦККП сопровождал уже **≈8 000** КО, в том числе высокоэллиптические и стационарные КО на высотах до 40000 км.

Перспективы развития СККП были определены в конце 80-х - начале 90-х годов прошлого столетия в Комплексном эскизном проекте. Известные события начала 90-х гг. внесли свои коррективы в намеченные планы - развитие СККП испытало **период стагнации**. Тем не менее, начиная с 2000 года темпы исследований и работ повысились.

На КП ПКО и ККП проведен монтаж и предварительные (конструкторские) испытания Локальной вычислительной сети (ЛВС), предназначенной в процессе ее дальнейшего развития для замены многопроцессорного вычислительного комплекса на базе ЭВМ "Эльбрус-2". В состав ЛВС входят высокопроизводительный сервер "Эльбрус-90 микро", автоматизированные рабочие места операторов и командования КП, построенные на базе высокопроизводительных персональных ЭВМ и сопряженные с большим экраном и средствами оповещения и передачи информации.

Таким образом, выполнение *пятого* этапа развития КП ПКО и ККП затянулось **на 30 лет** и еще не закончилось. Упомянутое выше увеличение в 40 раз скорости обработки и объема информации является результатом перехода на новый вычислительный комплекс, что позволило увеличить также и количество обрабатываемых измерений.

2. Данные о точности каталога. Упомянутые выше задачи по определению опасных сближений и по контролю времени прекращения баллистического существования космических объектов, а также по оповещению заинтересованных организаций о пролетах иностранных ИСЗ-разведчиков решались и на вычислительном комплексе *второй* очереди развития ЦККП (1974г). Для оценки качества решения этих задач на новом вычислительном комплексе необходимы данные о точности их решения. Однако эти сведения в открытых публикациях **отсутствуют**.

2а) Контроль падения спутников. Автор имеет большой опыт определения времени существования спутников [3, 4, 5]. Возможность оценки текущей точности решения этой задачи в ЦККП основана на результатах собственных расчетов и на опубликованных данных соответствующих международных кампаний (в которых принимали участие и представители России). Благоприятные условия для проведения такого анализа были обусловлены организацией в начале 2018 г. международной тестовой кампании по определению времени и места падения КА Tiangong-1, которую организовал Inter Agency Debris Comity (IADC). В этой кампании участвовали представители 11-ти космических агентств (в том числе и от России). Предварительные материалы обсуждались на 4th International Space Debris Re-entry Workshop (ESA/ESOC, Darmstadt, Germany, 28 February – 1 March 2018), а итоги кампании были подведены на 36th IADC Plenary Meeting (Tsukuba, Japan, 5 – 8 June, 2018) [6].

Методика решения рассматриваемой задачи основана на интегрировании уравнений движения при известных начальных условиях (НУ), состоящих из 6-ти мерного вектора состояния и оценки параметра торможения. Особенностью решения рассматриваемой задачи является чувствительность результатов к точности исходной характеристики торможения (например, значения баллистического коэффициента Sb). Дело в том, что время существования спутников обратно пропорционально характеристике торможения $t_{life} \approx C/Sb$, где C – некоторая константа. Отсюда следует важная зависимость для оценок погрешностей определения времени существования, которые пропорциональны времени существования и погрешностям оценок торможения:

$$\delta t_{life} \approx \frac{\delta Sb}{Sb} \cdot t_{life} = \varepsilon \cdot t_{life}. \quad (1)$$

Многочисленные исследования показали, что в большинстве случаев СКО относительных погрешностей ε определения характеристик торможения составляют 10 – 15%. Этот уровень погрешностей остается неизменным уже в течение последних 50 лет. Поэтому обычно СКО определения времени падения

при расчете времени существования за 1 сутки составляет обычно 2 - 3 часа. В ряде случаев погрешности могут быть и больше.

Для определения (уточнения) начальных условий (НУ) по измерениям традиционно используется метод наименьших квадратов – МНК (Least Square Technique). Этот метод разработан 200 лет назад, когда искусственных спутников еще не было. Характерной особенностью движения околоземных спутников является существенное влияние возмущающих факторов, оценка которых не поддается математическому описанию с необходимой точностью. Типичный пример такого рода возмущений – торможение в атмосфере, величина которого пропорциональна произведению реального баллистического коэффициента на плотность атмосферы. Основная трудность учета этих факторов при прогнозе заключается в их непредсказуемом изменении во времени.

Основы усовершенствованной автором методики уточнения НУ по измерениям (оптимальной фильтрации измерений, ОФИ) были опубликованы почти 50 лет назад [3]. В дальнейшем эта методика была усовершенствована [4 - 6]. Характерной особенностью развитой методики является учет статистических характеристик атмосферных возмущений на интервале обработки измерений и при прогнозировании движения, что приводит к повышению точности.

Опубликованные данные.

а) NORAD TIP_msg, сайт [7]

MSG_EPOCH	INSERT_EPOCH	DECAY_EPOCH	WINDOW	LAT	LON
2018-04-02 00:59:00	2018-04-02 01:07:44	2018-04-02 00:16:00	1	-13.6	195.7
2018-04-01 22:53:00	2018-04-01 23:03:28	2018-04-02 00:49:00	120	-8.9	341.9
2018-04-01 18:18:00	2018-04-01 18:35:42	2018-04-02 00:48:00	120	-9.9	341
2018-04-01 12:18:00	2018-04-01 12:25:23	2018-04-02 00:47:00	180	-13.6	337.1

В первой строке приведено сообщение, которое подготовлено уже **после** падения спутника (в **00^h 16^m** 2 апреля). Оно основано на каких-то дополнительных измерениях КА и, по видимому, является наиболее достоверной оценкой времени падения. Во второй строке приведена последняя прогнозная оценка (**00^h 49^m**). Возможные отклонения от этой точки (window) составляют ± 60 минут. Интервал прогноза до расчетной точки падения равен 116 минут. Если принять за эталонное значение данные первой строки, то относительная погрешность прогноза составит:

$$\varepsilon = \text{error}/\text{life time} = 0.28 = 28\%$$

б) Aerospace Corporation (сайт aerospace.org)

“Tiangong-1 is currently predicted to reenter the Earth’s atmosphere around **April 2nd, 2018 00:30 UTC ± 1.7 hours.**

This prediction was performed by The Aerospace Corporation on 2018 April 1”.

Это сообщение не содержит данных об интервале прогноза. Возможные отклонения от расчетной точки составляют ± 1.7 часа.

в) С. Pardini paper [6]

POSTING EPOCH	ORBIT EPOCH	START EPOCH	COIW EPOCH	END EPOCH
YYYY/MM/DD HH:MI:SS	YYYY/MM/DD HH:MI:SS	YYYY/MM/DD HH:MI:SS	YYYY/MM/DD HH:MI:SS	YYYY/MM/DD HH:MI:SS
2018/04/01 08:27:06	2018/04/01 06:19:00	2018/04/01 18:42:40	2018/04/02 00:01:23	2018/04/02 05:20:06
2018/04/01 14:00:49	2018/04/01 11:44:53	2018/04/01 20:50:56	2018/04/02 00:44:59	2018/04/02 04:39:00
2018/04/01 17:47:23	2018/04/01 14:39:45	2018/04/01 21:44:06	2018/04/02 00:45:57	2018/04/02 03:47:50
2018/04/01 18:45:59	2018/04/01 16:07:06	2018/04/01 22:13:26	2018/04/02 00:50:26	2018/04/02 03:27:26

Из данных таблицы следует, что при НУ за 16^h 07^m 1 апреля и возможных отклонениях от расчетной точки ± 157 минут относительная погрешность составила

$$\varepsilon = (6.6 \pm 30)\%$$

В рассматриваемой статье приведены также сведения о том, что по данным **Роскосмоса** (подготовленных по информации ЦККП) последняя оценка времени падения равна **00^h 50^m**. Это сообщение не содержало сведений об интервале прогноза.

г) Данные **автора**

Расчеты были проведены с применением двух методов: ОФИ и МНК. Для каждого из двух методов уточнения НУ рассмотрено 9 вариантов значений числа измерений n_z на мерном интервале: 6, 7, ..., 14. В таблице 1 приведены основные результаты каждого из решений задачи при различном числе измерений с учетом последнего измерения.

В таблице применены обозначения:

- \hat{S}_b , м²/кг - оценка баллистического коэффициента;
- $time$ h, m - время падения, 2 апреля 2018 г (UTC);
- $delt$ - остаточная невязка по трансверсали в момент последнего измерения, км;
- $d min$, $d max$, км - минимальное и максимальное $delt$ на мерном интервале.

Из этих результатов видно, что для обоих методов уточнения НУ увеличение числа измерений (мерного интервала) приводит к приближению прогнозного времени падения на 53 (54) минуты. Это обусловлено увеличением оценок

баллистического коэффициента (торможения в атмосфере), что иллюстрируют также данные рисунка 1.

Таблица 1. Основные результаты расчетов

n_z	ОФИ					МНК				
	\hat{S}_b	time	delt	d min	d max	\hat{S}_b	time	delt	d min	d max
6	0.00255	1:03	1.4	0.9	2.3	0.00254	1:05	0.9	-1.3	2.1
7	0.00257	1:00	0.6	-4.0	0.7	0.00253	1:03	4.3	-1.9	4.3
8	0.00261	0:51	-1.1	-14.1	-1.1	0.00255	1:18	-10.2	-10.2	2.0
9	0.00268	0:41	-0.6	-2.2	30.9	0.00261	0:31	14.5	-5.8	14.5
10	0.00272	0:22	-0.3	-2.1	58.7	0.00262	0:52	-9.7	-9.7	14.0
11	0.00277	0:20	0.3	-1.5	108	0.00268	0:29	1.1	-12.6	16.9
12	0.00279	0:17	-1.3	-3.4	173	0.00270	0:11	10.3	-11.0	15.6
13	0.00280	0:13	5.7	2.9	248	-	-	-	-	-
14	0.00282	0:10	0.4	-1.9	310	-	-	-	-	-

Sb last values, m²/kg

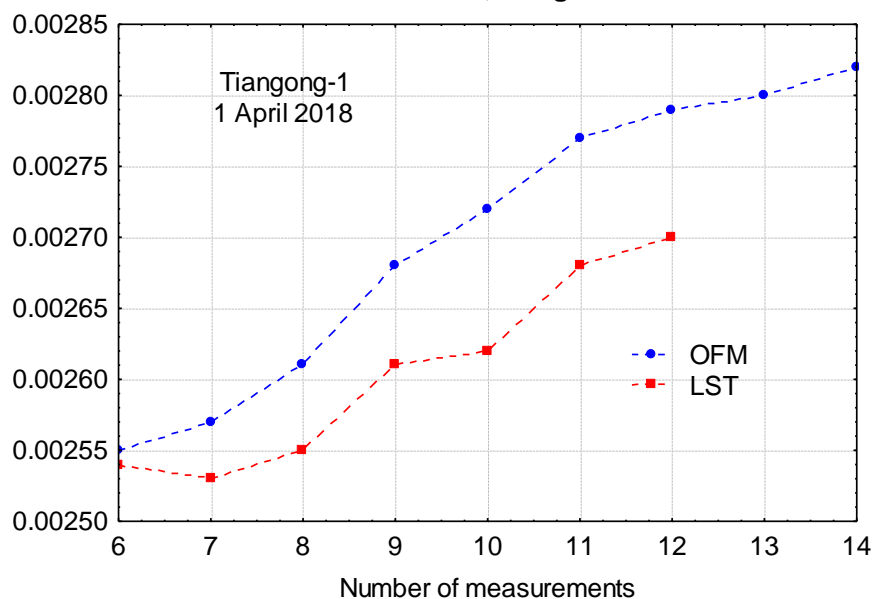


Рисунок 1. Оценки баллистического коэффициента

Здесь важно обратить внимание на то, что при больших мерных интервалах применение МНК не приводит к приемлемому решению: расчетная орбита «вписывается» в измерения со слишком большими остаточными невязками. Кроме того, в этом случае представленная на рисунке зависимость не является монотонной. При малых значениях числа измерений наблюдаются колебания оценок. Такого рода недостатки отсутствуют в результатах применения ОФИ. При увеличении мерного интервала оценки баллистического коэффициента стабилизируются, а остаточные невязки остаются на прежнем уровне (порядка 1 км).

Принципиальное отличие оценок ОФИ от МНК заключается в том, что они основаны на минимизации погрешностей в **последней** точке мерного интервала. В МНК старым и новым измерениям присваиваются одинаковые веса. Поэтому все остаточные невязки на мерном интервале имеют один и тот же порядок величины. Это положение иллюстрируют данные рисунка 2, построенного для варианта $n_z=12$.

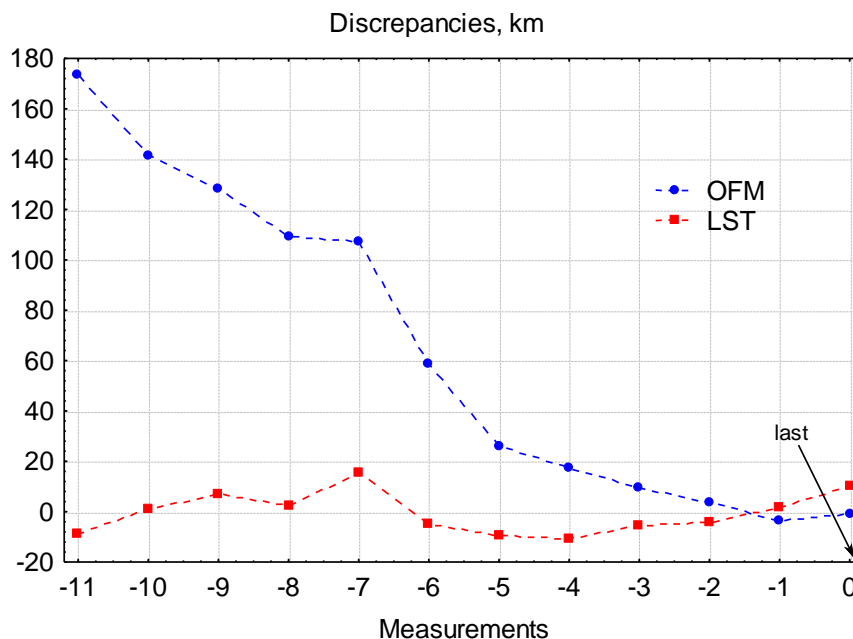


Рисунок 2. Остаточные невязки на мерном интервале при $n_z=12$

При использовании ОФИ остаточная невязка в последней точке мерного интервала составила -1.3 км, а для МНК $delt = 10.3$ км, т. е. ее величина оказалась в 8 раз больше. В таблице 1 эти оценки отмечены жирным шрифтом.

При использовании МНК минимизация погрешностей достигается для вариантов $n_z=6$ и 7, т. е. при мерных интервалах 0.45 - 0.60 суток. В таблице 2 эти варианты выделены голубым фоном. Им соответствует прогнозное время падения $\approx 1^h 4^m 2$ апреля 2018 (UTC).

При использовании ОФИ наиболее достоверные оценки времени падения получены при $n_z > 10$, когда оценки баллистического коэффициента стабилизируются. Этим вариантам соответствует прогнозное время падения в интервале от $0^h 10^m$ до $0^h 20^m$ 2 апреля 2018 (UTC). В таблице 1 эти варианты также выделены голубым фоном. Им соответствует мерный интервал 1.5 - 2.0 суток.

Таким образом, оценки времени падения с использованием МНК существенно превышают соответствующие более достоверные оценки времени падения, полученные с использованием ОФИ.

Итоговые данные приведены ниже на карте (рисунок 3). Все оценки времени падения, полученные на основе МНК, находятся в интервале времени от **00h 30m** до **00h 50m**. Они превышают апостериорную оценку **00h 16m** на 14 - 34 минут. Этот факт согласуется с данными таблицы 1 и выводом, что в рассмотренном примере оценки времени падения с использованием МНК существенно превышают соответствующие более достоверные оценки. Уровень относительных погрешностей этих оценок является традиционным.

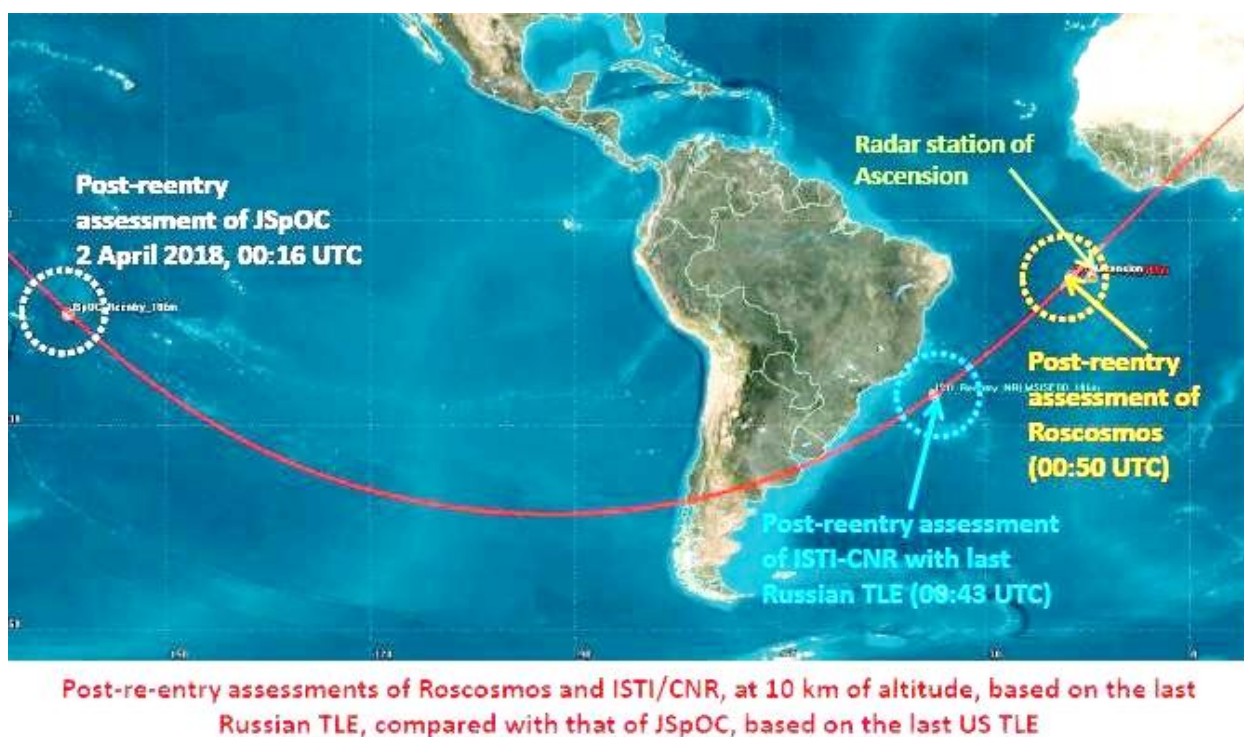


Рисунок 3. Изображение района падения на карте

Выше отмечалось, что апостериорная оценка времени падения, приведенная на сайте NORAD [7], не содержит данных о высоте КА в момент времени 00h 16m. Для устранения этой неопределенности полезно использовать фотографию падения КА, сделанную на острове Таити во Французской Полинезии и опубликованную в интернете 2 апреля 2018. Это фото приведено на рисунке 4.

На рисунке 5 приведен фрагмент карты Тихого океана с координатами острова Таити и апостериорной точки падения КА. Из этих данных следует, что в объявленный момент падения 00^h 16^m высота КА была существенной и что его снижение продолжалось еще несколько минут.



Для оценки высоты КА в момент времени 00h 16m полезно рассмотреть результаты определения и прогноза орбиты КА с использованием метода ОФИ, которые были представлены в таблице 1. При оптимальных параметрах алгоритма, которые отмечены в таблице голубым цветом, прогнозные оценки высоты составили 80 - 95 км. Аэродинамические нагрузки и нагрев элементов конструкции приводят на этих высотах к разрушению КА, что и зафиксировало фото на острове Таити. Для упомянутых выше вариантов расчета прогнозные оценки времени, когда КА пролетал объявленную апостериорную точку падения (широта -13.6° , долгота 195°), находятся в интервале времени от 00h 10m до 00h 11m. Из этих оценок следует, что временная погрешность прогноза составила 5 - 6 минут.

При использовании начальных условий в момент времени 16h 7m 1 апреля 2018 этому соответствует относительная погрешность прогноза $\varepsilon \approx 1\%$.

Таким образом, применение метода ОФИ позволило в данном случае уменьшить погрешности прогноза по сравнению с применением МНК - в несколько раз (на порядок).

Выводы.

- При прогнозировании времени падения спутников на основе применения традиционной технологии **уровень погрешностей - такой же, что был 45 лет назад**. СКО относительных погрешностей составляют 10-15%.
- **Показана возможность повышения точности решения рассматриваемой задачи на порядок** - на основе применения усовершенствованной методики уточнения параметров орбит по измерениям. Эта разработанная автором методика остается не востребованной.

2б). Опасные сближения. Проблема анализа столкновений космических объектов искусственного происхождения является относительно новой. Она стала актуальной и привлекла внимание большого числа специалистов в разных странах

только в последние годы. В настоящее время это направление находится в стадии интенсивного развития.

Все множество применяемых подходов к оценке столкновений КО можно разбить на две большие группы: детерминированные и стохастические. В ЦККП применяется детерминированный подход, т.к. известны параметры движения и размеры сближающихся космических объектов. В этом случае на основе использования алгоритмов прогнозирования движения ищется точка максимального сближения пары объектов. Если минимальное расстояние между объектами оказывается соизмеримым с их размерами, то возникает опасность столкновения. Однако, в большинстве случаев погрешности определения положения объектов в точке максимального сближения существенно больше размеров КО. Поэтому вероятность столкновения оказывается маленькой. Если она превышает величину порядка **1.0E-4 - 1.0E-5**, то возможно принятие решения о маневре КА для предотвращения возможного столкновения. Число прецедентов такого рода не превышает несколько случаев в год.

Методика расчета минимальных сближений каталогизированных КО применялась в ЦККП в конце 60-х годов. Она, в частности, использовалась в экспериментах по наблюдению КО экипажем пилотируемых орбитальных станций. Эта методика является весьма трудоемкой: требует существенных затрат машинного времени, так как связана с многократным обращением к алгоритму прогнозирования движения КО.

Наиболее типичным примером расчета вероятности столкновений на основе расчета сближений является работа [9]. Авторы назвали свой подход "прямым методом". О трудоемкости и сложности реализации прямого метода говорит следующее: поиск сближающихся в течение суток пар объектов при интервале сближения 50 с. требует "пропустить" через комплексную вычислительную процедуру 10^{11} пар КО. Для каждой пары сближающихся объектов с учетом точности элементов орбит и размеров объектов рассчитывается вероятность их столкновения. Характерной особенностью этого расчета является то, что вероятность относится только к конкретному сближению. Ниже в таблице 2 приведена полученная в указанной работе гистограмма минимальных расстояний между всеми каталогизированными КО. Видно, что сближения на дальности менее 100 м. являются относительно редкими.

Таблица 2. Число сближений за 1 день

ΔR , км	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	2.0	3.0
Число	0.75	3.0	4.6	11.9	47.7	190	426

Приведенные здесь оценки опубликованы в 1993 г. За прошедшие 27 лет уровень загрязнения ОКП увеличился. Поэтому в настоящее время опасность столкновений и трудоемкость применения «прямого метода» увеличилась многократно.

Сведения о точности решения рассматриваемой задачи в настоящее время изложены в документе [10]. Ниже представлен фрагмент текста.

Эффективной мерой защиты действующих спутников, имеющих двигательную установку, является уклонение от столкновений с каталогизированным мусором. Такие операции являются очень сложными, поскольку требуют расчета орбит всех потенциально опасных объектов на несколько дней вперед для выявления возможных столкновений. Статистические вычисления производятся на основе вероятности столкновения, определяемой ковариационной матрицей каждого объекта. При каждом сигнале опасности столкновения производится анализ потенциальной траектории налетающего объекта с учетом ретроспективных данных, что может потребовать получения конкретных измерений от определенных средств наблюдения за космическим пространством, таких как радиолокационные станции и телескопы. Некоторые информационные сообщения о сближении непосредственно поступают также из Центра совместных космических операций. В этом процессе используются существующие сети наблюдения и слежения за космосом, преимущественно принадлежащие Соединенным Штатам, а также международная Научная сеть оптических инструментов (НСОИ), национальные сети ...и такие, как Центр коммерческих космических операций компании «Аналитикал графикс, инк.» или компания «ЛеоЛэбс». Аналитические расчеты позволяют определить время, когда спутнику необходимо выполнить маневр для снижения вероятности столкновения. По примерной оценке, каждому спутнику придется раз в год уклоняться от столкновения. Основной проблемой является погрешность определения орбитальных параметров фрагментов космического мусора, которая обычно составляет **от 100 м до 1 000 м**. Этим объясняется крайне высокая доля ложных тревог — порядка **99,99 процента**. Одной из приоритетных задач на ближайшие годы является повышение на несколько порядков точности определения параметров орбит.

Указанная здесь вероятность ложных тревог соответствует приведенной выше вероятности столкновений ($1.0E-4$ - $1.0E-5$). Оценки погрешностей (от 100 до 1 000 м) также согласуются с оценками точности каталога ЦККП.

Выводы.

- При существующем уровне погрешностей прогнозирования движения спутников расчетная вероятность их столкновения оказывается очень низкой.
- Актуальной задачей является повышение на несколько порядков точности определения параметров орбит.
- Применение рассмотренной выше усовершенствованной методики уточнения параметров орбит по измерениям (метод ОФИ) позволит повысить точность предсказания столкновений не менее, чем на порядок.

3. Данные о числе объектов в Главном каталоге.

Конкретное содержание главного каталога ЦККП является секретным. Некоторые общие данные о нем изложены в документе [11]. Ниже приведена выдержка из этого документа.

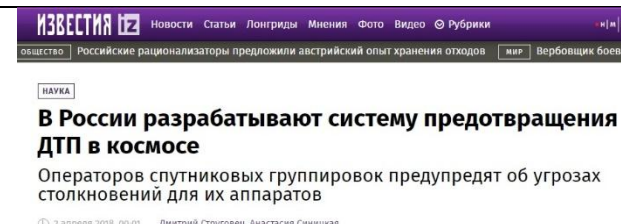
Самая крупная база спутников и иных космических объектов в России собрана в Главном каталоге космических объектов Системы контроля космического пространства, который ведется Минобороны. Как ранее сообщалось, он насчитывает свыше **18 тысяч** космических объектов. В каталоге хранятся данные об искусственных объектах на высоте от 120 до 50 тысяч километров. По каждому объекту записывается набор элементов орбит, достаточный для точного прогнозирования его движения, международный номер-идентификатор, данные о времени и месте пуска, типе объекта, назначении, массе, размере и так далее.

Оперативные сведения Американского каталога об орбитах спутников представлены на сайте [7] в форме так называемых двухрядных элементов орбит (TLE). В марте 2020 г в каталоге содержались значения TLE \approx **19 000** объектов. Таким образом, в соответствии с опубликованными данными число объектов в каталогах Росси и США является практически одинаковым. Имеющиеся отличия обусловлены рядом обстоятельств и нуждаются в пояснениях.

Одна из причин отличий вызвана различными возможностями локаторов по обнаружению (и измерению) объектов малого размера. Все дело в том, что применяются локаторы с разной длиной волны и их возможности ухудшаются по мере уменьшения размеров КО. Число измерений по ним уменьшается. Возникают случаи, когда для устойчивого поддержания каталога этих измерений становится недостаточно. Таким образом, одна из причин отличия Российского и Американского каталогов вызвана разными возможностями каталогизации объектов малого размера, число которых в ОКП увеличивается по мере уменьшения размеров.

Другая причина отличий каталогов вызвана ограниченными возможностями штатных средств ЦККП по измерению объектов на высотах, которые недоступны радиолокаторам. В момент завершения работ по второй очереди ЦККП таких объектов было мало. В настоящее время их несколько тысяч. За прошедшие годы кардинальные меры по устранению указанного недостатка со стороны заказчика предприняты не были, но нашлись люди, которые воспользовались этой ситуацией. В документе [11] об этом сказано так: «Каталог космических объектов ... ведут российские военные и отдельно гражданские специалисты из головного научного института Роскосмоса ЦНИИмаш».

2 апреля 2018 г на сайте <https://iz.ru/> появилось следующее сообщение:

<p>«...Несколько предприятий «Роскосмоса» начали разработку системы мониторинга и управления орбитальным движением. В проекте «Космический навигатор» участвуют сотрудники Центра управления полетами, компаний «Российские космические системы» и «ИСС имени Решетнева» и ряда других структур...»</p>	 <p>ИЗВЕСТИЯ Новости Статьи Лонгриды Мнения Фото Видео Рубрики</p> <p>общество Российские рационализаторы предложили австрийский опыт хранения отходов мир вербовщик боев</p> <p>НАУКА</p> <p>В России разрабатывают систему предотвращения ДТП в космосе</p> <p>Операторов спутниковых группировок предупредят об угрозах столкновений для их аппаратов</p> <p>2 апреля 2018, 00:01 Дмитрий Струговец, Анастасия Синицина</p>
---	---

«Этот проект — развитие существующей в России автоматизированной системы по предупреждению опасных ситуаций в околоземном космическом пространстве АСПОС ОКП, которая работает в интересах государства, а «Космический навигатор» будет предоставлять услуги коммерческим спутниковым операторам. Новая система должна получать от отечественных средств контроля околоземного пространства информацию, предсказывать опасные ситуации и выбирать маневр для увода КА от столкновения. Эту информацию «Навигатор» будет передавать оператору конкретного спутника...»

В данном сообщении упоминается предшественник – АСПОС ОКП. По этому вопросу имеется ряд публикаций, например, доклад группы авторов (А.Н. Перминов, В.А. Давыдов, Ю.Н. Макаров, Г.Г. Райкунов, Дж. В. Ковков, М.В. Яковлев) «Обеспечение безопасности космических полетов как новое направление мониторинга чрезвычайных ситуаций», сделанный в 2009 г на первом международном специализированном симпозиуме «Космос и глобальная безопасность человечества».

План создания АСПОС ОКП обсуждался ранее на НТС Роскосмоса в 2008 г. Доклад сделал один из руководителей ЦУПа. Важно отметить, что в процессе полета запускаемых на орбиту КА имеется два типа угроз: со стороны крупных (каталогизированных) объектов, число которых более 15000, и со стороны более мелких (не каталогизированных) объектов числом порядка 1 миллиона. В представленном плане были предусмотрены работы по обоим этим направлениям. В своем кратком выступлении на НТС я обосновал утверждение, что «При текущей организации работы актуальные задачи в части исследования и моделирования ненаблюдаемой фракции КМ к 2015 г и к 2020 г решены не будут».

На сайте Сколково в 2014 г была опубликована статья «Команда из Сколково выходит в орбитальный дозор». В ней говорится, что команда «ИСОИ» - главный поставщик информационно-аналитических услуг об опасных ситуациях для операторов телекоммуникационных и страховых компаний. Из данных об упомянутом кластере возникает целый ряд юридических и других вопросов, связанных с корректностью создания этого кластера. Не останавливаясь на юридических аспектах, обратим внимание на его информационные характеристики. Можно ли ожидать, что владельцы спутников в области ГСО и другие компании получают полезную информацию об опасных аварийных ситуациях? Ответ – **нет**, так как средний интервал между ожидаемыми столкновениями спутников в этой области составляет **≈ 160 лет**. Таим образом,

можно сделать вывод, что вся деятельность по созданию данного кластера – это чистое очковничество, цель которого – **распил**.

Не реализуемость задач, стоящих перед системой «Космический навигатор» связана не только с малой вероятностью столкновений каталогизированных объектов в области геостационарных орбит, но и с получением исходной информации от ЦККП. Автору известно, что этот вопрос Роскосмос не может решить уже несколько десятков лет. Кроме того, нет исследований, которые бы подтвердили возможность повышения точности при использовании данных ЦККП по сравнению с применением доступных TLE Американской системы контроля.

Даже в том случае, если бы удалось договориться с ЦККП и убедиться в возможности повышения точности, то окажется, что в участвующих в проекте организациях нет специалистов, способных воплотить задуманное в жизнь. Их нет ни в ЦУПе, ни в компании «Российские космические системы», ни в других организациях. Это общая беда. Опытные специалисты старшего возраста ушли по естественной причине, специалисты среднего возраста разбежались в 90-е годы, а молодых некому учить. Из изложенных выше материалов видна и недостаточная квалификация авторов проекта «Космический навигатор».

Если бы материалы проекта «Космический навигатор» прочитали мои учителя П.Е. Эльясберг, Н.П. Бусленко и М.Д. Кислик, активные участники первого этапа работ по освоению космического пространства, то они «перевернулись бы в гробу». Если бы в настоящее время была поставлена задача создать ЦККП с нуля, то эта задача оказалась бы невыполнимой в связи с отсутствием квалифицированных кадров.

Изложенные здесь комментарии не отрицают необходимости детального анализа обстановки в космосе. Но делать это надо с учетом реальной ситуации и корректно.

4. Сложившаяся ситуация. Перспективы

Из изложенных выше материалов очевидно следующее.

- Тот факт, что после 1970 г, когда ЦККП был поставлен на боевое дежурство, **он продолжает успешно работать**, является подтверждением обоснованности тех гигантских материальных и трудовых ресурсов, что были потрачены на его создание.
- Программное обеспечение и вычислительный комплекс ЦККП **обеспечивают** ведение Главного каталога примерно в том же объеме, что и у Американского аналога (Joint Space Operations Center).

- За прошедшие годы после постановки на боевое дежурство второй очереди развития ЦККП в 1975 г. его точностные характеристики существенным образом **не изменились**.
- Известные события начала 90-х гг. и последующие реформы **затормозили развитие** СККП (период стагнации). Выполнение *пятого* этапа развития КП ПКО и ККП затянулось на 30 лет и еще не закончилось.
- В связи с продолжением интенсивной деятельности в космосе **увеличивается потребность** в уникальной выходной информации ЦККП, которая необходима для решения различных прикладных задач.
- **Повышение точности** выходной информации ЦККП стало чрезвычайно актуальной проблемой.
- В связи с отмеченной выше задержкой в развитии появились организации, которые планируют дублировать решение ряда функциональных задач СККП.

В качестве пояснения к последнему утверждению приведем выдержки из документа [11].

Российская академия наук планирует предложить МИД России, Минобороны и Роскосмосу сделать открытым для пользователей со всего мира российский каталог спутников, за полетом и состоянием которых следят отечественные средства контроля космического пространства, говорится в решении совместного заседания Совета РАН по космосу и МИД России, подписанном президентом академии Александром Сергеевым (копия имеется в распоряжении РИА Новости).

"Создание в безотлагательном порядке на базе информационных возможностей Автоматизированной системы предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве госкорпорации "Роскосмос" и ввод в эксплуатацию в 2020 году российского открытого информационного сервиса по объектам и событиям в околоземном космическом пространстве", - говорится в документе.

С этой целью в РАН планируют подготовить соответствующие обращения в МИД, Минобороны и Роскосмос.

Данным решением предлагается сделать открытой информацию об орбитах космических объектов, запусках и сближениях космических аппаратов, сходе спутников с орбиты, авариях, разрушениях космических объектов и иных событиях. Предоставлять информацию российским и зарубежным потребителям предлагается через СМИ и на специализированных сайтах. Открытие доступа к этим данным, говорится в документе РАН, необходимо "в целях обеспечения безопасности космических операций".

В перспективе предлагается создать отдельную структуру – Национальный ситуационный центр анализа обстановки в космическом пространстве, который должен заниматься сбором информации об объектах в космическом пространстве, оценкой рисков, связанных с событиями и объектами в космосе, доведением результатов своей работы до различных звеньев управления государством, публикацией информации в СМИ.

Эта ситуация ассоциируется у автора со стаей мух, которые хотят полакомиться готовым стоящим на столе тортом. Поставив себя виртуально на место изготовителя торта (заказчика), я бы отнесся к их намерениям отрицательно. Я бы

им сказал: «Давайте следующий торт печь вместе. Закупайте муку, замешивайте тесто, готовьте крем и делайте все необходимое для изготовления торта». Конкретизируя эту ситуацию для ЦККП, я бы им сказал: «Для повышения точности выходной информации, давайте вместе потратимся на совершенствование программно-алгоритмической системы и вычислительного комплекса».

Изложенное предложение является для автора очень актуальным. Как упоминалось выше в разделе 2, он усовершенствовал методику уточнения НУ по измерениям (метод оптимальной фильтрации измерений). Применение этого метода позволяет повысить точность решения оперативных задач в несколько раз. Имеется готовая программа. Результаты ее испытаний изложены в ряде публикаций. Однако оказалось, что методика и программа никому не нужны: ни военным, ни ЦУПу, ни МАК «Выпел», ни Академии наук (это как раз те организации, которые имеют отношение к выходной информации ЦККП). Автор полагает, что для внедрения методики необходимо его участие. Однако, в связи с возрастом автора (88 лет) шансов на внедрение методики остается мало.

5. Актуальные задачи по развитию СККП

- Повышение точности Главного каталога и результатов его применения для решения прикладных задач.
- Расширение возможностей по каталогизации объектов малого размера.
- Проведение детального анализа обстановки в космическом пространстве, который должен включать оценку всех возможных рисков и доведение результатов до соответствующих возможных потребителей.

Решение перечисленных задач является исключительно сложной комплексной проблемой. Автор полагает, что в связи с недостатком квалифицированных кадров для ее решения потребуется не менее 10-15 лет. Тем не менее, целесообразно обозначить проблему в качестве одного из **Национальных проектов** и **согласовать** пути ее решения с участием **всех** заинтересованных ведомств.

В результате складывается такая ситуация, что у автора нет шансов дожить до этого светлого будущего.

Литература

1. Центр научно-технической информации «Поиск» ООО «Космическая деятельность стран Мира». Информационный бюллетень, вып.11, 2020.
2. <http://fvn.astronomer.ru/report/0000006/p000006.htm>.

3. Назаренко А.И., Маркова Л.Г. Методы определения и прогнозирования орбит при наличии погрешностей в математическом описании движения. Сб. Прикладные задачи космической баллистики, Наука, 1973.
4. Nazarenko. Determination and Prediction of Satellite Motion at the End of the Lifetime. International Workshop «Salyut-7/Kosmos-1686 Reentry», ESOC Darmstadt, 1991
5. Назаренко А.И. Применение метода оптимальной фильтрации измерений для уточнения и прогнозирования орбит космических аппаратов. // Вестник «НПО имени С.А. Лавочкина». 2012. № 2. С. 38-43.
6. Nazarenko A.I., How can we increase the accuracy of determination of spacecraft's lifetime? // Acta Astronautica, 115 (2015), pp. 229-236.
7. <http://www.space-track.org>.
8. Pardini C., Anselmo L. The uncontrolled re-entry of Tiangong-1. 36th IADC Plenary Meeting (Tsukuba, Japan, 5 – 8 June, 2018).
9. Z. Khutorovsky, S. Kamensky, Direct method for the analysis of collision probability of artificial space objects in LEO: techniques, results and applications, *First European Conference on Space Debris*, Darmstadt, Germany, April 1993.
10. ООН. Комитет по использованию космического пространства в мирных целях. Февраль 2019. Документ А/АС.105/С.1/115.
11. МОСКВА, 28 янв 2020 – РИА Новости.
12. Шилин В. Д. , Лукьянов А. П. и др. Проблемы предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве. Роль оптических наблюдений. Экологический вестник научных центров ЧЭС. 2013. № 4. Том 2.