

**Назаренко Андрей Иванович,**  
доктор технических наук, профессор,  
лауреат Государственной премии

## **Ретроспективный взгляд на работы в 45-м СНИИ по проблемам контроля космического пространства**



**Назаренко Андрей Иванович.** Родился 27 июля 1932 г. в Москве.

1950–1956 гг. – студент МВТУ им. Н.Э. Баумана.

1956–1963 гг. – инженер-конструктор, начальник расчетно-вычислительного бюро Электростальского завода тяжелого машиностроения, г. Электросталь.

1963–1992 гг. – ведущий научный сотрудник, начальник лаборатории 45-го СНИИ.

С 1992 г. по настоящее время – главный научный сотрудник Центра космических наблюдений Федерального космического агентства.

Кандидат технических наук (1962 г.), доктор технических наук (1969 г.), лауреат Государственной премии СССР (1971 г.), профессор (1991 г.), действительный член Академии космонавтики им. К.Э. Циолковского (1994 г.), член международного межагентского комитета по проблеме космического мусора (IADC).

### **Поступление на работу в 45-й СНИИ**

К моменту прихода в институт я уже имел определенный опыт работы, в частности, опыт постановки и решения на ЭВМ ряда расчетных задач в области механики, динамики машин и сопромата. Моя кандидатская диссертация была посвящена исследованию колебаний в приводе трубопрокатного стана.

На работу в институт меня пригласил в 1963 г. Бусленко Н.П., с которым мы познакомились за два года до этого на семинаре в Мособлсовнархозе. В то время он стремился расширить область применения метода статистического моделирования и предложил выполнить математическое моделирование производственного процесса автоматизированного трубопрокатного цеха. Такая модель была разработана; по результатам исследований была подготовлена и опубликована большая совместная статья в журнале «Проблемы кибернетики» (№ 9, 1963).

Как известно, Бусленко Н.П. был руководителем оперативной группы по созданию 45-го СНИИ МО (1960). Перед институтом ставилась задача математического моделирования сложных систем ПВО на этапе их испытаний и при приеме на вооружение. Несколько позже на институт была

возложена задача создания и ведения службы контроля космического пространства (1962) и создания Центра контроля космического пространства (1965).

Наша встреча с Николаем Пантелеймоновичем состоялась в 1963 г. у проходной института. Была теплая солнечная осень, падали желтые листья. Мы долго гуляли в окрестностях воинской части. Он рассказывал о возможных направлениях дальнейшей работы и агитировал меня заняться небесной механикой. В то время я не имел представления о том, какие конкретно задачи решают сотрудники института, и поэтому, естественно, меня мучили сомнения – стоит ли так резко менять специальность. В конце концов я решил довериться его рекомендациям. С тех пор прошло много лет. Уже нет с нами Николая Пантелеймоновича, но я очень признателен ему за мудрые и доброжелательные рекомендации. До сих пор удивляюсь, как ему удалось предугадать удачное сочетание моих возможностей и тех задач, которые пришлось решать на новой работе. Так я поступил на работу в отдел, которым командовал друг и бывший коллега Бусленко Н.П. по работе в ВЦ–1 Юрий Петрович Горохов.

### **Организация работ по созданию ЦККП**

Основные задачи системы (службы) контроля космического пространства (СККП): контроль за деятельностью вероятного противника в космосе (разведка) и, в частности, за соблюдением международных соглашений по космосу, оповещение заинтересованных организаций о пролете опасных ИСЗ, снижение уровня ложных тревог в системе предупреждения о ракетном нападении (ПРН), обеспечение системы противокосмической обороны (ПКО) целеуказаниями. Как видно, перечисленные основные задачи являются сугубо военными. Со временем был сформулирован ряд дополнительных задач мирного характера: заблаговременное определение времени и места падения опасных спутников, способных причинить вред наземным объектам и населению, и выдача заинтересованным организациям необходимой информации об аварийных КА.

Основное содержание работы СККП – это «инвентаризация» находящихся в космосе объектов искусственного происхождения. Работа заключается в максимально полном и максимально и точном ведении каталога космических объектов (КО). Последующие события показали, что организация работ по созданию СККП была эффективной. Здесь необходимо отметить несколько аспектов:

- достаточно четкое распределение ответственности между отделами 3-го управления за решение частных задач создания СККП, таких, как проведение локационных и оптических измерений КО; разработка вычислительного комплекса и систем передачи данных (СПД); разработка алгоритмов прогнозирования движения и расчета целеуказаний; разработка алгоритмов обнаружения новых КО и уточнения параметров движения по измерениям; распознавание КО; разработка алгоритмов обмена данными и организация взаимодействия с источниками и потребителями информации;
- создание «зародыша» службы контроля в составе 3-го управления. На базе оптических измерений велся реальный каталог КО. Число объек-

- тов в каталоге на первом этапе ведения службы исчислялось десятками;
- обеспечение делового, четкого и дружественного взаимодействия между разработчиками алгоритмов и программистами, которые организационно входили в штат другого управления (ВЦ). При этом следует иметь в виду, что характеристики вычислительных машин того времени по сравнению с современными были допотопными. За машинным временем выстраивалась очередь. Времени на отладку отводилось мало. Программистам приходилось работать и днем, и ночью;
  - обращение внимания на подбор кадров, способных решать поставленные задачи, и забота о росте квалификации специалистов. Большую роль здесь сыграли хорошо поставленная информационная служба и поощрение подготовки кандидатских и докторских диссертаций;
  - понимание руководителями содержания решаемых задач и их требовательность к прикладной значимости результатов конкретных исследований. Изложенное положение может показаться тривиальным. Однако мой многолетний опыт работы в НИИ показывает, что такая ситуация не является часной. Нередко руководители в первую очередь занимаются продвижением своих собственных идей и не поддерживают полезные альтернативные разработки. Нередко, особенно в последние годы, руководители выдают «туфту» за «конфетку», заботясь лишь о формальном подведении итогов и получении выделенных на работу денег. Такая ситуация соответствует высказыванию одного из известных теоретиков социал-демократии (которого критиковали большевики): «Движение – все, конечная цель – ничто». По вопросам, которыми мне приходилось заниматься в 45-м СНИИ, образцовыми руководителями были Пенчуков И.М., Ошанин Е.М., Кислик М.Д., Курланов А.Д., Крылов А.В. и Горохов Ю.П. Я благодарен судьбе за предоставленную возможность работы с ними;
  - возможность проведения полномасштабных испытаний и проверки эффективности разрабатываемых методов и алгоритмов по реальной информации. Такая возможность была обусловлена рядом обстоятельств. Во-первых, этому способствовал статус 45-го СНИИ, как головной организации по разработке СККП. Во-вторых, само содержание работы по ведению каталога КО позволяет проводить испытания алгоритмов и программ по реальной информации. Заметим, что по отношению к системам ПРО и ПРН такая возможность очень ограничена. Для них основной метод испытаний связан с моделированием. Я занимался в 45-м СНИИ разработкой моделей движения КО (методов прогнозирования движения). Характерной особенностью испытаний этих алгоритмов по реальной информации является необходимость их встраивания (как стандартного блока) в программу уточнения элементов орбит по измерениям. Поэтому успешность такого рода испытаний в значительной степени зависела от согласованности усилий разработчиков обоих видов алгоритмов. Несмотря на специфические трудности организации любого взаимодействия, необходимое согласие было достигнуто благодаря пониманию и поддержке со стороны начальника соответствующего отдела Мудрова В.И.

## **Развитие методов определения и прогнозирования орбит для ЦККП**

Программно-алгоритмическая система ЦККП состоит из нескольких основных составных частей (подсистем), которые решают разные задачи, такие, как:

- взаимодействие с измерительными средствами;
- идентификация измерений;
- обнаружение новых орбит;
- обработка некоординатной информации и распознавание;
- уточнение орбит;
- взаимодействие с потребителями информации;
- управление вычислительным процессом;
- накопление и анализ информации.

Многие из этих подсистем используют в качестве стандартной программы модель движения (МД) спутников. Таким образом, эта модель является своего рода «сердцем» программно-алгоритмической системы. От ее характеристик существенным образом зависит производительность системы (число обрабатываемых измерений) и точность каталога. Другим очень важным компонентом является программа уточнения (ПУ) элементов орбит по измерениям. Она должна обеспечивать максимальное использование информации, содержащейся в измерениях.

С точки зрения критерия «результат/затраты» МД и ПУ являются очень эффективными подсистемами ЦККП по сравнению с измерительными и вычислительными средствами. Поэтому совершенствованию этих подсистем было уделено большое внимание. Это совершенствование проходило в несколько этапов.

### ***1. Первый этап (60-е гг.)***

Особенности обстановки.

- Опыт определения и прогнозирования орбит, полученный при работах по первым советским спутникам;
- Применение простейших оптических измерительных средств ( $\approx 100$  станций);
- Слабая вычислительная база ( $\approx 100\,000$  оп/сек);
- Наличие существенного теоретического задела в области космической механики (Дубошин Г., Эльясберг П., Кислик М., Лидов М., Жонголович И., Батраков Ю., Vrouwer D., Kozai Y., Таратынова Т. и др.).

Особенности применяемой технологии.

- Применялось численное интегрирование уравнений движения с учетом простейших возмущений. Затраты времени на уточнение одной орбиты составляли десятки минут.
- Применялись графоаналитические методы расчета эфемерид. Простейшая аналитическая модель движения заключалась в повитковом суммировании возмущений, рассчитываемых по простейшим формулам.
- Большое количество ручной работы. Трудности обнаружения новых спутников.
- Число объектов в каталоге – десятки. Интервал между уточнениями – недели.

### Общие направления развития



Испытания первой очереди развития ЦККП были успешно завершены в 1969 г.

Основным результатом нашей работы на этом этапе было создание аналитической модели движения спутников. Это аналог хорошо известной теперь американской модели SGP4. Наша модель отличалась более полным учетом вековых и долгопериодических возмущений. Решающий вклад в программную реализацию нашей модели внес Лев Михайлович Харченко. Это был исключительно добросовестный и ответственный специалист высокой квалификации. Он много раз переделывал программу, добиваясь повышения ее быстродействия и экономии памяти.

### II. Совершенствование автоматизированной системы (70-е гг.)

Исходное состояние.

- Число объектов в каталоге – порядка 1 тысячи.
  - Быстродействие вычислительного комплекса – порядка 1 млн/сек.
  - Технология обработки информации – автоматизированная.
- Объективные причины совершенствования (общие).
- Рост числа объектов в околоземном пространстве (примерно до 4–5 тысяч к началу 80-х гг.).
  - Ввод в строй новых РЛС.
  - Нарастание вычислительных мощностей.
  - Уточнение возмущающих факторов (гравитационное поле, атмосфера).
  - Накопление опыта обнаружения, уточнения и прогнозирования орбит.

Основные методические результаты исследований по нашей тематике на этом этапе.

- Разработка трех типов алгоритмов и программ прогнозирования движения (аналитического, численно-аналитического и численного), объединенных в одну группу путем унификации входной и выходной информации.
- Разработка алгоритма и программы (стандартной процедуры) для оценки погрешностей прогнозирования.
- Разработка рекуррентной процедуры уточнения элементов орбит.

Основными результатами внедрения этих (а также и ряда других) разработок (к концу 70-х гг.) явились:

- Обработка всех полученных измерений (порядка 10000 в сутки).
- Многократное увеличение числа объектов в каталоге.

- Проведение уточнения на каждом витке, где были получены измерения.
- Повышение оперативности обработки информации.
- Повышение точности определения и прогнозирования орбит.

Большой вклад в получение и внедрение перечисленных результатов, выполненных под общим руководством Курланова А.Д., Горохова Ю.П. и Жандарова А.М., внесли Анисимов В.Д., Гукина Р.В., Кириченко О.И., Клименко А.Г., Кутепов И.М., Маркова Л.Г., Поздняков И.Г., Якубицкий Ю.Н.

Государственные испытания второй очереди развития ЦККП были успешно завершены в 1974 г. Всего в разработке алгоритмов и программ участвовало около 100 сотрудников института. Следует обратить внимание на то, что уникальный автоматизированный ЦККП был создан менее чем за 10 лет. Основной стимул, которым руководствовались большинство сотрудников, — это чувство долга, стремление обеспечить максимальную эффективность решения задач контроля космического пространства. Решающую роль в обеспечении быстрого и качественного выполнения поставленной задачи сыграла высокая квалификация организаторов работы и привлеченных специалистов. Опыт создания ЦККП показал, что стабильность коллектива специалистов, работающих над проблемой, и четкая организация взаимодействия между ними является основой успешного выполнения больших длительных проектов.

Важность последнего обстоятельства особенно ярко проявляется при разработке больших программно-алгоритмических систем, развивающихся в течение длительного времени. Именно к таким системам относится ЦККП. Как было отмечено выше, необходимость его непрерывного совершенствования обусловлена изменением обстановки в околоземном космическом пространстве, расширением потребностей в ее детальной оценке со стороны государственного и военного руководства, стремительным развитием вычислительных и измерительных средств. Поэтому трудным вопросом становится доработка алгоритмов и программ, авторы которых или перешли на другую работу, или вообще ушли из жизни. Насколько я понимаю, такая проблема существует не только в России, но и в США, где примерно в те же сроки была создана аналогичная по характеристикам СККП. Существование у нас стабильного коллектива специалистов, работающих над проблемами СККП в течение более 20 лет, является следствием особенностей нашего государственного устройства до перестройки. А именно, стабильное финансирование, паспортный режим, жилищные проблемы способствовали сохранению коллектива в течение длительного времени. В этом обстоятельстве проявилась справедливость пословицы «Нет худа без добра».

К началу 80-х гг. в управлении сложился очень мощный научный коллектив. Многие из сотрудников стали выдающимися специалистами в своей области: Горелик А.Л., Жандаров А.М., Курланов А.Д., Мудров В.И., Назаров Н.Г., Соколов Г.А. и др.

### **Последствия перестройки**

В середине 70-х гг. было принято решение передать функции генерального разработчика (конструктора) от военной организации (45-й СНИИ) к гражданской (МАК «Вымпел»). Причины этого решения мне не известны. Думаю, что они связаны с общей политикой взаимодействия МО с промышленными организациями.

Мое отношение к этому решению является противоречивым. С одной стороны, разработка систем не является характерной функцией организаций МО. Как я понимаю, такая ситуация существует и в США. С другой стороны, всякая перестройка имеет отрицательные стороны: приходят другие люди с меньшим опытом, добавляются затраты средств и времени на обучение, процесс совершенствования системы замедляется. Большая часть моих коллег отнеслась к этому решению отрицательно.

Дальнейшие события подтвердили известную поговорку, что «переселение равноценно пожару». По моей оценке, передача МАК «Вымпел» роли головной организации затормозила процесс развития ЦККП не менее чем на 10 лет.

Следующий (по-видимому, самый чувствительный) удар по перспективам развития СККП нанесли известные события 90-х гг. В результате «рассосался» уникальный коллектив специалистов 3-го управления. Всякого рода объединения и перестройки ускорили этот процесс. Снимаются с дежурства или работают в «урезанном» режиме уникальные РЛС. В результате сокращаются их информационные возможности, что естественным образом приводит к ухудшению качества ведения каталога КО. Конкретные текущие характеристики ведения каталога (полнота, процент идентификации измерений, точность) мне не известны, но полагаю, что они хуже тех, которые были в начале 90-х гг. в момент перехода на новый вычислительный комплекс. Негативные последствия перестройки коснулись и МАК «Вымпел». В настоящее время, по моему мнению, там нет специалистов, которые могли бы осуществить разработку новой программно-алгоритмической системы для ЦККП. Соответствующие руководители, по-видимому, или не знают, или сознательно закрывают глаза на эти негативные процессы. Таким образом, в настоящее время сложилась критическая ситуация, при которой нет уверенности, что возрождение СККП возможно.

### **Перспективы сохранения и развития СККП**

При оценке перспектив СККП естественно необходимо исходить из потребностей общества в выходной информации рассматриваемой системы. При этом следует ответить на ряд вопросов: 1) сохранится ли в ближайшие десятилетия необходимость решения военных задач СККП? 2) возможно ли выделение ресурсов, достаточных для восстановления информационного потенциала системы и ее дальнейшего развития в условиях интенсивного использования околоземного пространства в интересах решения различных прикладных задач? 3) имеются ли достаточно серьезные проблемы невоенного характера, решение которых может быть основано на выходной информации СККП?

События последних 15 лет, как мне кажется, показывают, что наиболее вероятные ответы на первые два вопроса являются отрицательными. А именно: а) объем задач, решаемых системой в интересах МО сокращается и, скорее всего, этот процесс продолжится; б) вряд ли можно рассчитывать на получение достаточного финансирования и на эффективное его использование. Эти ответы являются взаимосвязанными. Естественно, что снижение потребностей в выходной информации ЦККП приведет и к снижению затрат на поддержание системы.

В этих условиях принципиальное значение имеет ответ на третий вопрос. Если он положителен, то тогда есть шансы на возрождение и дальнейшее развитие системы контроля космического пространства. Полагаю, что имеется целый ряд серьезных прикладных и фундаментальных проблем, в решение ко-

торых СККП могла бы внести основополагающий вклад. Рассмотрим эти проблемы.

1. *Прогнозирование времени и места падения опасных спутников.* ЦККП неоднократно и успешно решал такого рода задачи («Космос–954», «Космос–1402», «Салют–7», «Космос–1686» и др.). Точность предсказания по данным ЦККП была не хуже, а даже лучше точности ее решения в NORAD, NASA и других организациях. Перспективность регулярного участия ЦККП в решении рассматриваемой проблемы обусловлена рядом обстоятельств. Во-первых, число опасных падений будет расти. Во-вторых, за причиненный при падении ущерб отвечает та страна, которой принадлежит спутник. Поэтому число заинтересованных организаций достаточно велико. В-третьих, в мире существует только две системы, которые способны решать эту проблему: Российская и Американская системы контроля. В-четвертых, для получения приемлемого по точности решения необходимо проведение измерений на всех витках. Поэтому существует объективная необходимость объединения усилий всех организаций, способных внести вклад в решение задачи.

2. *Предсказание опасных сближений КА со всеми «фоновыми» объектами.* В решении данной задачи заинтересованы все владельцы КА. Перспективность регулярного участия ЦККП в решении этой проблемы обусловлена теми же обстоятельствами, что были приведены в пункте первом. В качестве дополнительного обстоятельства следует указать на актуальность повышения точности расчета вероятности столкновений и увеличение заблаговременности предсказания.

3. *Контроль разрушений (взрывов) КА и РН.* В решении данной задачи заинтересованы все владельцы КА. Перспективность регулярного участия ЦККП в решении этой проблемы обусловлена теми же обстоятельствами, что были приведены выше. В качестве дополнительных обстоятельств следует указать на следующие. 1) Взрывы КА и РН являются основным источником техногенного загрязнения космоса мелкими фрагментами. К настоящему времени зафиксировано около 200 взрывов. 2) В научно-техническом подкомитете при Комитете ООН по мирному использованию космического пространства обсуждаются меры по ограничению техногенного загрязнения ОКП. В частности, предусматривается запрещение взрывов. Со временем эти предложения будут переданы в юридический подкомитет. Очевидно, что будет необходим контроль за выполнением международных норм.

4. *Контроль уровня техногенного засорения околоземного космического пространства (ОКП).* В решении данной задачи заинтересованы все страны, запускающие КА. Перспективность регулярного участия ЦККП в решении этой проблемы обусловлена теми же обстоятельствами, что были приведены в пункте третьем. В качестве дополнительной информации следует указать на следующее. Основную опасность для КА представляют мелкие техногенные частицы размером более нескольких миллиметров. В ОКП их находится несколько миллионов. Поэтому актуальными проблемными вопросами являются: а) снижение нижней границы размеров каталогизированных КО до нескольких сантиметров и б) построение пространственно-временного распределения более мелких не каталогизированных КО. Прикладное значение реализации этих мероприятий заключается не только в самом контроле, но и в получении исходных данных для обеспечения необходимой надежности проектируемых полетов КА. В случае невыполнения мер по ограничению техногенного засорения ОКП и продолжения монотонного роста уровня засорения в не слишком далеком будущем наступит момент, когда космическая деятельность станет невозможной.



5. *Оперативный контроль состояния верхней атмосферы по данным систем контроля космического пространства.* Исследования по этой проблеме были начаты нами в 45-м СНИИ в 80-е гг. После моего ухода из института в 1992 г. они были продолжены по данным американского каталога (этот каталог доступен для всех). Многие результаты опубликованы (последняя статья относится к 2004 г.). Основным результатом состоит в том, что данные каталога КО содержат уникальную информацию о плотности атмосферы на высотах до 600–700 км. Данные о торможении в атмосфере всех КО с перигеем в указанной области позволяют вести службу погоды верхней атмосферы. Результаты такой службы имеют не только фундаментальное значение, как данные о состоянии околоземной среды, но и существенное прикладное значение. Их использование позволяет в два раза снизить погрешности прогнозирования низких спутников.

Все рассмотренные проблемы характерны тем, что они являются глобальными и имеют фундаментальный характер, так как относятся к контролю околоземной среды. В решении проблем заинтересованы многие страны и многие организации. Можно, по-видимому, утверждать, что ни одна страна в отдельности не способна решить эти проблемы. Поэтому для достаточно полного их решения необходима кооперация российской СККП с соответствующей американской службой, а также со всеми другими источниками полезной информации.

В заключение раздела вернемся к военным задачам СККП, в интересах которых она и создавалась. Здесь ключевыми вопросами являются: а) возможно ли в современных условиях в полном объеме решать эти задачи, соревнуясь с США и их союзниками по НАТО, когда по экономическим возможностям наша страна на несколько порядков им уступает? б) целесообразно ли продолжать прежнюю политику, когда угроза со стороны западных стран стала мифом? в) может быть, необходимо поставить задачу организации международного (коллективного) контроля космического пространства (ККП), включающего и решение перечисленных выше фундаментальных задач, сохранив за национальными средствами возможности локального (не глобального и не непрерывного во времени) контроля международной системы ККП?

*Реалистические ответы на эти вопросы:* а) – невозможно; б) – нецелесообразно; в) – поставить такую задачу.

Таким образом, из изложенных положений следует:

- проблема контроля космического пространства имеет военную и фундаментальную составляющую;
- с течением времени актуальность решения фундаментальных задач контроля растет;
- российская СККП была создана для решения военных задач контроля;
- в рамках существующего статуса российская СККП не приспособлена к решению проблемы контроля в полном объеме;
- для создания условий возрождения отечественной СККП необходимо включение фундаментальной составляющей в число решаемых задач;
- решение задач контроля в полном объеме возможно только на основе межведомственной и международной кооперации, т.е. на основе создания международной СККП;
- создание международной СККП не противоречат возможности и необходимости принятия национальных мер по противодействию возможным угрозам и отражению нападения.

## Заключение

В 50-х гг. в журнале «Иностранная литература» была опубликована знаменитая статья «Закон Паркинсона». В ней в юмористической форме были сформулированы законы развития организаций. Прошло много лет, и я уже не помню деталей, но смысл закона Паркинсона примерно таков: «Число сотрудников любой организации растет по степенному закону и не зависит от объема выполняемой полезной работы», или «Административное здание может достичь совершенства только к тому времени, когда учреждение приходит в упадок». В качестве одного из примеров, подтверждающих справедливость закона Паркинсона, упоминались данные об английском министерстве колоний. Сейчас у Англии колоний нет, но численность министерства во много раз превышает его численность в те времена, когда Англия была великой колониальной страной. Полагаю, что закон Паркинсона отражает реальные закономерности, но, конечно, он не может работать во всех случаях жизни и, в частности в форс-мажорных обстоятельствах.

История создания и развития 45-го СНИИ в первые 30 лет его существования не противоречит закону Паркинсона. К счастью, институт не успел достичь уровня английского министерства колоний. Закономерный ход эволюции нарушили перестройка и развал СССР. Тешу себя надеждой, что институт, или хотя бы его часть, возродится на основе ревизии статуса и для решения реальных актуальных проблем контроля космического пространства.