

$$\begin{aligned}
& + [(G - H_{11})H_{12} + H_{22} - (H_{11} + H_{12})H_{32} + H_{12}D(\omega_0) - \dot{H}_{12}]y_2/2 + u \\
\hat{q}_2 = & -H_{21}q_1 - (H_{21} + H_{22})q_3 + (H_{21} + H_{22}/2)y_1 + \\
& + [H_{22}D(\omega_0) - (H_{21} + H_{22})H_{32} - H_{21}H_{12} - \dot{H}_{22}]y_2/2 \\
\hat{q}_3 = & -H_{31}q_1 - (H_{31} + H_{32})q_3 + (H_{31} + H_{32}/2)y_1 + \\
& + [H_{32}D(\omega_0) - (H_{31} + H_{32})H_{32} - H_{31}H_{12} - \dot{H}_{32}]y_2/2
\end{aligned}$$

а оценки состояния объекта наблюдения (18) могут быть вычислены в соответствии с отношениями:

$$\hat{x}_1 = q_1 + H_{12}y_2/2, \quad \hat{x}_2 = y_2, \quad \hat{x}_3 = q_3 + H_{22}y_2/2, \quad \hat{x}_4 = q_3 + H_{32}y_2/2.$$

УДК 629.78.05.001.2

А. В. Забокрицкий

#### МЕТОД УСТОЙЧИВОГО НАВИГАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ ИСЗ

Вследствие территориального разделения бывшего СССР, экономического кризиса, сопровождающегося снижением финансирования дорогостоящих космических программ возникает проблема управления геостационарных ИСЗ (СИСЗ), обусловленная сокращением парка радиотехнических средств измерений. При этом управление удаленных относительно территории РФ по долготе СИСЗ может быть обеспечено только в однопунктном варианте на малых углах места, не превышающих 7–12 градусов, а применение стандартных подходов при определении параметров движения СИСЗ затруднительно. Это связано с тем, что в приведенных условиях задача является плохо обусловленной и наличие ошибок исходных данных, таких как ошибки измерений, ошибки модели движения СИСЗ, мешающие параметры приводят к резкому увеличению ошибок искомым (определяемым) оценок.

Оценки показывают, что слабо наблюдаемыми являются параметры, характеризующие ориентацию плоскости орбиты в абсолютном пространстве, оценки которых при определении параметров движения стандартными подходами не удовлетворяют требуемой точности, и, более того, может наблюдаться эффект увеличения ошибок этих оценок по отношению к прогнози-

руемым параметрам (начальному приближению).

На практике при решении плохо обусловленных задач используются методы параметризации, основанные на применении регуляризирующих алгоритмов к решению последовательности линейных некорректных задач, представляющих схему реализации метода Ньютона для оптимизации нелинейного функционала невязок. При этом реализация схемы с неполным начальным псевдорангом позволяет сузить область ошибок начального приближения до области сходимости задачи с большим значением псевдоранга, и процесс продолжается до тех пор пока не реализуется схема решения задачи полного ранга.

Однако реализация схемы с неполным начальным псевдорангом предполагает получение смещенных оценок, что препятствует успешной реализации схемы итерационного процесса с изменением значения псевдоранга. Величина смещения зависит от степени достоверности априорной информации, используемой при оценивании, реализованной программы измерений, алгоритма оценивания. При заданной программе измерений и низкой степени достоверности априорной информации алгоритм оценивания является определяющим. Наиболее рациональным при этом является применение несмещенных алгоритмов оценивания, в которых структура алгоритма изменяется либо за счет выбора "главных компонент" (сингулярных переменных), либо за счет выбора рационального состава уточняемых параметров. Однако в качестве критериев оптимизации алгоритма оценивания в известных работах рассматривались аналоги функционалов невязок, которые являются нечувствительными к смещенности оценок при решении задачи уточнения параметров движения с ненулевым дефектом наблюдаемости, и обеспечивают минимизацию только случайной составляющей ошибок искомых оценок.

Предлагаемый подход основан на адаптивном изменении алгоритма оценивания в процессе уточнения параметров движения СИСЗ по критерию минимума смещения оценок при ограничении на случайную составляющую ошибки. Ограниченность случайной составляющей ошибок искомых оценок гарантируется применением алгоритма дискретной параметризации при котором решение является гарантированно устойчивым.

По критерию минимума предельной ошибки контролируемых параметров, используя правую ортогональную матрицу сингулярного разложения, и поставив в соответствие множеству параметров уточнения ее элементы, задачу выбора состава уточняемых параметров удалось свести к задаче поиска такого оптимального базиса, соответствующего рациональному составу уточняемых параметров при котором неуточняемая их совокупность

минимальным образом влияет на контролируемые параметры. На основе единого методического подхода реализованы принципы контроля достижения требуемой точности искомых оценок, позволяющие реализовать алгоритм защиты от эффекта увеличения ошибок оценок по отношению к прогнозируемым параметрам (начальному приближению), при этом для успешной реализации схемы итерационного процесса с изменением значения псевдоранга установлено, что при значениях псевдоранга, меньших ранга системы, рационально на итерации не учитывать поправки к параметрам, определяющим ориентацию плоскости орбиты в абсолютном пространстве, а использовать их в качестве параметров согласования остаточной невязки.

В таблице представлены результаты имитационного моделирования процесса определения бинормальной составляющей параметров движения СИСЗ в однопунктном варианте управления с территории московской области в зависимости от долготы стояния СИСЗ с использованием традиционного (с уточнением на каждой итерации всего состава компонент вектора уточняемых параметров) подхода, классическим методом дискретной параметризации, и с использованием предлагаемого метода.

Таблица

Прогнозируемое отклонение уточненной орбиты от истинной в бинормальном направлении [км] в зависимости от долготы стояния СИСЗ и методов оценивания

Метод оценивания	Долгота стояния СИСЗ [град. з.д.]				
	25	20	15	10	5
традиционный	37.6	18.4	12.7	4.8	1.4
классический	18.7	14.7	8.2	3.9	1.2
предлагаемый	14.5	11.3	6.8	2.5	1.2

Технологический цикл навигационного обеспечения включал двухсубточную программу измерений, ошибки измерений составляли: на уровне шумовой составляющей не более 2-3 м; на уровне систематической составляющей 50-60 м.

Оценки показывают высокую эффективность предлагаемого метода по сравнению с общепринятыми.

Таким образом предлагаемая технология навигационного обеспечения геостационарных ИСЗ позволяет повысить надежность их управления до периода ввода новых радиотехнических средств на территории РФ.