

МЕТОДИКА РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТА ДОСТАТОЧНОСТИ НАЗЕМНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ

М. А. Васильев, М. К. Бондарева

Рассмотрены вопросы прогнозирования и оценки достаточности наземных средств для выполнения задач по управлению орбитальной группировкой космических аппаратов. Раскрыты этапы прогноза достаточности средств наземного автоматизированного комплекса управления космическими аппаратами. Предлагается проводить расчет коэффициента достаточности на основе отношения прогнозируемой или фактической загрузки наземных средств к их прогнозируемой нагрузке. Таким образом, сопоставляются значения возможностей наземных средств управления космическими аппаратами и потребностей существующей и перспективной орбитальной группировки. Анализ прогнозируемой и максимальной загрузки наземных средств должен опираться на данные имеющихся в системе планирования работы наземных средств. Такими данными являются статистические данные о количестве сеансов управления, проведенных наземным средством, максимальная загрузка и коэффициент готовности наземных средств. Это поможет существенно повысить точность и оперативность обработки и анализа информации о достаточности наземных средств для управления космическими аппаратами в ходе проведения долгосрочного планирования работы наземных средств.

Ключевые слова: долгосрочное планирование, сеанс управления, космический аппарат, наземное средство, достаточность, загрузка, орбитальная группировка.

Введение

Важной частью мероприятий по обеспечению гарантированного выполнения космическими аппаратами (КА) целевой задачи является долгосрочное планирование (ДП) работы средств наземного автоматизированного комплекса управления (НАКУ) КА. Одной из задач ДП работы наземных средств является оценка их достаточности для выполнения всего комплекса мероприятий по управлению КА, в том числе выполнения заданного технологическим циклом управления определенного количества сеансов управления (СУ). Достаточность средств НАКУ зависит от способности наземного комплекса управления (НКУ) КА обеспечивать определенный объем СУ орбитальной группировкой (ОГ) КА. При этом состав и состояние ОГ КА и наземных средств имеют свойство изменяться со временем. Для повышения оперативности и точности прогнозирования и оценки достаточности средств НАКУ в расчеты достаточности должны быть заложены прогнозируемые изменения состава и состояния ОГ КА и наземных средств.

Постановка задачи

Основным недостатком существующего научно-методического аппарата прогноза достаточности средств НАКУ для управления КА является невозможность отследить постепенные изменения достаточности, то есть получить не два значения – достаточно, недостаточно, – а наблюдать и анализировать динамику изменений и выявлять узкие места НАКУ КА по решению задач управления ОГ КА. Необходим новый подход к методике прогнозирования и оценки достаточности наземных средств и анализу, который позволил бы ввести

параметры, наиболее полно раскрывающие способности НАКУ по управлению существующей и перспективной ОГ КА.

Для оценки достаточности средств НАКУ предлагается показатель, рассчитывающийся на основе имеющихся в системе планирования работы наземных средств данных. Необходимо применение научно-методического аппарата, который позволит раскрыть соотношения между различными видами загрузок наземных средств и их производительностью с учетом их надежности. Предлагается рассчитывать коэффициент достаточности средств НАКУ, с помощью которого можно будет охарактеризовать потенциальные возможности НКУ по управлению ОГ КА.

Решение задачи

Для прогнозирования необходимо обладать информацией об объекте прогноза и условиях, в которых данный объект существовал до момента построения прогноза. Еще лучше, если есть сведения о том, в каких условиях объект прогнозирования будет существовать на необходимой глубине построения прогноза. Для средств НАКУ объектом исследования является их загрузка.

Загрузка средств НАКУ – это количество СУ, выполняемых данными средствами за определенный промежуток времени и зависит от технологического цикла управления (ТЦУ) КА, состава ОГ КА на момент прогнозирования и изменения состава ОГ КА, связанного с предстоящими, за период времени, равный глубине прогноза, запусками КА.

Текущую загрузку средств НАКУ формирует ТЦУ и состав ОГ КА, выполняющих свои задачи в составе космических комплексов (КК) и космиче-

ских систем (КС) на момент построения прогноза загрузки средств. Текущая загрузка средства НАКУ, таким образом, является базой прогноза загрузки, так как текущая загрузка средства НАКУ отражает потребность центров управления полетами (ЦУП) и пунктов управления (ПУ) КА в проведении определенного количества СУ по всей совокупности КА, по которым проводит СУ выбранное для исследования наземное средство [1].

Для формирования прогноза необходимо на базу прогноза, то есть на текущую космическую обстановку, наложить перспективную космическую обстановку. Для этого требуется к базовой загрузке средства НАКУ прибавить загрузку средств НАКУ, формирующуюся за счет запускаемых КА.

За базовую загрузку средства НАКУ принимается средняя загрузка исследуемого типа средства. Средняя загрузка средства НАКУ в сутки определяется отношением суммы загрузок средств необходимого типа за период времени к количеству суток в этом периоде

$$Z_{cp} = \frac{Z_{ог}}{T_{ог}}, \quad (1)$$

где $Z_{ог}$ – загрузка средств одного типа средства за период $T_{ог}$; $T_{ог}$ – период времени (в сутках) без изменений в составе ОГ КА.

Таким образом, период времени $T_{ог}$ – это количество суток с момента последнего запуска КА, то есть период, за который не происходило изменений в составе ОГ КА, управление которыми осуществляет исследуемый тип средства НАКУ. Если $T_{ог} > T$, то $T_{ог}$ принимается равным T (T – период, на который осуществляется прогноз).

Для построения прогноза загрузки наземных средств необходимо наложить на базовую нагрузку, рассчитанную на момент построения прогноза, те изменения наземной и космической обстановки, которые оказывают на нее наибольшее влияние. То есть воссоздать на каждый момент прогноза картину фактической загрузки технических средств (ТС) НАКУ с учетом влияющих на нее факторов.

Прогнозируемая загрузка ТС НАКУ ($Z_{прог}$) на момент времени можно рассчитать по следующей формуле

$$Z_{прог} = Z_{cp}T + Z_{зап1} + Z_{зап2} + \dots + Z_{запi} - Z_{искл1} - Z_{искл2} - \dots - Z_{исклj}, \quad (2)$$

где $Z_{зап}$ ($Z_{зап1}, Z_{зап2}, \dots, Z_{запi}$) – загрузка средств одного типа по i запускаемым КА; T – количество суток в расчетном периоде; $Z_{искл}$ ($Z_{искл1}, Z_{искл2}, \dots, Z_{исклj}$) – загрузка средств одного типа по i КА, исключаемым из ОГ.

Для расчета достаточности средств НАКУ предлагается рассмотреть соотношение фактической, либо прогнозируемой загрузки наземного средства к максимальной загрузке, подобно используемому для оценки достаточности материально-энергетических и информационных ресурсов коэффициенту достаточности [2]. Такое соотношение позволит установить, насколько загрузка наземных средств имеет запас до достижения максимальной загрузки.

Коэффициент использования производственной мощности $K_{исп}$ равен отношению фактического выпуска продукции $Q_{факт}$ к максимально возможному $Q_{макс}$ [3, 4]:

$$K_{исп} = \frac{Q_{факт}}{Q_{макс}}. \quad (3)$$

По сути, загрузка ТС является продуктом работы этих ТС и, таким образом, если взять за основу формулу (3) и вместо значений выпуска продукции подставить загрузку ТС, то коэффициент достаточности ТС НАКУ $K_{дтс}$, по аналогии с $K_{исп}$, предлагается рассчитывать по формуле:

$$K_{дтс} = 1 - \frac{Z}{Z_{макс}}, \quad (4)$$

где Z – загрузка наземного средства за период; $Z_{макс}$ – максимальная загрузка наземного средства за аналогичный период.

Если $K_{дтс}$ равен или близок к единице, то средств НАКУ для управления КА достаточно. Если $K_{дтс}$ равен или стремится к нулю, то средств НАКУ недостаточно.

Предложенная методика расчета $K_{дтс}$ для управления КА более полно отражает возможности наземной группировки по управлению КА. Однако при таком способе расчета достаточности наземных средств учитывается только состав средств НАКУ и не берется в расчет их техническое состояние. Для оценки состояния технических систем (оборудования) используется коэффициент готовности $K_{гт}$, равный отношению времени нахождения машин в исправном состоянии к продолжительности межремонтного цикла [4]. Для

учета технического состояния наземных средств при расчете их достаточности для управления КА в расчетах используется коэффициент технической готовности средств НАКУ $K_{гтс}$ [5].

Для расчета $K_{гтс}$ используется формула:

$$K_{гтс} = \frac{t^Э - t^Н}{t^Э} = 1 - \frac{t^Н}{t^Э}, \quad (5)$$

где $t^Э = Tn$ – суммарное время плановой эксплуатации n средств НАКУ одного типа за отчетный пе-

риод T , в сутках; $t^Н = \sum_{i=1}^n t_i^Н$ – суммарное время

нахождения всех средств НАКУ одного типа в небоеготовом состоянии за время $t^Э$, в сутках; n – количество средств НАКУ одного типа [6].

Таким образом, $K_{гтс}$ содержит в себе информацию о состоянии наземных средств за прошедший период, по которому представляется возможность судить о его состоянии в предстоящий период эксплуатации.

При умножении коэффициента достаточности на коэффициент технической готовности средств НАКУ раскрывается влияние технической готовности наземного средства к применению на достаточность средств к управлению КА [7].

Коэффициент достаточности средств НАКУ K_d для управления КА с учетом коэффициента технической готовности средств НАКУ ($K_{гтс}$) рассчитывается по формуле:

$$K_d = K_{дтс} K_{гтс}. \quad (6)$$

Порядок расчета достаточности средств НАКУ для управления КА с учетом их надежности имеет следующие этапы:

1. Выбор типа средства НАКУ.
2. Анализ наземной обстановки и определение количества однотипных средств в НАКУ.
3. Выбор периода расчета.
4. Расчет максимальной загрузки средства НАКУ.
5. Расчет прогнозируемой загрузки средства НАКУ.
6. Расчет коэффициента технической готовности ($K_{гтс}$) для типа средства НАКУ.
7. Расчет коэффициента достаточности средств НАКУ без учета их коэффициента технической готовности ($K_{дтс}$).
8. Расчет коэффициента достаточности средств НАКУ (K_d).

Заключение

Преимуществом предложенной методики прогнозирования и оценки достаточности наземных средств управления КА является использование данных, циркулирующих в системе планирования работы средств НАКУ. При этом подготовка данных для расчета достаточности наземных средств управления КА не требуется. Также предложенная методика подразумевает расчет коэффициента достаточности, представляющий собой соотношение максимальных и прогнозируемых нагрузок наземных средств с учетом их коэффициента технической готовности, приобретающего множество значений в зависимости от состава и состояния ОГ КА и наземных средств.

Предложенная методика прогноза достаточности средств НАКУ позволяет сократить объем вычислений и качественно повысить точность и оперативность прогноза. Также предложенная методика прогноза достаточности средств НАКУ позволяет производить оценку достаточности наземных средств в динамике, что позволяет более точно оценивать и предвидеть возможности выполнения НАКУ задач управления реальной и перспективной ОГ КА с учетом надежности наземного сегмента КК (КС).

Литература

1. Метод проведения обзора и вариант построения космической системы для мониторинга космических объектов на околоземных орбитах / А. О. Жуков, М. Е. Прохоров, А. И. Захаров [и др.] // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. – 2013. – № 4-3. – С. 71 – 75.
2. Системный анализ и моделирование процессов в технике // Технология машиностроения: электронная библиотека. – 2019. – URL: <http://libraryno.ru/10-6-ocenka-dostatochnosti-material-no-energeticheskikh-i-informacionnyh-resursov-sistanalanisimov/> (дата обращения: 04.10.2019).
3. Зайцев Н. Л. Экономика промышленного предприятия : учебник / Н. Л. Зайцев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : ИНФРА-М, 1998. – 482 с.
4. Шепеленко Г. И. Экономика, организация и планирование производства на предприятии : учебное пособие для студ. экон. спец. вузов / Г. И. Шепеленко. – Ростов-на-Дону : МарТ, 2003. – 592 с.
5. Горемыкин А. Л. Планирование на предприятии [Текст] / А. Л. Горемыкин, Э. Р. Бугулов, А. Ю. Богомолов. – Москва : Филинь, 2001. – 328 с.
6. Моделирование и регрессионный анализ информации, используемой при управлении орбитальными группировками космических аппаратов в различных условиях обстановки / М. А. Васильев, М. К. Бондарева, В. А. Ермолаев // Сборник материалов II Всероссийской научно-практической конференции (г. Москва,

29 декабря 2016); ФГБНУ «Аналитический центр» Минобрнауки России. – Москва, 2017. – С. 66 – 69.
7. Васильев М. А. Выбор метода анализа данных для прогноза достаточности наземных средств / М. А. Ва-

сильев // Сборник материалов III Всероссийской научно-практической конференции (г. Москва, 29 декабря 2017); ФГБНУ «Аналитический центр» Минобрнауки России. – Москва, 2018. – С. 123 – 126.

Поступила в редакцию 03.12.2019

Максим Анатольевич Васильев, начальник лаборатории, т. (977) 381-18-91, e-mail: vasimaksim@mail.ru.
Марина Константиновна Бондарева, доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, т. (910) 409-15-86, e-mail: mkbond@mail.ru.
(Главный испытательный космический центр МО РФ имени Г.С. Титова).

METHOD OF CALCULATING THE SUFFICIENCY COEFFICIENT OF GROUND SPACECRAFT CONTROL STATIONS

M. A. Vasilev, M. K. Bondareva

The issues of assessing and predicting the sufficiency of ground spacecraft control stations to perform tasks on controlling the orbital constellation of spacecraft are considered. The stages of predicting the adequacy of means of a ground-based automated spacecraft control complex are disclosed. It is proposed to calculate the sufficiency coefficient based on the ratio of the predicted or actual load of ground assets to their predicted load. This compares the values of the capabilities of ground spacecraft control stations and the needs of an existing and promising orbital constellation. Analysis of the predicted and maximum load of ground spacecraft control stations should be based on the data available in the ground-based work planning system. Such data are statistics on the number of control sessions conducted by the ground facility, maximum load and the availability rate of ground spacecraft control stations. This will help to significantly increase the accuracy and efficiency of processing and analysis of information on sufficiency of ground spacecraft control stations for controlling spacecraft during the long-term planning of ground-based facilities.

Keywords: long term planning, control session, spacecraft, ground station, sufficiency, load.

References

1. Observation method and variant of configuration of a space system for monitoring of space objects in low Earth orbits / A. O. Zhukov, M.E. Prokhorov, A.I. Zakharov [et al.] // Ecological Bulletin of Research Centers of the Black Sea Economic Cooperation. – 2013. – No. 4-3. – Pp. 71 – 75.
2. System analysis and modeling of processes in the technosphere // Mechanical engineering technology: electronic library. – 2019. – URL: <http://libraryno.ru/10-6-ocenka-dostatochnosti-material-no-energeticheskikh-i-informacionnyh-resursov-sistanalanisimov/> (date of access: 04.10.2019).
3. Zaitsev N.L. Economics of industrial enterprise : textbook / N.L. Zaitsev. – 2nd edition, revised and enlarged. – Moscow : INFRA-M, 1998. – 482 p.
4. Shepelenko G. I. Economics, arrangement and planning of production at an enterprise : textbook for students of economics specialties / G. I. Shepelenko. – Rostov-on-Don : MarT, 2003. – 592 p.
5. Goremykin A. L. Planning at an enterprise [Text] / A. L. Goremykin, E.R. Bugulov, A.Iu. Bogomolov. – Moscow : Filin, 2001. – 328 p.
6. Modeling and regression analysis of information used for control of orbital satellite constellations under different conditions / M. A. Vasilev, M. K. Bondareva, V. A. Ermolaev // Collection of proceedings of the IInd All-Russian Scientific and Practical Conference (Moscow, 29 December 2016); Federal State Budgetary Scientific Institution 'Expert and Analytical Center' of the Ministry of Education of Russia. – Moscow, 2017. – Pp. 66 – 69.
7. Vasilev M. A. Selecting a data analysis method to forecast the sufficiency of ground facilities / M. A. Vasilev // Collected volume of proceedings of the IIIrd All-Russian Scientific and Practical Conference (Moscow, 29 December 2017); Federal State Budgetary Scientific Institution 'Expert and Analytical Center' of the Ministry of Education of Russia. – Moscow, 2018. – Pp. 123 – 126.

Maksim Anatolevich Vasilev, Head of Laboratory, t. (977) 381-18-91, e-mail: vasimaksim@mail.ru.
Marina Konstantinovna Bondareva, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), associate professor, docent, Lead Researcher, t. (910) 409-15-86, e-mail: mkbond@mail.ru.
(Main Trial Centre for Testing and Control of Space Means named after G.S. Titov).