

ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ

УДК 629.564.7(045)

В. Н. Азарсков, д-р техн. наук, проф.,
В. И. Богомья, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник,
Д. А. Блоха, соискатель,
В. С. Давыдов, доц.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОРСКОГО ПУНКТА

Національний авіаційний університет, e-mail: bog2603@mail.ru

Проведен анализ принципов построения системы управления космическими аппаратами оптико-электронного наблюдения, определены недостатки существующих методов управления космическими аппаратами с использованием однопунктной технологии управления. Рассмотрены пути повышения эффективности системы управления космическими аппаратами с использованием морского пункта управления.

Ключевые слова: космический аппарат, система управления, морской пункт управления, эффективность.

Введение. Украина является одним из самых больших европейских морских государств, имеющих современные космические технологии, которые позволяют решать целый комплекс научно-исследовательских и практических задач в разных областях науки, производственной и транспортной сферах страны. Подтверждением этому является довольно успешное выполнение Общегосударственной научно-технической космической программы Украины на 2008–2012 гг., запуск 17 августа 2011 г. космического аппарата (КА) дистанционного зондирования Земли «Січ-2».

За 20 лет независимости Украины с целью дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) создано шесть типов низкоорбитальных КА: «Океан-О», «Микрон», «Єгіптсат-1», «Січ-1», «Січ-1М», «Січ-2». Выполняются научно-технические и конструкторские работы по развертыванию на орбитах постоянно действующей группировки КА «Січ». Предприятиями космической отрасли Украины в ходе выполнения этих работ достигнуты значительные успехи в разработке перспективных космических платформ и целевой аппаратуры для будущих КА ДЗЗ: «Січ-2М», «Січ-3-О», «Січ-3-Р». Имея собственные КА ДЗЗ Украина принимает активное участие в международных программах и проектах по наблюдению Земли: GEOS, GMES, UN-SPIDER, RapidEye.

Постановка задачи. Используемая в Украине однопунктная технология управления КА с учетом наращивания космической группировки перестает удовлетворять требованиям, предъявляемым к таким сложным системам управления. Информационный обмен с КА при однопунктной технологии управления возможен на 4–5 витках орбиты с продолжительностью радиовидимости 6 – 12 мин на каждом витке. При выводе КА на орбиту однопунктная технология управления не позволяет осуществлять телеметрический контроль и определения параметров орбиты из-за нахождения его вне секторов азимутов пуска с существующих полигонов запуска. По этой причине возникает необходимость разворачивать дополнительные пункты управления на территории иностранных государств, которые приводят к значительным финансовым затратам.

Проблемные вопросы использования космических технологий наблюдения постоянно требуют повышения эффективности функционирования системы управления КА. Дальнейшее увеличение зон радиовидимости и продолжительности сеансов управления космической системой дистанционного зондирования Земли в Украине с собственной территории возможно только за счет использования морских пунктов управления. На

эффективность дистанционного наблюдения объектов негативное влияние оказывают неблагоприятные метеорологические условия в районе наблюдения (облачность, осадки и туман), а также несовершенство бортовой аппаратуры наведения антенных устройств на наблюдаемый объект.

Пути повышения эффективности функционирования системы управления космическими аппаратами. Мировой океан занимает 5/6 от общей площади поверхности Земли, на его часть приходится до 90 % общемировых перевозок грузов. Континентальный шельф морей и океанов становится одним из основных перспективных источников углеводородного сырья, разведка и добыча которого проводятся вдали от берегов с помощью морских плавучих буровых платформ. В прибрежной зоне Мирового океана сосредоточены основные людские, промышленные и транспортные ресурсы государств, которые имеют выход к морю.

Атмосфера и гидросфера Мирового океана, а также прибрежная зона являются источниками и местом проявления многих опасных гидрометеорологических явлений (ураганов, тайфунов, цунами, наводнений) и чрезвычайных ситуаций, связанных с разливом нефтепродуктов при авариях танкеров, морских плавучих буровых платформ и подводных участков нефтепроводов, а также в портах при проведении перегрузочных работ. Ликвидация последствий влияния опасных гидрометеорологических явлений на объекты, расположенные в прибрежной зоне или на шельфе ежегодно исчисляется миллиардными потерями.

Так, например, 11 ноября 2007 г. в Керченском проливе из-за внезапно налетевшего шторма в течение нескольких часов погибло 4 судна, 8 судов выброшено на берег или село на мель. Загрязнению нефтепродуктами были подвержены десятки километров прибрежной зоны и косы Тузла. В это же время в Черном море погибло одно судно и выброшено на берег 3 сухогруза.

20 апреля 2010 г. из-за аварии морской буровой платформы компании «British Petroleum» в Мексиканском заливе произошло крупнейшее за всю историю загрязнение окружающей среды нефтепродуктами. Убытки от аварии составили миллиарды евро.

Учитывая перспективность разработок углеводородных месторождений на шельфе Черного моря (Безымянное, Одесское, Северо-западный шельф), которые уже сейчас называют «вторым Каспием», с помощью плавучих буровых платформ актуальность контроля этих районов Черного моря с КА будет постоянно возрастать, а следовательно и требования к достоверности и оперативности передачи информации.

В целом мониторинг водных поверхностей в Украине имеет целью решение следующих основных задач:

- выявление аномальных гидрометеорологических явлений на стадии их зарождения и оперативное оповещение о них потребителей информации;
- постоянный контроль за состоянием водной поверхности в районах разведки и разработки углеводородных месторождений на шельфе Черного и Азовского морей;
- контроль за судоходством в прибрежной и проливной зоне азово-черноморского бассейна для обеспечения безопасности плавания;
- оценка ледовой обстановки и динамики ее изменения в целях мореплавания и добычи морепродуктов в прибрежной зоне и водохранилищах;
- проведение электронного картографирования, а также поддержка существующих баз картографических данных.

Дистанционное зондирование водных поверхностей Земли имеет ряд отличительных особенностей:

- поверхность Мирового океана расположена на одном уровне, имеет практически однородные, за исключением районов, покрытых льдом, характеристики для оптико-

электронной съёмки объектов, что создает более благоприятные условия для выявления на снимках из космоса объектов или процессов наблюдения;

- Мировой океан является местом зарождения наиболее опасных гидрометеорологических явлений – циклонов, тайфунов, смерчей, которые обладают огромной разрушительной силой для материковых и морских объектов;

- водные поверхности в большей степени, чем материковые подвержены загрязнению огромных площадей от разлива нефтепродуктов при авариях на морских плавучих буровых платформах или авариях на танкерах или судах, перевозящих опасные и радиоактивные грузы;

- прибрежные зоны, где сконцентрированы наиболее крупные промышленные центры и порты всех прибрежных государств и проживает большая часть их населения, в интересах которых проводится космическая съёмка объектов, из-за значительного перераспределения солнечной энергии между водой и сушей и промышленных выбросов, наиболее подвержены облачности, выпадению осадков и туманов, что приводит к снижению эффективности наблюдения в целом;

- приполюсные районы Земли в диапазоне широт 80° – 90° N и 75° – 90° S покрыты льдом практически в течение всего времени года и их морская часть является, как и ледовые образования внутренних морей и водохранилищ, наиболее опасными для судоходства, что вызывает необходимость длительного по времени наблюдения этих районов в целях выявления динамики изменения ледового покрова;

- наблюдение водных акваторий прибрежной зоны морей и внутренних водных путей в целях выявления изменений в линиях береговой черты, а также в целях геодезической привязки объектов и составления электронных морских карт является в настоящее время, по сравнению с другими способами, наиболее точным от 0,02 до 2 м и эффективным по времени и затратам.

В государствах, владеющих космическими технологиями и имеющими обширные территории (РФ, США, Китай), увеличение продолжительности сеансов радиосвязи с КА достигается за счёт использования нескольких наземных пунктов управления, разнесённых по поверхности Земли друг относительно друга на такое расстояние, при котором зоны радиовидимости этих пунктов не пересекаются. Это называется суммарным временем информационного контакта с КА.

Использование нескольких пунктов управления также необходимо для более точного и полного проведения телеметрических измерений в процессе вывода ракеты-носителя с КА на заданную орбиту и более точного определения параметров орбиты. Эта задача существенно облегчается, если измерения координат и скорости КА ведутся из нескольких точек поверхности Земли. Кроме того использование нескольких пунктов управления значительно повышает надёжность системы управления КА в целом. Поэтому данный способ управления КА получил название «многопунктный».

Многопунктный способ управления КА широко применялся в СССР при работе по низкоорбитальным космическим аппаратам и орбитальным космическим станциям, путем задействования сети наземных и морских станций. Однако, с 1995 г. морской космический флот бывшего СССР прекратил свое существование вследствие физического и морального старения.

В современных условиях, с появлением новых технологий управления КА, с применением микропроцессорной техники новых поколений и современных информационных управляющих систем, стало возможно построение систем управления КА с более высокими возможностями.

Так, например, стало возможным повышение эффективности существующей однопунктной технологии управления КА путем использования морских исследовательских судов, имеющих неограниченный район плавания по мореходности и применению средств

связи, в качестве дополнительных морских пунктов управления. При незначительной модернизации и установке на них антенн и систем управления они будут в полной мере соответствовать своему новому назначению.

Сотрудниками кафедры судовождения и управления судном Киевской государственной академии водного транспорта и специалистами Национального центра управления и испытаний космических средств проведены теоретические и экспериментальные исследования по определению возможностей увеличения времени управления КА за счет использования морских пунктов. При проведении исследований использовались средства программно-аппаратного комплекса центра. Структурная схема экспериментальных исследований показана на рис. 1.

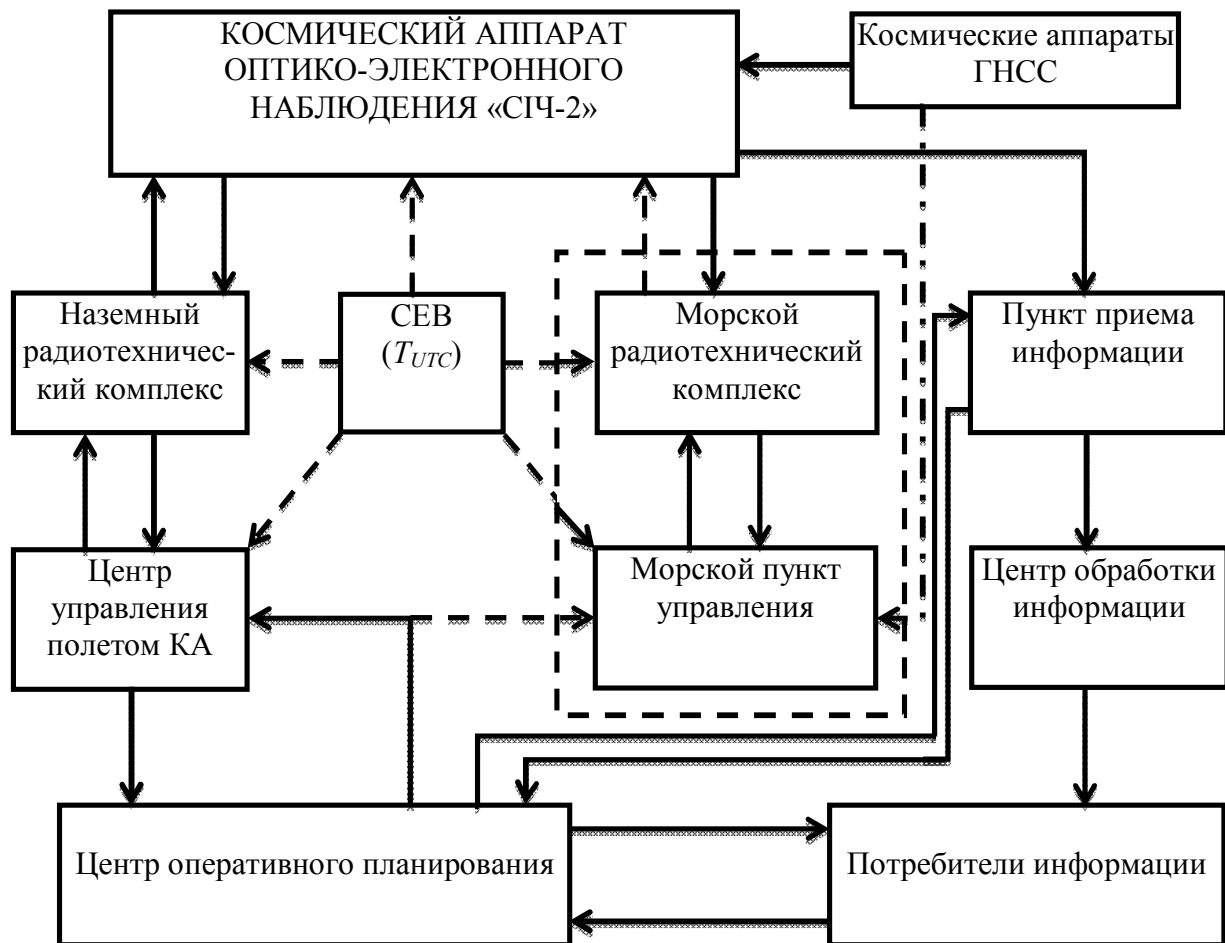


Рис. 1. Структурная схема экспериментальных исследований:
СЕВ – служба единого времени; ГНСС – глобальные навигационные спутниковые системы

Эксперимент по расчету зоны радиовидимости КА, количеству витков орбиты, на которых возможна радиосвязь с КА, времени входа и выхода КА в зону радиовидимости, а также по расчету средней продолжительности сеансов радиосвязи проводился в 2011 и 2012 гг. (для КА «Січ-2») с использованием программно-аппаратного комплекса для пяти точек местонахождения морского пункта управления (МПУ) и одной точки местонахождения наземного пункта управления (НПУ).

Полученные в результате эксперимента расчеты сеансов связи с КА на суточном интервале для выбранных пяти МПУ и НПУ приведены в сводной таблице.

Анализ таблицы показывает, что для КА «Січ-2» при угле места $\alpha > 7^\circ$, обеспечивающем устойчивое проведение сеанса радиосвязи с КА, количество сеансов связи зависит в основном от широты местоположения пункта управления и составляет от трех сеансов радиосвязи на экваторе до 15 сеансов на широте 82°N .

Средняя продолжительность зоны радиовидимости в основном зависит от угла места, на котором с пункта управления наблюдается КА, и в среднем для выбранных мест расположения пункта управления находилась в пределах 10–14 мин, а суммарная суточная продолжительность сеансов связи колебалась от 38 мин 06 с на экваторе до 197 мин 11 с на широте 82°N.

Сводная суточная таблица сеансов связи с КА «Січ-2»

Номер морских и наземного пункта управления	Географические координаты пункта управления (φ_r, λ_r)	Количество сеансов связи с КА за сутки	Интервал продолжительности сеансов связи, мин, с	Суммарная суточная продолжительность сеансов связи, мин
МПУ-1	$\varphi_r = 19^\circ 45' N$ $\lambda_r = 58^\circ 15' E$	3	12,21 – 13,45	38,56
МПУ-2	$\varphi_r = 45^\circ 20' N$ $\lambda_r = 30^\circ 10' E$	4	12,35 – 13,40	52,27
МПУ-3	$\varphi_r = 72^\circ 30' N$ $\lambda_r = 0$	11	10,27 – 13,59	142,30
МПУ-4	$\varphi_r = 82^\circ N$ $\lambda_r = 33^\circ E$	15	11,26 – 14,08	197,11
МПУ-5	$\varphi_r = 0^\circ$ $\lambda_r = 0^\circ$	3	11,20 – 13,45	38,06
НПУ	$\varphi_r = 45^\circ 11' 20'' N$ $\lambda_r = 33^\circ 11' 13'' E$	5	10,45 – 14,02	61,53

Применение морского пункта управления обеспечивает:

- оперативное управление КА вне зоны видимости наземного комплекса;
- оперативное решение телеметрических задач управления при выводе КА на заданную орбиту путем заблаговременного расположения МПУ по направлению траектории вывода КА, за счет чего снижается время ожидания связи с КА;
- увеличение в три раза времени информационного контакта с КА (с 38–60 мин при однопунктной технологии управления до 197 мин в зависимости от географической широты месторасположения МПУ);
- снижение нагрузки по управлению КА на МПУ или НПУ, а также энергетические затраты КА за счет учета при планировании сеансов связи неблагоприятных метеорологических условий в виде облачности, осадков и туманов, а также путем применения более совершенных способов наведения антенных устройств КА на МПУ для проведения сеансов радиосвязи;
- глобальность и непрерывность управления КА;
- высокую пропускную способность (количество сеансов связи с КА в сутки);
- высокую надежность выполнения задач управления (вероятность безотказной работы средств управления);
- возможность резервирования как средств управления, так и сеансов связи;
- расширение зоны радиовидимости КА и продолжительности информационного контакта;
- оперативное определение параметров орбиты.

Для КА «Січ-2» наилучшие условия для обмена информацией с МПУ возникают при его размещении на географических широтах $\varphi_r < 72,5^\circ$. Как показано на рис. 2, для МПУ, расположенного в точке с географическими координатами $\varphi_r = 72^\circ 30' N$, $\lambda_r = 0^\circ$ (Норвежское море), видимыми являются 14 витков орбиты КА «Січ-2», одиннадцать из которых имеют

угол места больше 7° , что обеспечивает устойчивую радиосвязь с КА. Продолжительность нахождения КА в пределах зоны радиовидимости МПУ составляет от 10 мин. 27 с до 13 мин. 59 с, общее информационное время радиосвязи составляет 142 мин. 30 с, что в 2,8 раза больше чем информационный обмен при управлении с НПУ за одни сутки.

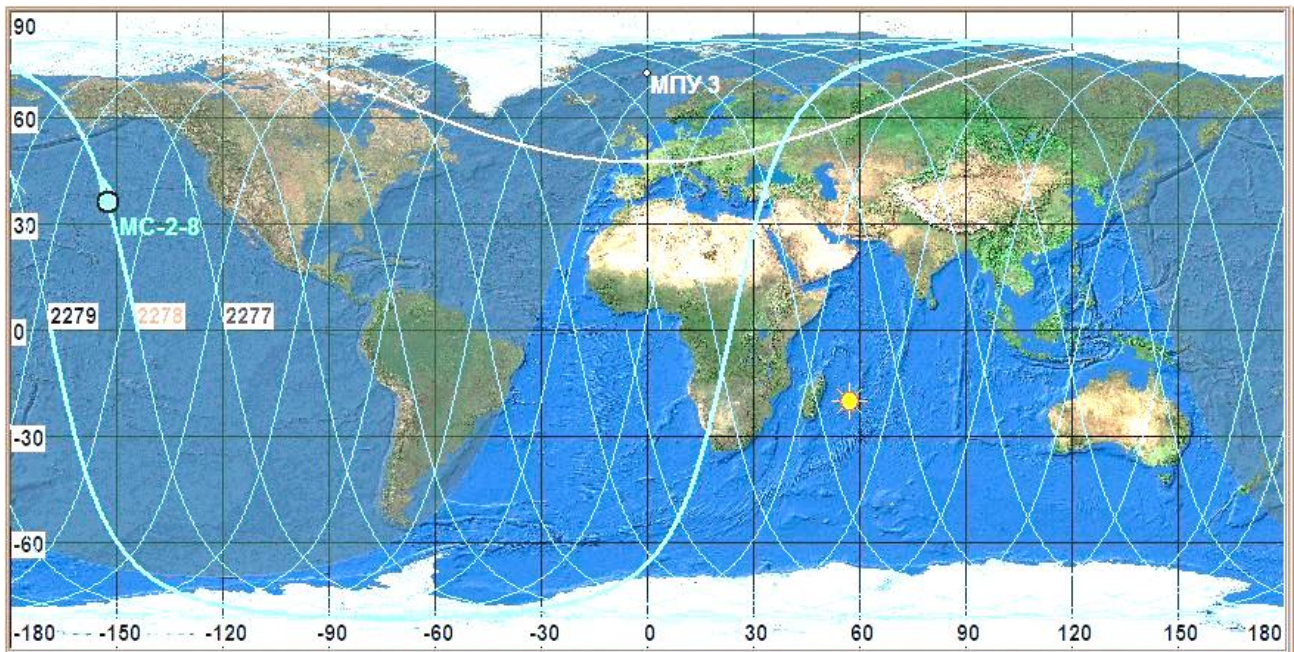


Рис. 2. Графическое изображение зоны радиовидимости КА «Січ-2» (район северной части Норвежского моря, 17.01.2012)

Выводы. Как следует из проведенного исследования, основными направлениями и тенденциями в развитии систем управления КА оптико-электронного наблюдения будут:

- повышение эффективности функционирования системы управления КА оптико-электронного наблюдения за счет увеличения количества пунктов управления КА;
- повышение оперативности доведения информации до потребителей в масштабе времени, близком к реальному;
- увеличение скорости и объема передаваемых данных;
- внедрение методов бортовой обработки и сжатия данных;
- использование бортовых управляемых антенн и высокоскоростных линий связи в радио и оптическом диапазоне;
- использование универсальных микроспутниковых платформ для создания системы КА;
- унификация бортовой специальной и служебной аппаратуры.

По результатам исследования предложено использование исследовательского судна «Горизонт», находящегося в оперативном управлении Киевской государственной академии водного транспорта, в качестве морского пункта управления КА дистанционного зондирования Земли. Проведенные исследования повышения эффективности системы управления КА путем использования МПУ подтверждают достоверность полученных результатов и возможность их практической реализации.

Список литературы

1. Пути повышения эффективности функционирования украинских космических систем наблюдения Земли / В. И. Богомья, В. С. Давыдов, А. Н. Загоруйко и др. // Водный транспорт: зб. наук. пр. – К.: КДАВТ, 2010. – Вип. 11. – С. 5–11.

2. *Основные* направления создания морского комплекса управления космическими аппаратами / С. В. Козелков, В. В. Панин, В. И. Богомья и др. // Системи управління навігації та зв'язку. – К.: ДП «ЦНДІ навігації і управління», 2011. – Вип. 2(18). – С. 2–5.
3. *Блоха Д. А.* Комплекс мониторинга загрязнения водной поверхности / Д. А. Блоха, В. И. Богомья, В. С. Давыдов // Водний транспорт: зб. наук. пр. – К.: КДАВТ, 2011. – Вип. 12. – С. 10–13.
4. *Давидов В. С.* Морські пункти управління як засіб забезпечення зв'язку з низькоорбітальними космічними апаратами / В. С. Давидов // Системи управління навігації та зв'язку. – К.: ДП «ЦНДІ навігації і управління», 2011. – Вип. 4(20). – С. 41–43.
5. *Навігаційне* забезпечення управління рухом суден: навч. посіб. / В. І. Богомья, В. С. Давидов, В. В. Доронін и др. – К.: Компас, 2012. – 335 с.

В. М. Азарсков, В. І. Богомья, Д. А. Блоха, В. С. Давидов

Підвищення ефективності системи керування космічними апаратами шляхом використання морського пункту

Виконано аналіз принципів побудови системи керування космічними апаратами оптико-електронного спостереження, визначено недоліки існуючих методів керування космічними апаратами з використанням однопунктної технології керування. Розглянуто шляхи підвищення ефективності системи керування космічними апаратами з використанням морського пункту керування.

V. N. Azarskov, V. I. Bogomya, D. A. Blocha, V. S. Davydov

Improving the efficiency of the system control of spacecraft by use of the sea point control

The purpose of this article is to discuss some problems of existing control methods with a single location scheme. The analysis of principles of the monitoring system contract controlling spacecraft by means of optical electronic space instruments has been accomplished.

The research focuses on the development of methods of improving of the efficiency system of spacecraft by using marine point locations for spacecraft control based on the application of 'Sich' satellite system.