

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛОЖЕНИЙ БИОКИБЕРНЕТИКИ

### PERFECTION OF THE METHODOLOGICAL SCHEME OF DESIGNING OF SPACE VEHICLES ON THE BASIS OF POSITIONS OF BIOLOGICAL CYBERNETICS

**Аннотация.** В настоящей статье рассматривается возможность применения при проектировании космических аппаратов теоретически описанных закономерностей управления биологическим организмом. Это дает двойной эффект. Во-первых, появляется возможность улучшения характеристик за счет более совершенного использования располагаемых им в полете ресурсов. Во-вторых, на основе этих положений обеспечивается теоретическая поддержка начальных этапов проектирования, которую не обеспечивают применяемые методы.

В работе описана прототипная модель, позволяющая внести в устройство вновь создаваемого космического аппарата закономерности управления биологическим организмом и методическая схема разработки на основе прототипной концептуальной и математической моделей вновь проектируемого изделия.

**Annotation.** In present clause is considered an opportunity of application at designing space vehicles theoretically described laws of management by a biological organism. It gives double effect. First, there is an opportunity of improvement of characteristics due to more perfect use had by it in flight of resources. Secondly, on the basis of these positions theoretical support of the initial stages of designing which is not provided with applied methods is provided.

In work it is described prototype model, allowing bringing in the device of again created space vehicle law of control of a biological organism and the methodical scheme of development on the basis of prototype conceptual and mathematical models of again projected product.

**Ключевые слова.** Космический аппарат, автономность, проектирование, управление, прототип, концептуальная модель, математическая модель.

**Key words.** Space vehicle, autonomy, designing, control, the prototype, conceptual model, mathematical model.

Для многих видов космических аппаратов характерна высокая степень автономности. Это означает, что в течение длительных отрезков времени они должны при неопределенно меняющихся разнообразных внешних условиях выполнять задачи полета без управления с Земли. Т.е. осуществлять «самостоятельное» (кавычки означают, что самостоятельность определяется алгоритмическим обеспечением) распоряжение располагаемыми ресурсами для решения задачи полета. При этом космический аппарат может использовать только те аппаратные и конструктивные возможности и запасы, которые заложены в нем при проектировании. Возникает проблема достижения комплексного компромисса между:

- необходимостью обеспечения достаточного выбора возможностей для синтеза процесса функциониро-

вания космического аппарата и ограничением наличных энергетических и аппаратных ресурсов, используемых при этом;

- целенаправленностью функционирования и обеспечением работоспособного функционального состояния;
- противоречивыми условиями использования различных возможностей управления.

Следует подчеркнуть, что при проектировании современных малых космических аппаратов и микроспутников на их массу, размеры и энергопотребление накладываются жесткие ограничения, что ограничивает и их функциональные возможности. Что, в свою очередь, ухудшает условия возможности достижения указанного компромисса.

Биологический организм является для нас образцом решения такой задачи. Исследования в области биокibernетики ([6, 11] и др.) позволили получить соответствующее теоретическое описание. Его сущность состоит в том, что при совершенствовании «устройства» биологического организма приоритет отдается «алгоритмическим» решениям по взаимодействию имеющихся «аппаратных» и «конструктивных» ресурсов. И только при исчерпании этих возможностей усложняется «конструкция». Это и обуславливает интерес к использованию биокibernетики в проектировании космических аппаратов.

Но комплексное введение в известную область новых идей требует анализа не только ожидаемого эффекта, но и выявления предпосылок, позволяющих осуществить это органично.

Фундаментальной предпосылкой является то, что воспроизведение «наработанного» природой является основным содержанием нашей инженерной деятельности. Природа является исходным прототипом для создаваемой техники [4, 13]. Первым осознанным обращени-

тия решений об устройстве вновь создаваемого изделия стали регулярно использовать чертежи. Качественный шаг в том, что чертеж – это графическая модель, формализованное отображение устройства создаваемого изделия. Формирование замысла об устройстве, доведении его до обоснования реальности изготовления было методически отделено от изготовления изделия. Основой для выполнения технического объекта стала детальная практическая модель – его проект [5]. Переход к работе с моделями обособил проектирование как вид профессиональной деятельности. И обращение к биокibernетическим положениям – это расширение модельного оснащения проектантов современной техники.

От этих предпосылок, действительных для проектирования различных видов техники, перейдем к анализу проблемы применения новых положений. Сосредоточимся на конкретной области техники.

Основные этапы сложившейся методической схемы проектирования показаны на рис. 1.

В сложившейся традиции проектирования, основанной на чертежно-графическом моделировании, в ка-

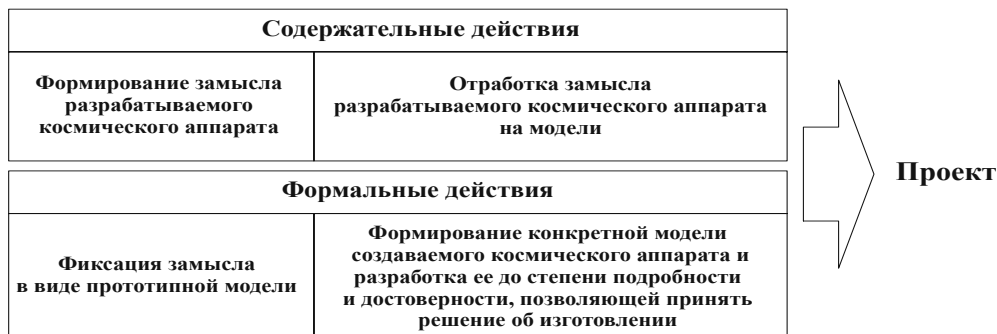


Рис. 1. Основные этапы методической схемы проектирования космических аппаратов

ем к природным прототипам стала бионика, изучающая естественные конструкции и их свойства и пути применения этих знаний в инженерной практике [3]. Биокibernетические идеи, связанные с изучением и применением закономерностей организации и управления функционированием биологического организма, следует рассматривать в качестве следующего шага в направлении изучения «технического опыта» природы и его применения в практике. Необходимость этого шага обусловлена тем, что в разрешении описанного в начале статьи противоречия природа комплексно использовала как «конструкторские», так и «управленческие» решения.

Другие предпосылки связаны с методическими аспектами. Проектирование как область деятельности сформировалось в середине XIX века [8], когда для приня-

честве прототипа использовалось изделие-аналог. Таковым мог быть или космический аппарат аналогичного назначения или аппарат, разработанный предприятием для других целей. Прототипная модель представляет собой отображение замысла вновь создаваемого изделия в виде конструктивно-компоновочной схемы и характеризует пространственно-геометрические решения его устройства. По ним можно только опосредованно судить о тех характеристиках, о которых было сказано в начале статьи. Недостаточность чертежно-графического моделирования для проектирования современных технических систем отмечена в ряде публикаций [7, 8, 12, 14, 15].

Обращение к положениям биокibernетики можно рассматривать как усовершенствование этой методической схемы. В этом случае в качестве прототипа ис-

пользуется модель, в которой зафиксированы решения, описывающие проявление и взаимодействие функций организма в процессе его целенаправленной деятельности. Все основные теоретические положения, позволившие сформировать такую модель, представлены в работе [1]. В ее основе динамическая модель, в которой двумя точками в двух системах координат, связанных отношениями, описывается управляемое движение объекта (рис. 2.).

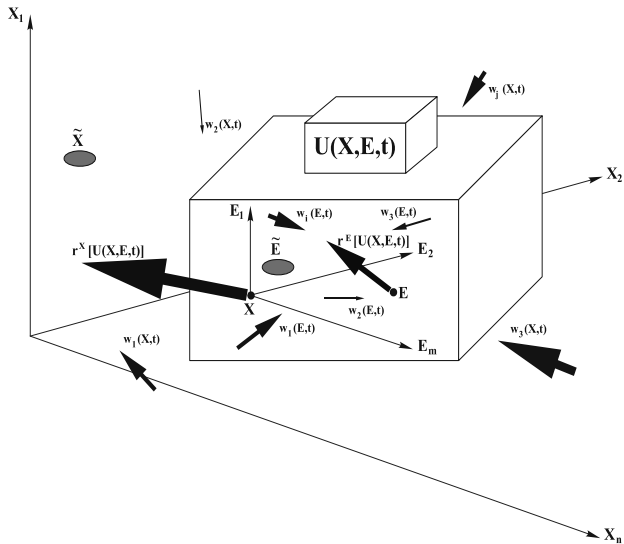


Рис. 2. «Общий вид» двухточечной модели

На этом рисунке применены следующие обозначения:

$X$  и  $E$  – системы координат для внешнего и внутреннего пространств;

$\tilde{X}$  и  $\tilde{E}$  – целевые области в пространствах внешних и внутренних координат;

$w_1(X, t), \dots, w_j(X, t), w_1(E, t), \dots, w_i(E, t)$  – воздействия, оказывающие влияние на моделируемый объект и несущие в себе неопределенность;

$U(X, E, t)$  – управление, формируемое объектом для достижения цели в условиях неопределенности;

$r^X[U(X, E, t)], r^E[U(X, E, t)]$  – функции, проявляемые объектом в пространствах внешних и внутренних координат.

В пространстве внешних координат  $X$  (рис. 3), где объект рассматривается как целое образование, точкой отображается его движение к цели  $\tilde{X}$  за счет проявления функций  $r^X[U(X, E, t)]$  и при возмущающих воздействиях внешней среды  $w_1(X, t), \dots, w_j(X, t)$ .

В пространстве внутренних координат  $E$  (рис. 4), где объект представляется как состоящий из частей, точкой отображается его движение к заданному функциональному состоянию  $\tilde{E}$  за счет проявления функций  $r^E[U(X, E, t)]$  и возмущающих воздействий  $w_1(E, t), \dots, w_i(E, t)$ .

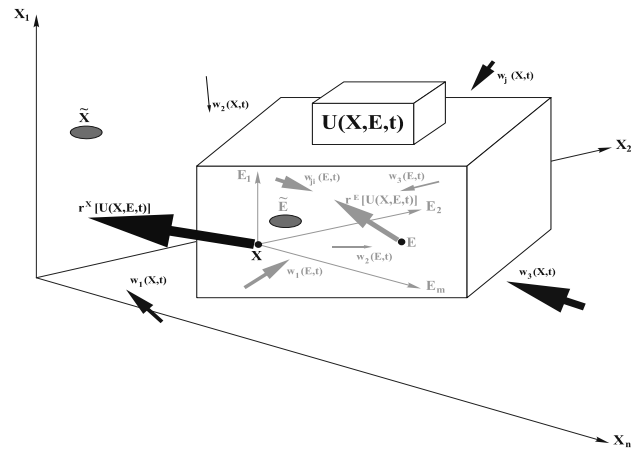


Рис. 3. Пространство внешних координат модели

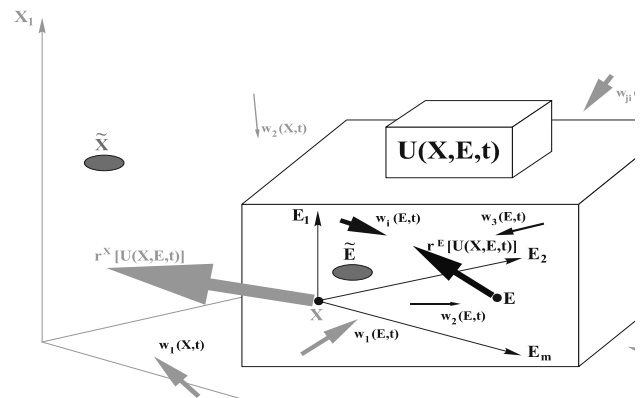


Рис. 4. Пространство внутренних координат модели

Очевидно отношение между этими частями модели (рис. 5).

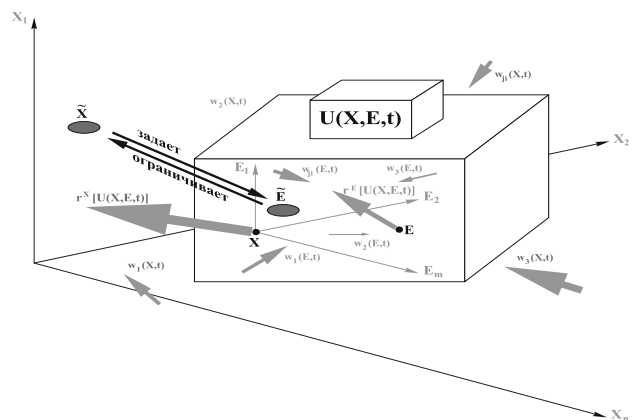


Рис. 5. Отношение пространств внешних и внутренних координат модели

С одной стороны,  $\tilde{X}$  и текущее положение отображающей точки в пространстве внешних координат является фактором, задающим  $\tilde{E}$ . С другой стороны, текущее положение отображающей точки в пространстве внешних координат ограничивает возможные траектории движения к цели в пространстве внешних координат.

Для раскрытия моментов, связанных с использованием свойств управления биологическим организмом, используем математическую запись, соответствующую данной двухточечной модели.

$$\begin{aligned} F_X(X) - F_X(\tilde{X}) &= 0; \\ \frac{dF_X}{dt} &= f_F^X[w(X,t); r(U(X,E,t))]; \\ \frac{d\ddot{X}_1}{dt} &= f_1^X[w(X,t); r(U(X,E,t))]; \\ \frac{d\ddot{X}_2}{dt} &= f_2^X[w(X,t); r(U(X,E,t))]; \\ \frac{d\ddot{X}_n}{dt} &= f_n^X[w(X,t); r(U(X,E,t))]; \end{aligned} \quad (1)$$

где

$$\begin{aligned} F_Y(E) - F_Y(\tilde{E}) &= 0, \\ \tilde{E} &= f_U[X - \tilde{X}, w(X,t), w(E,t)]; \\ \frac{dF_E}{dt} &= f_F^E[w(E,t); r(U(X,E,t))]; \\ \frac{d\ddot{E}_1}{dt} &= f_1^E[w(E,t); r(U(X,E,t))]; \\ \frac{d\ddot{E}_2}{dt} &= f_2^E[w(E,t); r(U(X,E,t))]; \\ \frac{d\ddot{E}_m}{dt} &= f_m^E[w(E,t); r(U(X,E,t))]. \end{aligned}$$

Здесь  $F_X, F_E$  – целевые функции в пространствах внешних и внутренних координат;  $n$  и  $m$  – размерности этих пространств;  $t$  – время;  $f_F^X, f_F^E, f_1^X, f_2^X, \dots, f_n^X, f_1^E, f_2^E, \dots, f_m^E, f_U$  – функции общего вида, конкретная запись которых определяется задачей моделирования.

Положения биокibernетики [6, 11] позволили сформировать общий вид  $U(X, E, t)$  решения этой системы уравнений [1]. Он представляет собой описание схемы структурно-функциональной организации, использующей особенности биологического организма. В это описание входят структура целей и определяемая ими структура реакций по их достижению, в ходе которых выполняются функции организма, условия распоряжения и исполнения этих реакций, а также параметры, характеризующие уровень проявления функций. Таким образом, задача поиска вида управления в данной модели сводится к интерпретации и конкретизации базовой схемы структурно-функциональной организации.

Из этого видно, что задача проектирования свелась к синтезу управления процессом целенаправленного функционирования космического аппарата. И основной способ решения этой задачи – интерпретация и конкретизация базовой схемы структурно-функциональной организации.

В решении задачи построения конкретной модели следует выделить два этапа: формирование концептуальной модели и формирование математической модели (рис. 6.).

Концептуальная модель фиксирует замысел в виде понятийного описания [10].

Методическая последовательность построения концептуальной модели применительно к проектированию космических аппаратов включает в себя:

- формулирование цели полета, критериев и показателей, характеризующих ее выполнение;
- формулирование состава участков полета, их целей, а также показателей, характеризующих достижение;
- формулирование состава процессов, обеспечивающих функциональное состояние космического аппарата и инфраструктурных целей, с помощью которых будет осуществляться управление этими процессами;
- определение состава реакций, обеспечивающих выполнение сформированного комплекса целей;
- декомпозиция реакций, определение элементарных функций и соответствующих им элементарных механизмов управления, формирование алгоритмов проявления элементарных функций в реакциях.

Объем статьи не позволяет дать подробную характеристику, но, стоит отметить факт теоретической поддержки каждого шага этой процедуры формирования концептуальной модели, которая становится основой для формирования математической модели. Это следующий этап формализации, когда обеспечивается работа с количественными характеристиками.

Состав и содержание концептуальной модели определяют методическую последовательность формирования математической модели:

- формирование целевой функции и функционала, характеризующего достижение цели полета;
- формирование состава уравнений, описывающих движение космического аппарата в пространстве внешних координат (это уравнения, описывающие изменение целевой функции, линейное и угловое движение);
- формирование функционала, характеризующего состояние космического аппарата;
- формирование состава уравнений, описывающих функциональное состояние космического аппарата (это уравнения, описывающие изменение целевой функции в пространстве внутренних координат, изменение электрического баланса, теплового баланса, изменения запаса топлива и т.д.);
- формирование математического описания, характеризующего модель управления и введение ее в соз-



Рис. 6. Последовательность формирования моделей в ходе разработки проекта

даваемую математическую модель.

В итоге получается модель, позволяющая проводить имитационные испытания по выполнению схемы полета. В нее входит комплекс характеристик устройства космического аппарата. Их значения определяются в ходе испытаний. Эти значения становятся основанием для выбора устройства космического аппарата. Затем наступает переход к чертежно-графическому моделированию и разработке конструкторской документации.

Таким образом, применение биокибернетических положений позволяет усовершенствовать существующую методическую схему проектирования космических аппаратов, обеспечив формализацию стадий, предшествующих применению чертежно-графических методов. За

счет более ранней фиксации и формализации замысла проектируемого космического аппарата снижается трудоемкость его проектирования. Это обусловлено как снижением вариативности на начальных стадиях (это обусловлено совершенством решения по структурно-функциональной организации, найденного в ходе «проектирования организма»), так и тем, что проверка этих вариантов осуществляется с помощью методов концептуального и математического моделирования, значительно менее трудоемких, чем чертежно-графические методы.

В заключение стоит отметить два важных момента.

Основные моменты, связанные с использованием положений биокибернетики, были применены при выполнении проектных работ, проводимых КБ «Салют».

Эти методические подходы могут быть применены и в других отраслях. Кроме космических аппаратов, аналогичные требования предъявляются и к ряду других видов перспективных технических систем (автономные

подводные аппараты, робототехнические устройства и т.п.) [9]. Изложенные методические подходы рассматривались также и в отношении проблематики организации предприятий [2].

#### Литература

1. Бахур АБ. Системные идеи в современной инженерной практике (интегративно-функциональный подход к исследованию сложных систем) – М.: «Пров-пресс», 2000.
2. Бахур АБ. Предприятие в условиях неопределенности // «Менеджмент в России и за рубежом» – 2006, № 3 – с.
3. Биотехнические системы. Теория и проектирование. /Под ред. В.М. Ахутина. – Л.: ЛГУ, 1981.
4. Богданов АА. Тектология (Всеобщая организационная наука). – М.: "Финансы и статистика", 2003.
5. Гаспарский В. Праксеологический анализ проектно-конструкторских разработок (Пер. с польского п/р д.т.н. АИ. Половинкина) – М.: Мир, 1978.
6. Горский Ю.М. Основы гомеостатики. – Изд-во ИГЭА, 1998.
7. Дворянкин АМ, Половинкин АИ, Соболев АН. Методы синтеза технических решений. – М.: Наука, 1977.
8. Джонс Дж.К. Методы проектирования. (пер. с английского) – М.: "Мир", 1986 – 326 с.
9. Интеллектуальные системы автономных аппаратов для космоса и океана и метод технико-биологических аналогий. /Под ред. В.В. Бугровского. – М.: ИПУ РАН, 1997.
10. Никаноров С.П. Концептуальные методы. /«Проблемы и решения» Научно-практический сборник. № 12 (2001) – М.: Концепт, 2001, стр. 118-127.
11. Новосельцев В.Н. Теория управления и биосистемы. М.: "Наука", 1978 – 308 с.
12. Новиков Б.К. Основы теории принятия решений при проектировании. – М.: Изд-во МГТУ, 1992.
13. Хайдеггер М. Наука и осмысление. (пер. В.В. Бибихина) // Время и бытие. – М.: Республика, 1993, стр. 238–252.
14. Ebrlenspiel K. Kostengünstig Konstruieren. Springer, Berlin-Heidelberg, 1985.
15. Eversheim W. Organization in der Produktionstechnik. Bd.2, VDI Verlag, Düsseldorf, 1990.

Материал поступил в редакцию 10. 02. 2009г.