

УДК 629.7.018.74

Н.В. ЗОСИМОВИЧ*Национальный авиационный университет, Киев, Украина***РОБОТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА С КОМБИНИРОВАННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ДПЛА ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ПРИРОДОРЕСУРСНОГО И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Рассмотрена методика структурно-параметрического проектирования роботизированной комбинированной системы управления полетом дистанционно-пилотируемым летательным аппаратом для оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды. В работе представлены реализации принципов проектирования роботизированной системы с комбинированным автономно-дистанционным, супервизорным и комбинированным управлением полетом с использованием библиотеки стандартных преобразований у оператора.

Ключевые слова: экологический и природоресурсный мониторинг, система автономно-дистанционного управления, экстремальное регулирование, роботизированное управление, кинематическая схема, оператор, сплайн-функция

Введение

В различных областях современной экологической науки возникают аналогичные с точки зрения методики исследования задачи, решение которых требует оперативной природоресурсной и экологической информации из труднодоступной области в заданный момент времени и с достаточной периодичностью. Решение такой задачи является реальным при использовании современных технических средств. Дистанционно-пилотируемыми называют беспилотные летательные аппараты (ДПЛА), во время управления которыми оператор выполняет функции, близкие к действиям пилота. В наше время во многих странах создано большое количество ДПЛА, различающиеся схемой, конструкцией и летно-техническими характеристиками, и, к тому же наблюдается тенденция к созданию автоматических многоцелевых ДПЛА со взлетной массой до 100 кг.

Формулирование проблемы. Постановка задачи экстремального регулирования системы управления ДПЛА для оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды

предполагает нестационарность управляемого экстремального объекта (ЭО). Один из возможных общих подходов к организации процесса управления в указанных условиях связан с процедурой адаптации на основе метода обучающей модели (рис. 1). Блок идентификации И в режиме нормальной работы подстраивает характеристики модели М под изменяющиеся во времени характеристики объекта – ДПЛА. При этом каналы связи идентификатора и объекта, необходимые для собственно процесса идентификации, на рис. 1 не показаны.

Общие соотношения. Возможные формы проведения указанного процесса экстремального автоматического регулирования представлены в работах [1 – 4]. Например, в ряде случаев новый цикл идентификации следует начинать непосредственно после предыдущего, не ожидая окончания процесса оптимизации (наложение интервалов $\Delta t_{И}$ и $\Delta t_{П}$). При достаточно медленном дрейфе экстремума функционала $J(x, t)$ повторяются процедуры подстройки модели и вектора управляющих параметров x по неизменной модели $I(x, t)$ и т.д.

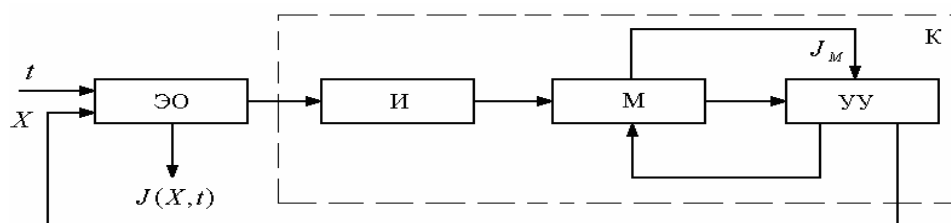


Рис. 1. Система экстремального регулирования ДПЛА для оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды:

К – часть системы, реализованная в управляющем компьютере; ЭО – экстремальный объект (ДПЛА);

И – блок идентификации; М – модель; УУ – управляющее устройство

В любом случае для удовлетворительной работы устройства в целом необходимо выполнение определенных соотношений между скоростью дрейфа экстремума (как по аргументу, так и по функционалу) и временными интервалами $\Delta t_{И}$ и $\Delta t_{П}$. Эти соотношения определяются конкретной формой реализации изложенной процедуры и требованиями к максимально допустимой величине отклонения процесса от оптимального режима.

В схеме управления ДПЛА для оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды (рис. 1) методы структурно-параметрической оптимизации используются дважды, определяя, с одной стороны, работу идентификатора И, а с другой – управляющего устройства УУ. В конечном счете, от эффективности соответствующих алгоритмов существенно зависят рабочие промежутки $\Delta t_{И}$, $\Delta t_{П}$, а следовательно, быстродействие и область применимости всей системы регулирования.

1. Решение проблемы. Структурно-параметрическое проектирование роботизированной системы с комбинированным автономно-дистанционным управлением полетом ДПЛА для оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды

Разработка роботизированной системы с комбинированным автономно-дистанционным управлением (САДУ) проводилась с учетом результатов целого ряда исследований [5 – 13], предназначенных в частности, для решения таких промежуточных задач, как манипулирование объектом [14].

В основу принципа действия САДУ дистанционно-пилотируемым летательным аппаратом для оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды было положено совместное осуществление функций автономного, экстремального и дистанционного управления в целях достоинств каждого из этих методов в сложных условиях эксплуатации, связанных с наличием значительных временных задержек и ограниченностью динамических рабочих характеристик при отсутствии сенсорной обратной связи [15, 16].

В подобной ситуации решающая роль в повышении эффективности работы роботизированной системы в режиме автономного управления отводится человеку-оператору, который может принимать решения об изменении выполняемых операций или об их отмене на основе анализа информации, недоступной для систем автономного управления

ввиду ограниченности их логических функциональных возможностей.

1.1. Реализация принципа структурно-параметрического проектирования комбинированного управления ДПЛА для оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды

В целях реализации принципа структурно-параметрического комбинированного управления [17 – 19] для построения САДУ дистанционно-пилотируемым летательным аппаратом для оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды была разработана блок-схема (рис. 2).

В процессе эксплуатации САДУ дистанционно-пилотируемым летательным аппаратом для оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды в задачу человека-оператора входит осуществление контроля за формированием команд, подлежащих обработке в режиме как автономного, так и супервизорного управления (рис. 3).



Рис. 3. Компонка САДУ ДПЛА «Альбатрос»

Выбор типа реализуемого режима управления производится оператором с помощью селектора, который позволяет задействовать тракты автономного и супервизорного управления за счет выдачи управляющих сигналов на срабатывание соответствующих устройств. С помощью джойстика оператор может контролировать работу блока, служащего для регулировки скорости выполнения обрабатываемых команд.

Благодаря этому у оператора имеется возможность внесения изменений в характер работы САДУ дистанционно-пилотируемым летательным

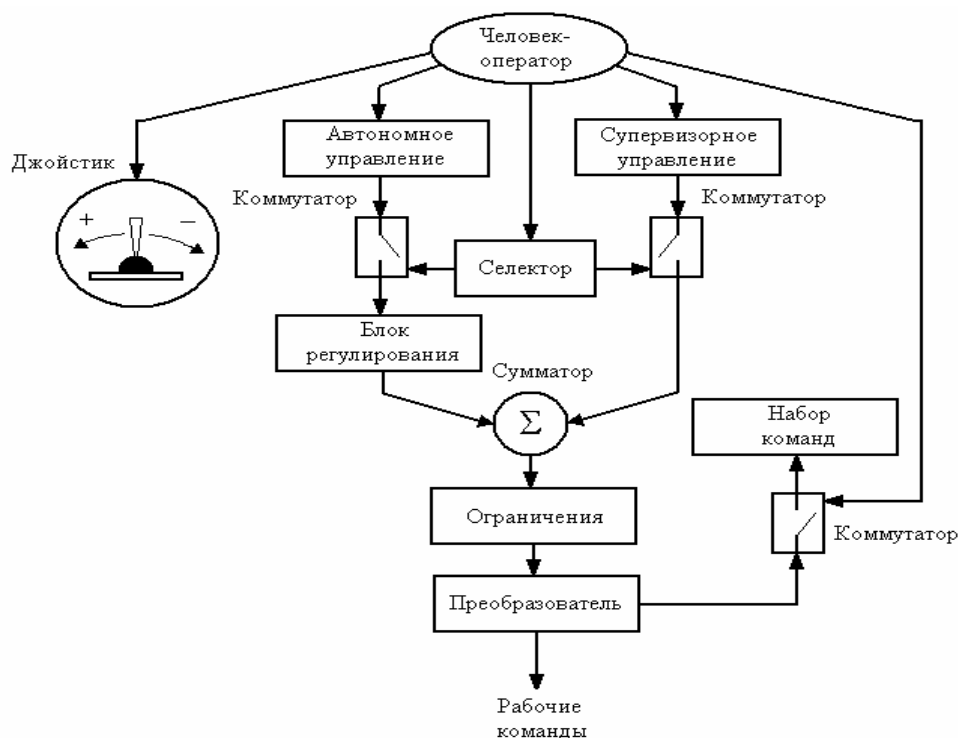


Рис. 2. Блок-схема системы автономно-дистанционного управления ДПЛА для оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды

аппаратом для оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды в режиме автономного управления путем регулировки ее быстродействия. В распоряжении оператора имеется также переключатель – коммутатор, позволяющий осуществлять запись в память запоминающего устройства тех предварительных составляющих команд, задающих характер движения исполнительного органа, которые подлежат последующей обработке в автономном режиме. При работе в режиме комбинированного управления команды автономного и супервизорного управления объединяются друг с другом в виде объединенных команд, которые затем подвергаются проверке с точки зрения ограничений, накладываемых на допустимые движения исполнительного органа. После завершения проверки рассматриваемые команды преобразуются в рабочие команды, подлежащие непосредственной обработке исполнительным органом ДПЛА для оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды.

По выбору оператора работа САДУ дистанционно-пилотируемым летательным аппаратом для оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды может осуществляться в режимах автономного, дистанционного или комбинированного управления, каждый из которых имеет определенные особенности и выбирается исходя из учета конкретных условий эксплуатации применяемой роботизированной системы.

1.2. Реализация супервизорного управления ДПЛА для оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды

Режим дистанционного управления ДПЛА для оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды связан с реализацией супервизорного управления, в процессе осуществления которого исполнительный орган копирует движения задающего манипулятора. Для осуществления дистанционного управления подобного типа, блок-схема которого представлена на рис. 4, человеку-оператору необходимо с помощью ведущего контроллера задать кинематическую схему, которая независимо от кинематической структуры задающего и исполнительного манипулятора должна устанавливать взаимосвязь между их движениями.

В целях решения этой задачи в процессе перемещения оператором задающего манипулятора по траектории, соответствующей решению поставленной задачи, производятся измерения положения с последующим использованием данных о кинематических параметрах для расчета положения руки оператора в декартовых координатах рабочего пространства в функции времени t . В случае наличия в составе задающего манипулятора n сочленений подобные расчеты, связанные с решением прямой кинематической задачи, можно производить следующим образом:

$$T_m(t) = \begin{bmatrix} n_m(t) & o_m(t)a_m(t) & p_m(t) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \prod_{i=1}^r A_{m_i}(t),$$

где T_m – однородное преобразование относительного положения и угловой ориентации руки оператора по отношению к началу системы декартовых координат рабочего пространства [20]; n_m, o_m, a_m – вектора, задающие угловую ориентацию; p_m – вектор, задающий положение; A_{m_i} – однородное преобразование, описывающее относительное поступательное перемещение и поворот соседних сочленений задающего манипулятора.

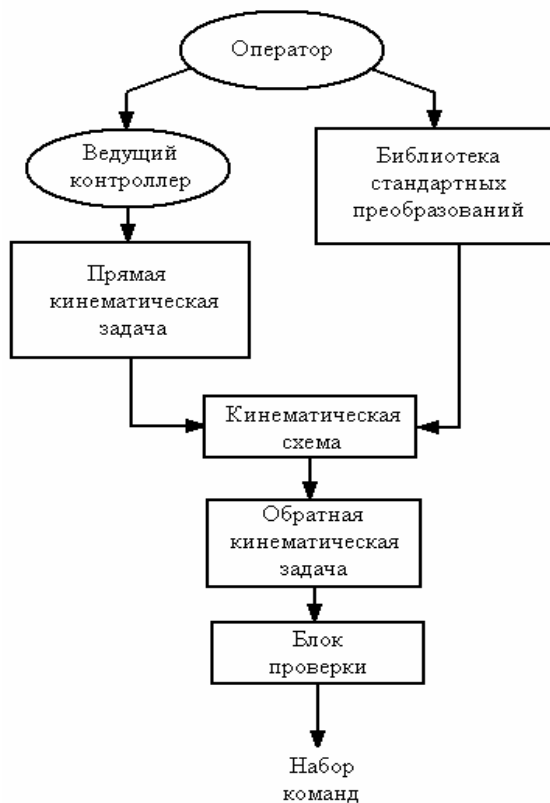


Рис. 4. Блок-схема дистанционного управления ДПЛА для оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды

В распоряжении оператора имеется библиотека стандартных преобразований, из которой он может выбрать требуемые преобразования (масштабирование, сдвиг и т.д.) в целях их использования для получения преобразованных кинематических схем T_{map} , которые затем будут применяться в ходе реализации алгоритма формирования кинематической схемы следующим образом:

$$T_t(t) = \begin{bmatrix} n_t(t) & o_t(t)a_t(t) & p_t(t) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \frac{T_m(t)}{T_{map}} A_{m_i}(t),$$

где T_t – преобразование, задающее положение и угловую ориентацию рабочего органа (манипулятора) по отношению к началу системы декартовых координат рабочего пространства в процессе работы этого робота в режиме супервизорного управления.

Следующим этапом является решение обратной кинематической задачи, в процессе чего в ходе осуществления вычислений производится переход от T_t к соответствующему вектору, который определяет положения сочленений исполнительного органа и записывается в следующем виде:

$$T_t(t) = f(n_t(t), o_t(t), a_t(t), p_t(t)).$$

Команды на изменение положений сочленений исполнительного органа, формируемые на основе полученного вектора, должны удовлетворять ограничениям, которые накладываются исходя из учета допустимых диапазонов перемещений исполнительного органа и условий его эксплуатации. После выполнения подобной проверки формируется набор соответствующих команд (рис. 4), пригодных для дальнейшей отработки.

При работе в режиме автономного управления для предварительной подготовки данных, определяющих характер выполняемых промежуточных задач по захвату и манипулированию органами ДПЛА, может использоваться один из следующих двух способов:

- задание положений исполнительного органа ДПЛА для оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды в пространстве с последующей интерполяцией на основе использования трехмерных сплайн-функций [21];
- регистрация данных о перемещениях исполнительного органа ДПЛА в процессе работы манипуляционного робота в режиме дистанционного управления.

Процесс формирования команд в режиме автономного управления ДПЛА для оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды осуществляется согласно блок-схеме (рис. 5).

Блок-схема (рис. 5) соответствует случаю формирования команд на выполнение задач, распадающихся на целый ряд отдельных самостоятельных промежуточных задач, каждая из которых в свою очередь подлежит реализации за счет осуществления определенных движений исполнительного органа ДПЛА для оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды.

Указанные промежуточные задачи подразделяются на два типа [22], к первому из которых относятся промежуточные задачи, чья реализация основывается на выполнении предварительно составлен-

ных наборов команд по переводу исполнительного органа в заданное положение, в то время как промежуточные задачи второго типа выполняются за счет осуществления команд, записанных ранее в ходе соответствующих перемещений исполнительного органа ДПЛА для оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды. При подготовке команд для работы в режиме автономного управления (рис. 5) оператор ДПЛА прежде всего разбирает решаемую задачу на n промежуточных задач, после чего задает начальные и конечные промежуточные положения исполнительного органа для каждой записанной промежуточной задачи, а также определяет начальные и конечные положения сочленений исполнительного манипулятора для всех промежуточных задач, входящих в состав реализуемой задачи.



Рис. 5. Блок-схема формирования команд в режиме автономного управления ДПЛА для оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды

Параллельно с этим оператор задает для каждой промежуточной задачи значения таких параметров, как скорость, ускорение, время перемещений и т.п.

На основе использования подготовленных таким образом исходных данных формируются сплайн-функции, устанавливающие взаимосвязь между соседними промежуточными задачами.

Вслед за этим составленные команды подвергаются проверке с точки зрения накладываемых ограничений, в результате чего формируются команды (рис. 5), которые пригодны для использования в дальнейшем в целях управления перемещением отдельных сочленений исполнительного манипулятора ДПЛА для оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды по заданной траектории. На этапе разбиения решаемой задачи на отдельные промежуточные задачи каждая такая промежуточная задача определяется следующим образом:

$$T_{a_n}(t) = \begin{bmatrix} n_{a_n}(t) & o_{a_n}(t) & a_{a_n}(t) & p_{a_n}(t) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

где T_a – преобразование, задающее положением угловую ориентацию исполнительного органа манипуляционного робота ДПЛА в системе декартовых координат рабочего пространства при работе в режиме автономного управления.

Расчет вектора, определяющего положения сочленений исполнительного органа, осуществляется в ходе решения обратной кинематической задачи следующим образом:

$$\Theta_{a_n}(t) = f(n_{a_n}(t), o_{a_n}(t), a_{a_n}(t), p_{a_n}(t)).$$

В целях задания характера движений, которые выполняются манипуляционным роботом ДПЛА для оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды для перемещения его исполнительного органа из конечного положения, соответствующего предыдущей промежуточной задаче для каждого сочленения рабочего органа вводятся данные, определяющие длительность перемещения Δt_n , а также накладываются граничные условия на значения соответствующих скоростей и ускорений. Благодаря этому выражение, которое определяет характер траектории при переходе из конечного положения, соответствующего $(n-1)$ -й промежуточной задаче, в начальное положение, заданное для n -й промежуточной задачи, может быть записано в следующем виде:

$$\Theta_{a_n}(t) = C_n b(t),$$

где C_n – матрица коэффициентов трехмерных сплайн-функций [22], определяемая на основе использования заданных граничных условий, а также с использованием данных о начальных и конечных положениях исполнительного органа ДПЛА; $b(t) = [t^3 t^2 t]^T$; t – время, изменяющееся в пределах от 0 до Δt_n .

Третьим из рассматриваемых режимов работы САДУ ДПЛА для оперативного природоресурсного

и экологического мониторинга окружающей среды является ее работа в режиме комбинированного управления, в случае реализации которого происходит суммирование команд автономного и дистанционного управления, так что результирующая комбинированная команда может быть представлена следующим образом:

$$\Theta_S(t) = \Theta_t(t) + \Theta_{an}(\tau).$$

Масштабирование времени при использовании команд автономного управления осуществляется в соответствии со следующим соотношением:

$$\tau = k_j t,$$

где k_j – коэффициент масштабирования, величина которого вводится с помощью ручки управления (джойстика) (рис. 2).

В целях экспериментальной демонстрации функциональных возможностей, реализуемых с помощью разработанной САДУ ДПЛА для оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды, может быть построена экспериментальная модель этой системы, включающая в свой состав следующие основные компоненты:

1. Задающий манипулятор с шестью степенями подвижности с двумя степенями подвижности.
2. Исполнительный манипулятор с шестью степенями подвижности, снабженный системой управления движениями.
3. Распределенная микропроцессорная система управления [23].

Заключение

Предложена методика структурно-параметрического проектирования роботизированной системы с комбинированным автономно-дистанционным управлением полетом ДПЛА и выполнен анализ чувствительности систем управления на основе исследования особых точек матрицы передачи.

Литература

1. Мэтьюз Дж.Г. Численные методы. Использование MATLAB, 3-е изд.: Пер. с англ. / Дж.Г. Мэтьюз, Д. Финк Куртис. – М.: Изд. Дом «Вильямс», 2001. – 720 с.
2. Растринин Л.А. Современные принципы управления сложными объектами / Л.А. Растринин. – М.: Сов. радио, 1980. – 324 с.
3. Растринин Л.А. Системы экстремального управления / Л.А. Растринин. – М.: Наука, 1974. – 288 с.
4. Стронгин Р.Г. Численные методы в много-экстремальных задачах / Р.Г. Стронгин. – М.: Нау-

ка, 1978. – 327 с.

5. Andary T. The Flight Telerobotic Servicer Tinman Concept: System Drivers and Task Analysis / T. Andary, D. Hewitt, D. Hinkal // Proc. Of NASA Conf. on Space Telerobotics; Pasadena. – 1989. – Vol. 3. – P. 47-53.

6. Conway L. Teleautonomous System: Method and Architectures for Intermingling Autonomous and Telerobotic Technology / L. Conway, R. Volz // Walker IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation; Raleigh, NC. – 1987. – Vol. 2. – P. 1121-1130.

7. Conway L. Teleautonomous System: Projecting and Trans / L. Conway, R. Volz, M. Walker // Robotics and Automation. – 1990. – Vol. 6. – P. 146-158.

8. Harrison F. System Architectures for Telerobotic Research / F. Harrison // Proc. Of the NASA Conf. on Space Telerobotics; Pasadena, CA. – 1989. – Vol. 3. – P. 141-148.

9. Kan E. The JPL Telerobotic Operator Control Station: Part I – Hardware / E. Kan, J. Tower, G. Huncka // Proc. of the NASA Conf. on Space Telerobotics; Pasadena, CA. – 1989. – Vol. 2. – P. 49-51.

10. Kan E. The JPL Telerobotic Operator Control Station: Part II – Software / E. Kan, P. Landell, S. Oxenberg, C. Morimoto // Proc. of the NASA Conf. on Space Telerobotics; Pasadena, CA. – 1989. – Vol. 2. – P. 52-62.

11. Sato T. Motion Understanding and Structured DD Master-slave Manipulator for Cooperative Teleoperator / T. Sato, S. Hirai // Proc. of 3rd Intl. Conf. on Advanced Robotics; Versailles, France. – 1987. – P. 551-562.

12. Sheridan T.B. Teleoperators, Telepresence and Teledyne / T.B. Sheridan // Synposium of Undersea Teleoperators and Intelligent Autonomous Vehicles; MIT, Boston, MA. – 1986. – P. 3-15.

13. Wamler C. Teleoperators, Supervisory Control / C. Wamler // International Encyclopedia of Robotics: Application and Automation (Edited by Dorf, R.); John Wiley & Sons. – 1988. – Vol. 3. – P. 1740-1747.

14. Zhou W.J. Multi-CPU based, shared Autonomous Teleoperated Manipulator Control / W.J. Zhou // Mechanical Engineering, University of Wisconsin-Madison. – 1988. – P. 140-147.

15. Бойков А.Д. Методы расчета автоматического управления с использованием вычислительных машин / А.Д. Бойков. – Саранск: Изд-во Мордовского гос. ун-та им. Н.П. Огарева, 1975. – 219 с.

16. Chapel J.D. Performance of Bilateral Force Reflection Imposed by Operator Dynamic Characteristics / J.D. Chapel // Proc. Of NASA Conf. on Space Telerobotics; Pasadena, CA. – 1989. – Vol. 4. – P. 91-100.

17. Половинкин А.И. Автоматизация поискового конструирования / А.И. Половинкин, Н.К. Бобков, Г.Я. Бум. – М.: Радио и связь, 1981. – 270 с.

18. Половинкин А.И. Автоматизированные системы поискового конструирования / А.И. Половинкин // Материалы I Всесоюзного совещания по автоматизации проектирования в машиностроении. АН БССР, Минск, 1978. – С. 88-96.

19. Зосимович Н.В. Структурно-параметрическая оптимизация силовых конструкций дистанционно-пилотируемых летательных аппаратов оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды / Н.В. Зосимович // Региональный вестник молодых ученых. – М.: Academia, 2005. – №3. – С. 97-98.

20. Craig J.J. Introduction to Robotics: Mechanics and Control / J.J. Craig // Addison-Wesley. – 1988. – P. 29-37.

21. Зотов А.А. Автоматизированный расчет на прочность и устойчивость конструкций летательных аппаратов: учеб. пособие / А.А. Зотов. – М.: Изд-во МАИ, 1992. – 152 с.

22. Bollinger J. Computer Control of Machines and Processes / J. Bollinger, N. Duffie // Automation and Robotics. Addison-Wesley. – 1988. – P. 136-145.

23. Duffie N. Test Bed Experiments and Configurations / N. Duffie, S. Wiker, J. Zik // Automation and Robotics. Houston, TX, July. – 1989. – P. 637-644.

Поступила в редакцию 29.09.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф., Засл. деятель науки и техники, проф. кафедры механизации Л.В. Лось, Житомирский национальный агроэкологический университет, Житомир.

РОБОТИЗОВАНА СИСТЕМА З КОМБІНОВАНИМ КЕРУВАННЯМ ДПЛА ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ПРИРОДОРЕСУРСНОГО ТА ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ

М.В. Зосімович

Розглянута методика структурно-параметричного проектування роботизованої комбінованої системи керування польотом дистанційно-пілотованим літальним апаратом для оперативного природоресурсного та екологічного моніторингу довкілля. У роботі представлені реалізації принципів проектування роботизованої системи з комбінованим автономно-дистанційним, супервізорним та комбінованим управлінням польотом із використанням бібліотеки стандартних перетворень у оператора.

Ключові слова: екологічний та природоресурсний моніторинг, система автономно-дистанційного управління, екстремальне регулювання, роботизовано керування, кінематична схема, оператор, сплайн-функція.

ROBOTIZED SYSTEM WITH COMBINED CONTROL TO UNMANNED FLYING VEHICLE FOR OPERATIVE ENVIRONMENTAL AND ECOLOGICAL MONITORING

N.V. Zosimovich

The technique of structural and parametrical designing of the robotized combined control system by unmanned flying vehicle for operative environmental and ecological monitoring is considered. In this article was realizations are principles of designing the robotized system with combined independent-remote, supervision and the combined control of flight under using the library of standard transformations at the operator are submitted.

Key words: environmental and ecological monitoring, system of independent-remote control, the extreme regulation, robotized control, the kinematics circuit, the operator, spline-function

Зосимович Николай Владимирович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры международной информации Национального авиационного университета, Киев, Украина, e-mail: nzosimovich@nau.edu.ua.