

Из графика видно, что впускной коллектор оригинальной формы дает прибавку мощности в диапазоне 2000–2900 об/мин порядка 6 лошадиных сил и крутящего момента – 18 Н/м, а в диапазоне 3100–5100 об/мин около 10 лошадиных сил и крутящего момента – 12 Н/м.

Результаты эксперимента доказали достоверность компьютерного моделирования.

Закключение. По результатам полученных данных и проведенной работе видно, что изменение формы, переход к симметричной модели дает существенную прибавку мощности и крутящего момента. На данный момент изучается возможность влияния формой впускного тракта на экологические характеристики двигателей внутреннего сгорания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике / Алямовский А.А., Собачкин А.А., Одинцов Е.В., Харитонович А.И., Пономарев Н.Б. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 1040 с.
2. SolidWorks. Практическое руководство. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2004. – 448 с.
3. Дейч М.Е. Техническая газодинамика. Изд. 2-е. изд., перераб. – М.-Л. Госэнергоиздат, 1961. – 680 с.
4. Основы прикладной газодинамики. Моделирование газодинамических течений. А.П. Шашкин: Учебное пособие. Новосибирск. 2001. – 89 с.
5. Драганов Б.Х., Круглов М.Г., Обухова В.С. Конструирование впускных и выпускных каналов двигателей внутреннего сгорания. – К.: Виша шк. Головное изд-во, 1987. – 175 с.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Р.А. Нейдорф.

Тихонов Роман Александрович

Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: tanz-sa@rambler.ru.

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: +79044426439.

Кафедра электротехники и мехатроники; магистрант.

Tikhonov Roman Alexandrovich

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: tanz-sa@rambler.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: +79044426439.

The Department of Electrical Engineering and Mechatronics; Master.

УДК 621.865.8-182.3

Б.В. Гуренко

СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОДВОДНЫМИ ГЛАЙДЕРАМИ

Рассматриваются принципы функционирования и структурно-алгоритмическая организация системы управления подводных глайдеров, а также существующие системы подводных глайдеров, проанализирован их состав. Представлена математическая модель и проведено моделирование движения глайдера вдоль заданных пилообразных траек-

торий, имеющих различные параметры. Получена взаимосвязь параметров пилообразной траектории и энергетических затрат.

Подводный глайдер; системы автоматического управления.

B.V. Gurenko

STRUCTURED ORGANIZATION OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS UNDERWATER GLIDER

In this paper considers principles of operation and structural organization of control systems underwater gliders. Considered existing system of underwater gliders, analyzed their composition. Paper presents a mathematical model and simulated the motion of the glider along a given-sawtooth trajectories with different parameters. Obtained correlation parameters sawtooth trajectory and energy costs.

Underwater glider; automatic control system.

Введение. Подводный глайдер – это тип автономных подводных необитаемых аппаратов (АНПА), который использует малые изменения в плавучести в сочетании с «крыльями» для преобразования вертикального движения в горизонтальное и, тем самым, обеспечивает продвижение вперед с очень низким энергопотреблением. Скорость глайдеров значительно ниже обычных АНПА, но за счет низкого энергопотребления, они обладают рядом свойств, которые делают их предпочтительными в некоторых задачах. Основное назначение глайдеров – это выполнение задач в открытом море, цель которых получение данных о состоянии морской среды в течение длительных промежутков времени или на большой акватории. Глайдеры применяются при проведении длительных наблюдений в арктических или антарктических условиях, или в открытом море в течение длительного времени или обхватывая большие расстояния.

Обзор подводных глайдеров. В мире сегодня наблюдается повышенный интерес к разработкам и использованию подводных аппаратов, обладающих большой и сверхбольшой (от недель до года) продолжительностью автономного плавания. Такие подводные средства уже хорошо зарекомендовали себя при решении исследовательских океанографических задач, связанных с широкомасштабными измерениями параметров среды в водной толще и вблизи дна. Из-за особенностей конструкции они объединяются в один класс АНПА, именуемых подводными глайдерами или планерами, которые являются дальнейшим эволюционным развитием притопленных дрейфующих буев типа ALACE, MARVOR, PROVOR, APEX и SOLO. В мире уже создан ряд функционально завершенных проектов подводных глайдеров: проекты США Sea Glider, Spray Glider, XRay Glider, Slocum-E и Slocum-T, французский проект Sterne (ранее – Glisserius) и др. В глайдерах широко применяются химические источники тока, устройства преобразования тепловой энергии океана (изменения температуры воды) в механическую энергию, запасаемую в аккумуляторе давления и другие энергосберегающие технологии.

Масса глайдеров изменяется в пределах 50–120 кг, длина от одного метра до трех.

Аппарат Spray, представленный на рис. 1, был сконструирован американскими учеными из Калифорнийского университета в Сан-Диего и Института океанографии в Вудс-Хоул (штат Массачусетс) [1].

Дальность плавания глайдера Spray составляет до 6000 км. Аппарат может находиться в море месяцами с относительно небольшими затратами, позволяя ученым наблюдать широкомасштабные изменения под поверхностью океана. Аппарат погружается и всплывает по запрограммированному курсу за счет перекачивания одного литра минерального масла между двумя емкостями, одной – внутри

алюминиевого корпуса, другой — снаружи. Путем изменения плотности аппарата по отношению к окружающей воде он всплывает или погружается, а гидродинамические плоскости обеспечивают подъемную силу для движения вперед. Аккумуляторы обеспечивают энергией все подсистемы глайдера. Для отправки данных и измерения координат с помощью GPS аппарат, находясь на поверхности, поворачивается на бок, чтобы поднять из воды антенну GPS, встроенную в правый плавник. Данные передаются на наземный пункт, и исследователи могут их подвергнуть дальнейшей обработке.



Рис. 1. Внешний вид глайдера Spray

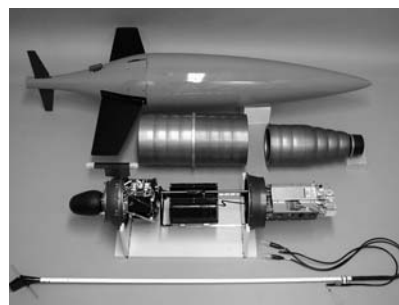


Рис. 2. Внешний вид глайдера Seaglider

Состав датчиков аппарата зависит от специфики выполняемой задачи. Аппарат может быть оборудован профилографом или акустическим лагом, датчиками измерения солености, температуры, глубины, мутности и т.д. Робот всплывает на поверхность три раза в день (каждые семь часов), примерно на пятнадцать минут. Протяженность суточного "проплыва" составляет около 20 км, а максимальная глубина, на которую способен опускаться аппарат, достигает 1500 метров.

Внешний вид аппарата Seaglider, разработанного специалистами Вашингтонского университета под руководством профессора океанографии Чарльза Эриксона (*Charles C. Eriksen*) [2], представлен на рис. 2.

В состав аппарата входят приёмник GPS, комплект литиево-ионных батарей, компьютерная система контроля, разнообразные датчики, система спутниковой связи и «плавательный пузырь» из эластичных полимеров, выполняющий роль балласта, способного изменять свою массу, тем самым изменяя плавучесть аппарата. Этот балласт находится в хвосте робота. Насосы выкачивают из него гидравлическую жидкость, при этом аппарат начинает погружаться, и закачивают обратно, при всплытии глайдера. Датчики и приборы на Seaglider ведут запись температуры, солёности, растворённого кислорода и разных биооптических характеристик воды.

Из представленного обзора видно, что отличительными особенностями глайдеров являются наличие подводных крыльев, способность изменять плавучесть и отсутствие гребных винтов. Управление креном, дифферентом и курсом глайдера, в общем случае, осуществляется изменения вектора положения r_p подвижной и постоянной массы m_p , и, как следствие, изменением положения центра тяжести глайдера. Благодаря наличию балласта, способного изменять свою массу, закачивая или выкачивая жидкость, глайдер обладает способностью изменять свою плавучесть. На рис. 3 представлено распределение массы в глайдерах. В некоторых моделях имеется возможность независимого управления рулями направления и крыльями, что позволяет получить глайдер с улучшенными маневренными характеристиками. Таким образом, управление креном, дифферентом и курсом в сочетании с плавучестью аппарата дает возможность управлять глайдерами в пространстве внешних координат.

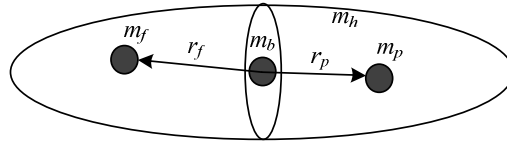


Рис. 3. Распределение массы подводного глайдера (m_p, r_p – масса и положение подвижной и постоянной массы глайдера, m_b, r_f – масса и положение неподвижной и постоянной массы, m_b – переменная масса глайдера, m_h – масса корпуса)

Структура системы управления. Для синтеза структуры системы управления подводным глайдером, его математическую модель можно представить в виде [3]:

$$\begin{aligned} \dot{Y} = \Sigma(\Theta, x) &= \begin{pmatrix} \Sigma_p(\Theta, x) \\ \Sigma_\Theta(\Theta, x) \end{pmatrix}, \\ \dot{x} &= M^{-1}F, \\ \dot{r}_p &= \frac{1}{m_p} P_p - W \times r_p, \\ \dot{P}_p &= \bar{u}, \\ \dot{m}_b &= u_b, \end{aligned}$$

где x – m -вектор внутренних координат; Y – n -вектор положения и ориентации связанной системы координат относительно базовой, $n \leq 6$; $\Sigma(\Theta, x)$ – n -вектор кинематических связей; $\Sigma_p(\Theta, x)$ – вектор линейных скоростей связанной системы координат относительно базовой; $\Sigma_\Theta(\Theta, x)$ – вектор угловых скоростей связанной системы координат относительно базовой M – $m \times m$ -матрица массо-инерционных параметров, элементами которой являются масса, моменты инерции, присоединенные массы глайдера; $F(x, Y, r_p, P_p, u, l, R)$ – m -вектор внешних и внутренних сил и моментов, здесь l – вектор конструктивных параметров, R – вектор гидродинамических сил и моментов; $\bar{u} = P_p \times W + F_p + u$, где u – $(m-1)$ вектор управляющих воздействий (внутренние силы, воздействующие на подвижную массу); W – вектор угловых скоростей глайдера; r_p – вектор положения подвижного груза; P_p – вектор импульса подвижной массы; m_p – изменяющаяся масса глайдера (масса баласта); F_p – вектор силы тяжести, действующий на подвижную массу в связанной системе координат.

Для исследования движения глайдера воспользуемся параметрами аппарата ROGUE, описанного в [3], и сформируем векторный закон управления на основе [4, 5, 6].

При синтезе структуры системы управления подводного глайдера учитывались результаты работы, полученные в [8, 9] для АНПА. Предлагаемая структура системы управления представлена на рис. 4 и включает в себя блок внешних сенсоров, планировщик, автопилот, исполнительные механизмы, датчики внутренней информации (ДВИ).

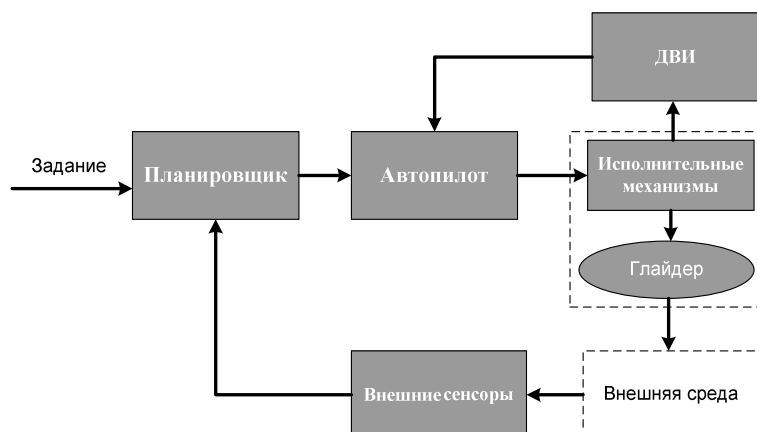


Рис. 4. Структурная схема подводного робота

Блок внешних сенсоров включает в себя GPS, альтиметры, сонары или иные датчики внешней информации. Планировщик перемещений, на основе сенсорных данных о состоянии внешней среды, определяет желаемые глобальные траектории движения глайдера. Автопилот, используя сформированные планировщиком траектории, а также информацию от датчиков внутренней информации (фотоимпульсные, индукционные и прочие датчики, устанавливаемые на органах управления робота), вырабатывает управляющие воздействия на исполнительные механизмы робота.

Как следствие особенностей глайдера, для перемещения в горизонтальной плоскости, ему необходимо совершать перемещения в вертикальной плоскости. Поэтому траектория движения будет иметь пилообразную форму. Зададим три разных траектории, траектория 1 отличается от траектории 2 большей амплитудой, а траектория 1 от траектории 3 – большим периодом пилообразной траектории. Результаты моделирования движения глайдера вдоль таких траекторий представлены на рис. 5, 6.

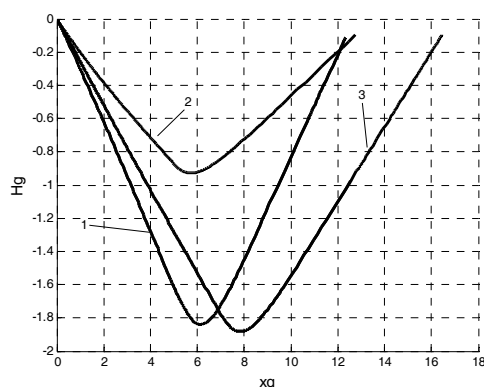


Рис. 5. Движения подводного глайдера по трем траекториям
1 – траектория 1; 2 – траектория 2; 3 – траектория 3

Графики изменения горизонтальной и вертикальной скоростей глайдера представлены на рис. 6.

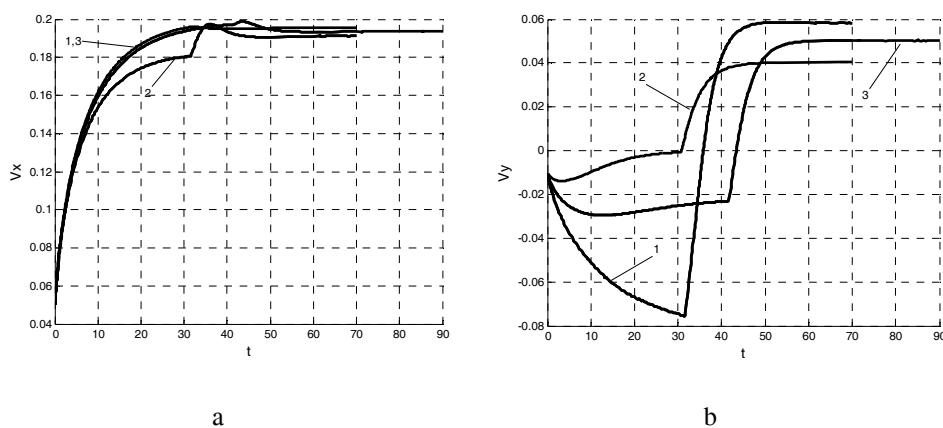


Рис. 6. Графики изменения горизонтальной(а) и вертикальной(б) скорости движения глайдера вдоль трех траекторий

На рис. 7 представлено изменение массы балласта глайдера.

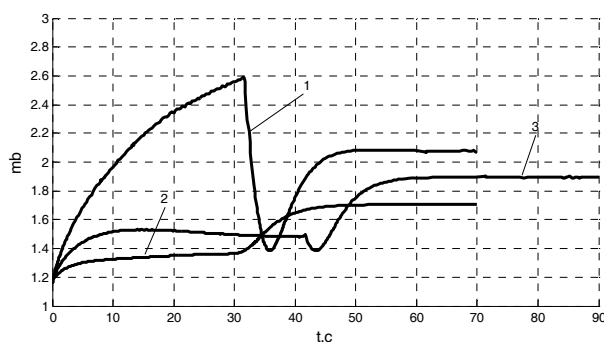


Рис. 7. Графики изменения массы балласта при движении вдоль разных траекторий

Из представленных результатов моделирования очевидно, что период и амплитуда траектории определяют энергетические затраты, необходимые для реализации движения.

Заключение. В статье представлена структурная организация системы управления и результаты моделирования движения глайдера, при использовании известных алгоритмов управления [7, 8, 9]. Полученные результаты позволят сформулировать задачу синтеза оптимальных управлений, минимизирующих критерий энергетических затрат.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. <http://www.popmech.ru/article/3101-vechniy-podvodnyiy>.
2. http://www.irobot.com/gi/maritime/1KA_Seaglider.
3. Naomi Ehrlich Leonard, Joshua G. Graver. Model-Based Feedback Control of Autonomous Underwater Gliders // Ieee Journal of Oceanic Engineering. – 2001. – Vol. 26, №. 4. – С. 633-645.
4. Пшихопов В.Х., Медведев М.Ю., Федоренко Р.В., Сиротенко М.Ю., Костюков В.А., Гуренко Б.В. Управление воздухоплавательными комплексами: теория и технологии проектирования. – М.: Физматлит, 2010. – 394 с.

5. *Пишихов В.Х.* Позиционно-тракторное управление подвижными объектами. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – С. 183.
6. *Пишихов В.Х., Медведев М.Ю.* Структурный синтез автопилотов подвижных объектов с оцениванием возмущений // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2006. – № 1. – С. 103-109.
7. *Пишихов В.Х.* Аттракторы и репеллеры в конструировании систем управления подвижными объектами // Известия ТРТУ. – 2006. – № 3 (58). – С. 49-57.
8. *Пишихов В.Х., Сиротенко М.Ю., Гуренко Б.В.* Структурная организация систем автоматического управления подводными аппаратами для априори неформализованных сред // Информационно-измерительные и управляющие системы. Интеллектуальные и адаптивные роботы. – М.: Изд-во Радиотехника, 2006. – № 1-3. – Т. 4. – С.73-79.
9. *Пишихов В.Х., Суконкин С.Я., Нагучев Д.Ш., Стракович В.В., Медведев М.Ю., Гуренко Б.В., Костюков В.А., Волощенко Ю.П.* Автономный подводный аппарат «СКАТ» для решения задач поиска и обнаружения затонувших объектов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № (104). – С. 153-163.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Р.А. Нейдорф.

Гуренко Борис Викторович

Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: boris.gurenko@gmail.com.

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: 88634371694.

Кафедра электротехники и мехатроники; аспирант.

Gurenko Boris Victorovich

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: boris.gurenko@gmail.com.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: +78634371694.

The Department of Electrical Engineering and Mechatronics; Postgraduate Student.