

УДК 629.127.4-52

РАЗРАБОТКА ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА «МАКС-300»

В.В. Костенко, Д.Н. Михайлов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем морских технологий ДВО РАН¹

Дается описание нового малогабаритного телеуправляемого необитаемого подводного аппарата (ТНПА) «МАКС-300», разработанного в ИПМТ ДВО РАН при сотрудничестве с МГУ им. адм. Г.И. Невельского. Аппарат предназначен для инспектирования гидротехнических сооружений, осмотра подводной части корпусов судов, сопровождения аварийно-спасательных работ на глубинах до 300 м, учебно-методической подготовки специалистов-операторов.

Малогабаритный телеуправляемый необитаемый подводный аппарат (ТНПА) «МАКС-300» был разработан ИПМТ в 2011 г. по техническому зада-

нию Морского государственного университета им. адмирала Г.И. Невельского. Аппарат предназначен не только для инспектирования гидротехнических

сооружений, освидетельствования корпусов судов и обеспечения аварийно-спасательной готовности на глубинах до 300 м, но и для учебно-методических задач с целью подготовки эксплуатирующего персонала в системе российского морского образования. В статье приведена структура ТНПА, рассмотрены его системы, представлены их технические характеристики, а также дан анализ некоторых технических решений, связанных с проектированием движительно-рулевого комплекса и системы управления движением. Кроме того, определены некоторые показатели эффективности использования этого аппарата.

■ Состав комплекса ТНПА

Подводный робототехнический комплекс «МАКС-300» состоит из ТНПА, надводного поста управления (НПУ) и кабеля связи на транспортировочной вьюшке. Функциональная схема комплекса приведена на рис. 1.

В базовый состав оборудования ТНПА входят блок энер-

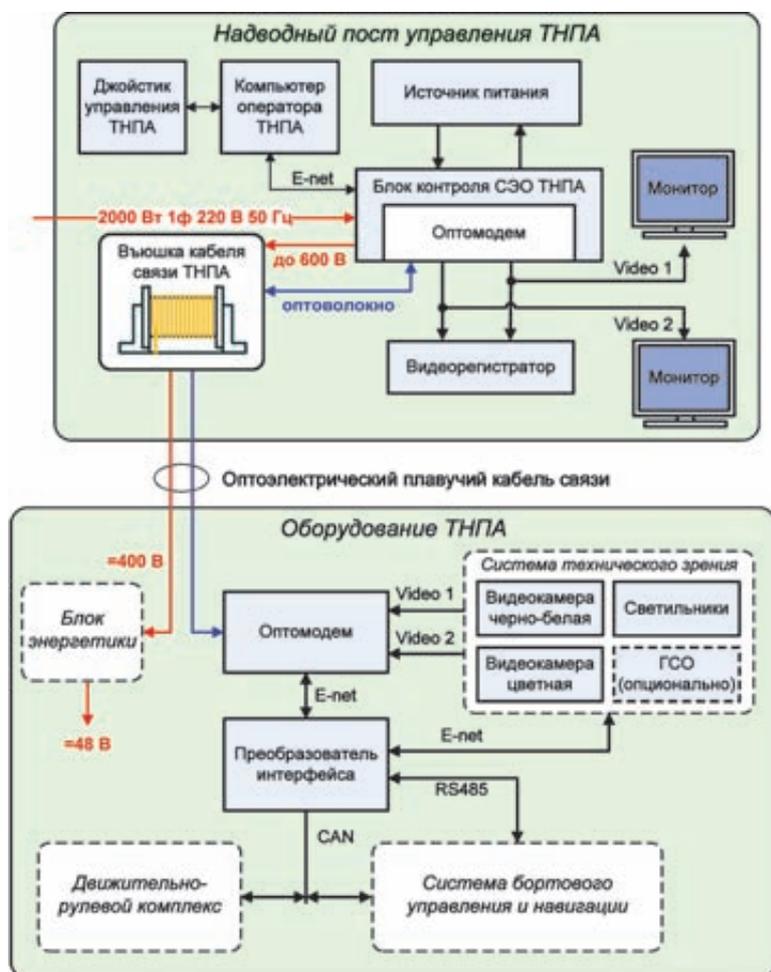


Рис. 1. Функциональная схема подводно-технического комплекса «МАКС-300»

¹ 690091, Владивосток, ул. Суханова, 5а; тел.: (423) 2432578; e-mail: kostenko@marine.febras.ru

гетики (БЭ), оптомодем, преобразователь интерфейса, система бортового управления и навигации (СБУН), движительно-рулевой комплекс (ДРК) и система технического зрения (СТЗ). Основные характеристики аппарата сведены в табл. 1.

В состав оборудования судна-носителя входят вьюшка с кабелем связи, компьютер оператора ТНПА типа ноутбук, джойстик управления ТНПА, дополнительные видеомониторы с видеорегистратором, программируемый источник питания комплекса, блок контроля СЭО и оптомодем, обеспечивающий прием двух видеопотоков и связь с аппаратом по интерфейсу E-net через оптоэлектрический кабель связи.

Корпусная система ТНПА состоит из несущей рамы, герметичных контейнеров для размещения электронного оборудования, блока плавучести и системы заборного монтажа. Для минимизации массы и размеров аппарата в качестве материала несущей рамы использован полипропиленовый лист с плотностью 920 кг/м³. Форма рамы обеспечивает рациональное размещение элементов и систем ТНПА при его минимальных габаритах, а также возможность крепления быстросъемного модуля с дополнительным оборудованием к днищу аппарата. Внешний вид ТНПА «МАКС-300» и его конструктивный облик иллюстрируют рис. 2, 3.

■ Движительно-рулевой комплекс

Выбранная компоновка движительно-рулевого комплекса обеспечивает управляемость аппарата по шести координатам – ход, лаг, глубина, курс, крен и дифферент (см. рис. 4).

Таблица 1. Тактико-технические характеристики комплекса ТНПА «МАКС-300»

Максимальная глубина погружения, м	300
Масса, кг	45
Габариты Д×Ш×В, мм	860×520×460
Скорость маршевого / лагового хода по поверхности, м/с	1,00 / 0,40
Скорость вертикального хода, м/с	0,50
Угловая скорость рыскания, град/с	75
Длина кабеля связи, м	350
Диаметр кабеля связи, мм	10
Интерфейс связи ТНПА – пост управления	Ethernet
Количество видеопотоков PAL	2
Максимальная потребляемая электрическая мощность, Вт	2000
Напряжение питания, В (50 Гц)	220

Связь управляющих воздействий с упорами движителей соответствует выражению:

$$\begin{aligned}
 F_x &= (F_{лкг} + F_{пкг} + F_{лнг} + F_{пнг}) \cdot \cos\alpha, \\
 F_y &= F_{лкв} + F_{пкв} + F_{лнв} + F_{пнв}, \\
 F_z &= (F_{пк} + F_{лк}) \cdot \sin\alpha + (F_{лн} - F_{пн}) \cdot \sin\alpha, \\
 M_x &= (F_{лнв} + F_{пкв}) \cdot d - (F_{пнв} + F_{лкв}) \cdot d, \\
 M_y &= (F_{пкг} + F_{лкг}) \cdot L_\phi + (F_{пнг} - F_{лнг}) \cdot L_\phi, \\
 L_\phi &= a \cdot \sin\alpha + b \cdot \cos\alpha, \\
 M_z &= (F_{лнв} + F_{пнв}) \cdot c - (F_{лкв} + F_{пкв}) \cdot c,
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где F_x, F_y, F_z – управляющие силы ДРК; M_x, M_y, M_z – управляющие моменты ДРК; $F_{лкг}, F_{пкг}, F_{лнг}, F_{пнг}, F_{лкв}, F_{пкв}, F_{лнв}, F_{пнв}$ – упоры движителей; $a=0,2$ м, $b=0,1$ м, $c=0,28$ м, $d=0,17$ м – параметры размещения движителей в связанной с аппаратом системе координат O_MXYZ ; $L_\phi=0,169$ м – плечо момента M_y ; $\alpha=22,5^\circ$ – угол поворота горизонтальных движителей относительно продольной оси OX . Основные характеристики ДРК приведены в табл. 2.

■ Проектирование движителя

В ходе проектирования движителя решалась задача определения требуемых параметров гребного винта по известным характеристикам приводного электродвигателя. При этом для выбранного типа гребного электропривода Fulhaber 4490 была получена эксперименталь-



Рис. 2. ТНПА «МАКС-300»

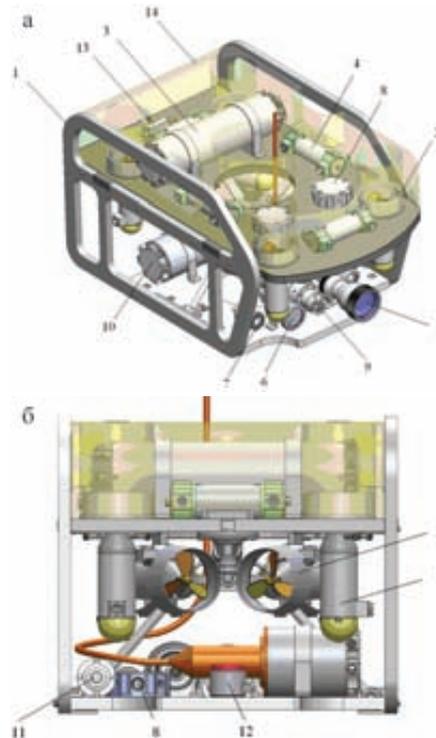


Рис. 3. Конструктивный облик ТНПА «МАКС-300»: 1 – несущая рама, 2 – движители, 3 – контейнер автопилота, 4 – контейнеры БУД, 5 – ЧБ видекамера, 6 – цветная видекамера, 7 – светодиодные светильники, 8 – коммутационная коробка, 9 – блок энергетики, 10 – блок оптомодема, 11 – датчик глубины, 12 – эхолот DST, 13 – компенсатор, 14 – блок плавучести

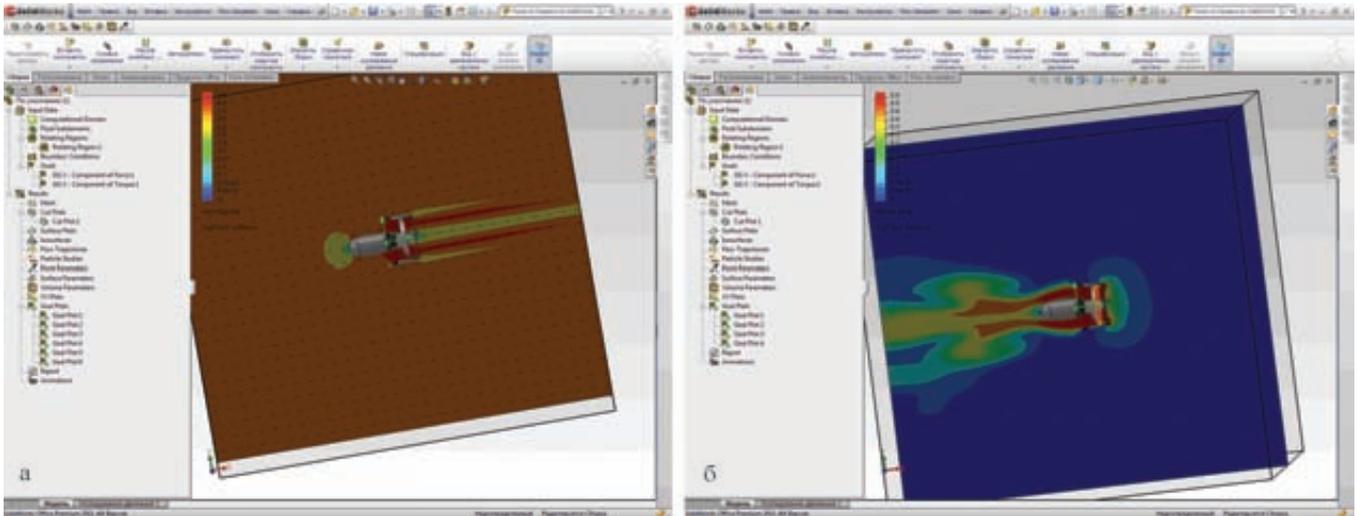


Рис. 6. Примеры результатов моделирования работы движителя ТНПА «МАКС-300»: а – $n_s=3,51$ об./с, $V_a=0,5$ м/с; б – $n_s= -3,51$ об./с, $V_a=0$ м/с.

В результате гидродинамического расчета с использованием COSMOSFloWorks были найдены параметры гребного винта, согласованного с электродвигателем Fulhaber 4490 в рабочей точке внешней характеристики ($n=3198$ об./мин, $N_b=140$ Вт). При этом расчетная тяга движителя в швартовом режиме составила 50 Н. Для получения кривых действия движителя $K_T(\lambda_p)$ и $K_M(\lambda_p)$ (см. рис. 7) полученные в ходе моделирования значения $T(n, V_a)$ и $N_b(n, V_a)$ пересчитывались в гидродинамические коэффициенты упора и момента по формулам [1, 2]:

$$K_T(\lambda_p) = \frac{T(n_s, V_a)}{\rho \cdot n_s^2 \cdot D^4},$$

$$K_M(\lambda_p) = \frac{M(n_s, V_a)}{\rho \cdot n_s^2 \cdot D^5},$$

В результате бассейновых испытаний были получены экспериментальные характеристики движителя, приведенные на рис. 8.

Средствами регрессионного анализа прикладной программы Advanced Grapfer (Alentum Software, Inc) было определено аналитическое описание экспериментальной статической характеристики движителя:

$$F_\theta^c(U_\theta) = \begin{cases} 49 \text{ Н, если } U_\theta > 127; \\ -1.8 \cdot 10^{-5} \cdot U_\theta^3 + 5.4 \cdot 10^{-3} \cdot U_\theta^2 - 5.6 \cdot 10^{-3} \cdot U_\theta - 0.305, \text{ если } 127 > U_\theta > 10; \\ 0, \text{ если } |U_\theta| \leq 10; \\ -8.17 \cdot 10^{-6} \cdot U_\theta^3 - 2.5 \cdot 10^{-3} \cdot U_\theta^2 + 1.03 \cdot U_\theta + 0.784, \text{ если } -10 > U_\theta > -128; \\ -37 \text{ Н, если } U_\theta < -127. \end{cases} \quad (2)$$

Анализ совокупности экспериментальных переходных характеристик (рис. 8, б) показал возможность представления динамики движителя аperiодическим звеном 1-го порядка вида

$$T_\theta \cdot \dot{F}_\theta + F_\theta = F_\theta^c(U_\theta), \quad (3)$$

где $T_\theta=0,16$ с – усредненная постоянная времени.

■ Система бортового управления и навигации

Основу цифровой СБУН составляет локальная вычислительная сеть, которую через оптоволоконные кабели и преобразователь интерфейса ИИК образуют бортовое оборудование аппарата, контроллер автопилота

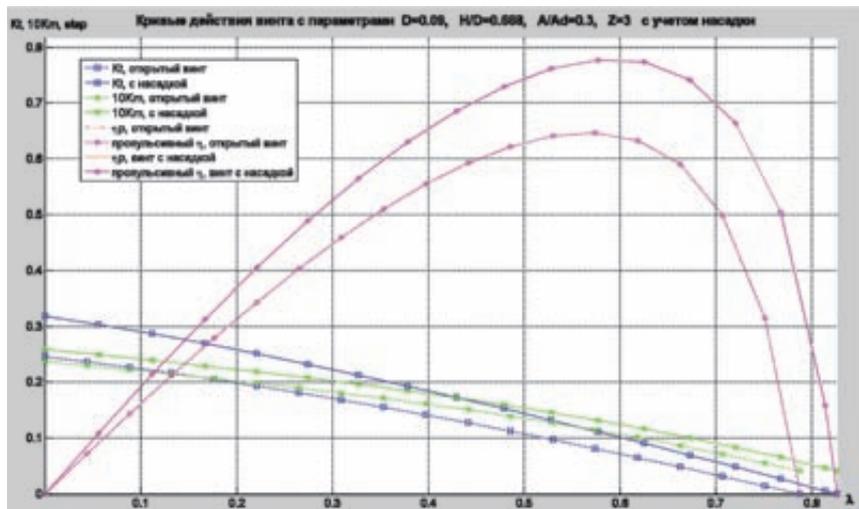


Рис. 7. Кривые действия гребного винта ($D=0,09$ м, $H/D=0,68$, $A_b/A_0=0,3$, $Z=3$) с учетом направляющей насадки и влияния корпуса электродвигателя

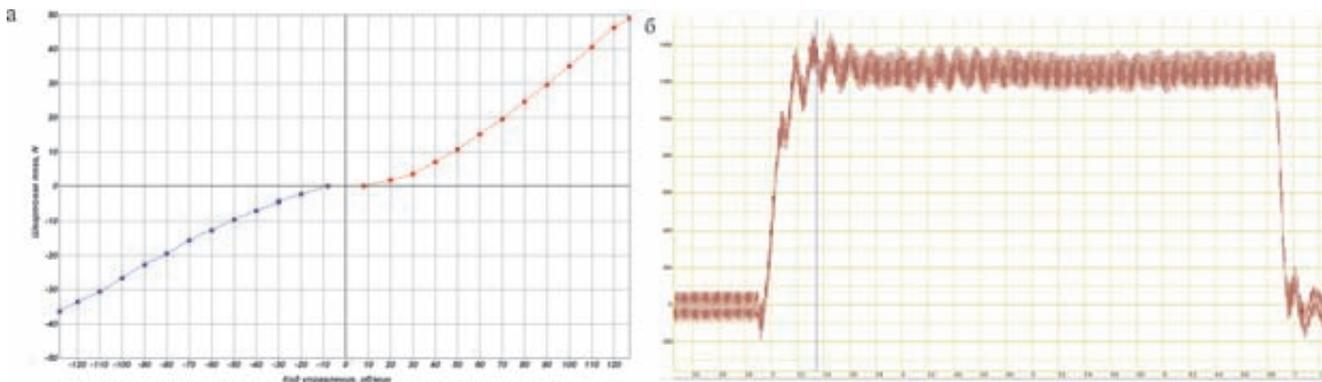


Рис. 8. Экспериментальные характеристики двигателя: а – статическая, б – переходная

компьютер оператора ТНПА (рис. 9).

СБУН ТНПА обеспечивает:

- реализацию движения аппарата в соответствии с выбранным оператором режимом, включая стабилизацию заданных значений курса и глубины/высоты, а также нулевых углов крена и дифферента;
- поддержку и контроль информационного обмена между подсистемами аппарата и судовым комплексом;
- в процессе работы аппарата диагностику бортовых систем.

Для наилучшего качества управления движением ТНПА во всех его каналах управления необходимо синтезировать регуляторы с такой структурой и параметрами, которые бы обеспечили минимальное перерегулирование и время переходных процессов, а также максимальную статическую и динамическую точность. ТНПА как объект управления представляет собой сложную нелинейную многосвязную динамическую систему высокого порядка, практически не поддающуюся аналитическому исследованию. Однако наличие контура угловой стабилизации ТНПА «МАКС-300» по крену и дифференту позволяет принять допущение о малости значений параметров углового движения

и упростить математическую модель динамики подводного аппарата, приведенную в [3].

При проектировании регуляторов движения была принята система уравнений вида:

$$\begin{cases} (m + \lambda_{11}) \cdot \dot{V}_x + k_x^{zc} \cdot V_x \cdot |V_x| = F_x + F_x^d + T_{ax}, \\ (m + \lambda_{22}) \cdot \dot{V}_y + k_y^{zc} \cdot V_y \cdot |V_y| = F_y - Q + T_{ay}, \\ (m + \lambda_{33}) \cdot \dot{V}_z + k_z^{zc} \cdot V_z \cdot |V_z| = F_z + F_z^d + T_{az}, \\ (J_x + \lambda_{44}) \cdot \dot{\omega}_x + k_\theta^{zc} \cdot \omega_x \cdot |\omega_x| - m \cdot y_c \cdot g \cdot \theta = M_x + M_x^d, \\ (J_y + \lambda_{55}) \cdot \dot{\omega}_y + k_\phi^{zc} \cdot \omega_y \cdot |\omega_y| = M_y + M_y^d, \\ (J_z + \lambda_{66}) \cdot \dot{\omega}_z + k_\psi^{zc} \cdot \omega_z \cdot |\omega_z| - m \cdot y_c \cdot g \cdot \psi = M_z + M_z^d, \\ \dot{\theta} = \omega_x, \quad \dot{\phi} = \omega_y, \quad \dot{\psi} = \omega_z, \\ \dot{\xi} = V_x \cdot \cos \varphi + V_z \cdot \sin \varphi, \quad \dot{\eta} = V_y = -\dot{H}, \quad \dot{\zeta} = -V_x \cdot \sin \varphi + V_z \cdot \cos \varphi, \end{cases} \quad (4)$$

где: m – масса ТНПА; J_x, J_y, J_z – осевые моменты инерции; λ_{ii} – присоединенные массы ($i = 1, 2, 3$) и присоединенные моменты инерции ($i = 4, 5, 6$); V_x, V_y, V_z и $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ – составляющие соответственно линейных и угловых скоростей движения ТНПА в связанной СК; y_c – метацентрическая высота; $k_x^{zc}, k_y^{zc}, k_z^{zc}, k_\theta^{zc}, k_\phi^{zc}, k_\psi^{zc}$ – коэффициенты гидродинамического сопротивления; $F_x, F_y, F_z, M_x, M_y, M_z$ – управляющие воздействия ДРК; T_{ax}, T_{ay}, T_{az} – проекции натяжения ходового конца кабеля в связанной системе координат; θ, ϕ, ψ – углы крена, курса и дифферента соответственно; $F_x^d = -(m + \lambda_{33}) \cdot V_z \cdot \omega_y$, $F_z^d = (m + \lambda_{11}) \cdot V_x \cdot \omega_y$,

$M_x^d = -m y_c \dot{V}_z + m y_c (V_x \omega_y - V_y \omega_x)$, $M_y^d = (\lambda_{11} - \lambda_{33}) \cdot V_x \cdot V_z$, $M_z^d = -m y_c \dot{V}_x - (\lambda_{22} - \lambda_{11}) V_x V_y + m y_c (V_z \omega_y - V_y \omega_z)$ – возмущения, обусловленные взаимовлиянием каналов управления через динамику ТНПА; Q – остаточная плавучесть аппарата; ξ, η, ζ – скорости движения центра масс аппарата в неподвижной системе координат. Расчетные параметры модели динамики ТНПА сведены в табл. 3.

Присоединенные массы и моменты инерции воды определялись в соответствии с диаграммами Гуревича–Римана [3] для эквивалентного трехосного эллипсоида. «Сухие» моменты

инерции и метацентрическая высота y_c были вычислены по 3-D модели аппарата средствами программы Solid Work, а коэффициенты гидродинамического сопротивления найдены в соответствии с установившимся режимами модели (3), экспериментально определенными скоростями движения (см. табл. 1) и максимальными управляющими воздействиями ДРК (см. табл. 2).

В данном случае были выбраны ПД-регуляторы в каналах позиционного регулирования (глубина, курс, крен и дифферент) и П-регуляторы в каналах регулирования маршевой и лаговой скоростей. Основными критериями выбора этих регуляторов в первую очередь явились их простота построения и использования, а также легкость в настройке и прозрачность процесса функционирования.

Сочетания регуляторов в каналах управления зависят от режима использования ТНПА. Для аппаратов обследовательского класса можно выделить три основных варианта использования: обследование объектов и идентификация гидроакустических малоразмерных целей, находящихся на донной поверхности (режим обследования дна); обследование гидротехнических сооружений, имеющих вертикальные поверхности (режимы обследования горизонтальными и вертикальными галсами). Организацию движения ТНПА в двух последних режимах иллюстрирует рис. 10.

В первом режиме аппарат обеспечивает гидроакустическое и фототелевизионное обследование горизонтальной донной поверхности. При этом регуляторы СБУН должны обе-

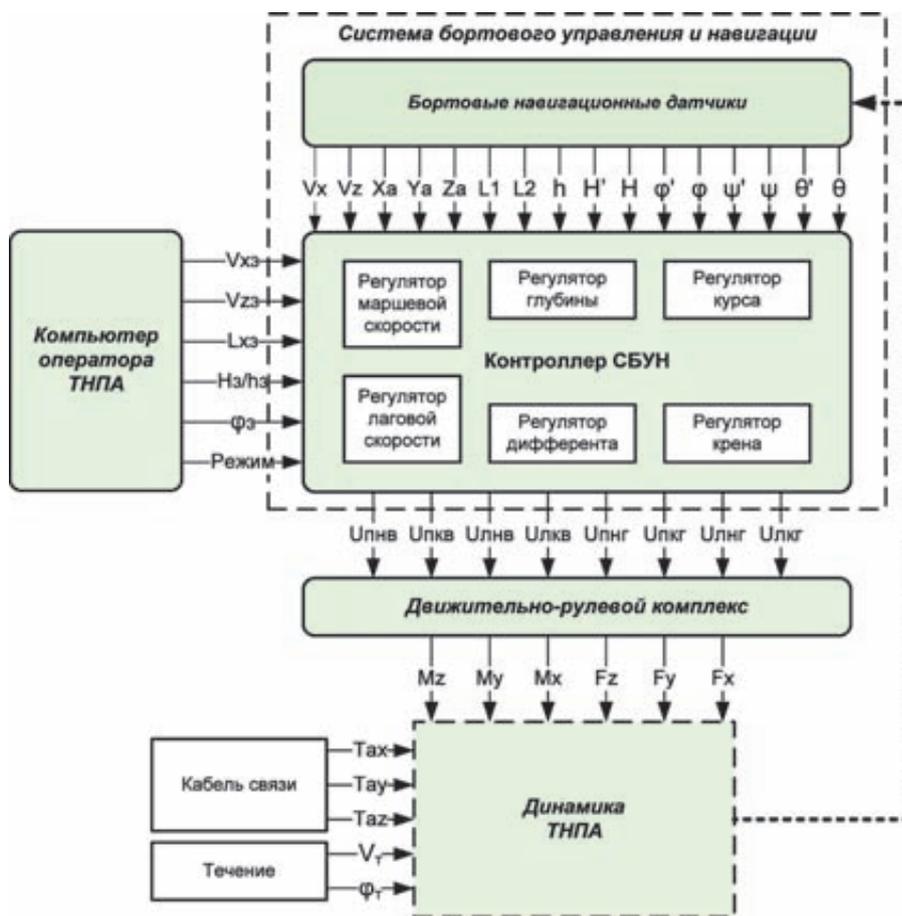


Рис. 9. Структурная схема СБУН ТНПА «МАКС-300»

Таблица 3. Параметры модели динамики ТНПА «МАКС-300»

Канал маршевой скорости	$\lambda_{11}=12$ кг	$k_x^{zc} = 187$ кг/м
Канал глубины	$\lambda_{22}=27$ кг	$k_y^{zc} = 748$ кг/м
Канал лаговой скорости	$\lambda_{33}=23$ кг	$k_z^{zc} = 468$ кг/м
Канал крена	$J_x=1,67$ кг·м ² $\lambda_{44}=0,15$ кг·м ²	$k_\theta^{zc} = 1,86$ кг/м
Канал курса	$J_y=3,51$ кг·м ² $\lambda_{55}=0,45$ кг·м ²	$k_\varphi^{zc} = 2,92$ кг·м ²
Канал дифферента	$J_z=3,22$ кг·м ² $\lambda_{66}=0,92$ кг·м ²	$k_\psi^{zc} = 4,20$ кг·м ²
$m=45$ кг, $Q=10$ Н, $y_c=0,08$ м		

спечить движение аппарата с заданной маршевой скоростью V_{xz} относительно грунта и на заданной глубине H_3 , стабилизировав заданный курс движения φ_3 , нулевые углы крена/дифферента и компенсируя боковой снос $V_z=0$, обусловленный

действием течения. Структура СБУН для этого режима работы ТНПА приведена на рис. 11.

В ходе обследования вертикальных поверхностей горизонтальными галсами СБУН должна обеспечивать перемещение аппарата на заданном

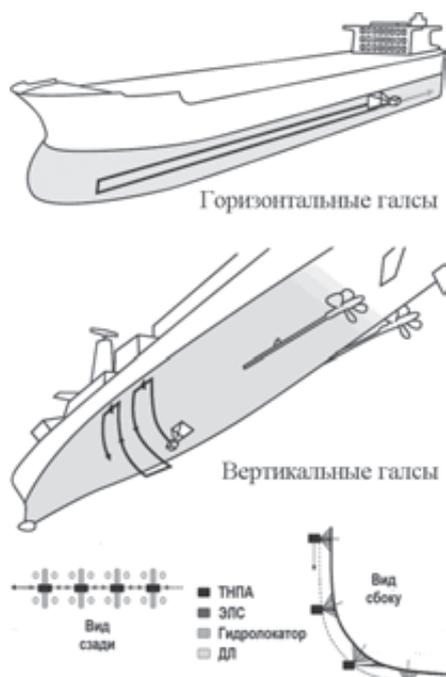


Рис. 10. Траектории движения ТНПА при обследовании гидротехнических сооружений и днищ судов

отстоянии L_{xz} от обследуемой поверхности, на заданной глубине и с заданной скоростью лагового движения V_{z3} . Кроме этого СБУН стабилизирует нулевые углы крена/дифферента и перпендикулярность продольной оси аппарата к осматриваемой поверхности по дальномерам эхолокационной системы. Структура СБУН для этого режима дана на рис. 12. При этом регуляторы глубины, крена и дифферента соответствуют режиму обследования донной поверхности.

Отличие между режимами обследования вертикальных поверхностей горизонтальными и вертикальными галсами заключается в выборе регуляторов канала глубины и лаговой скорости. Для организации вер-

тикальных галсов необходимо двигаться по глубине с заданной скоростью \dot{H}_z и компенсировать боковой снос, стабилизируя $V_z=0$.

В ходе бассейновых испытаний ТНПА «МАКС-300» была проведена настройка ПД-регуляторов каналов глубины, крена и дифферента. На рис. 13 приведены графики экспериментального переходного процесса канала глубины.

■ Допустимый период квантования контроллера СБУН

К особенностям контроллера СБУН при проектировании системы управления относится дискретность выдаваемых команд как по времени, так и по

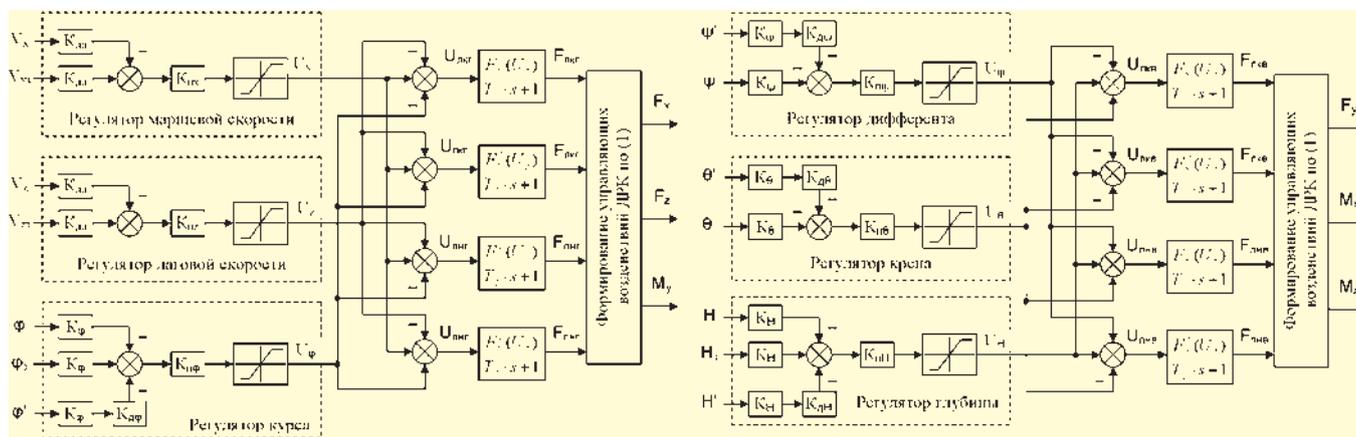


Рис. 11. Структура СБУН в режиме обследования донной поверхности

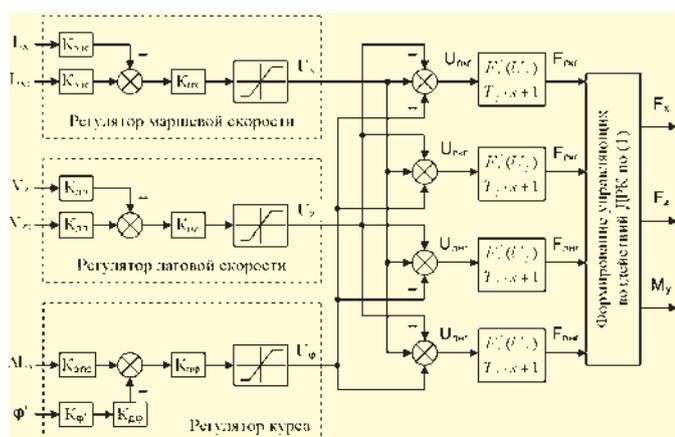


Рис. 12. Структура СБУН в режиме обследования вертикальной поверхности горизонтальными галсами

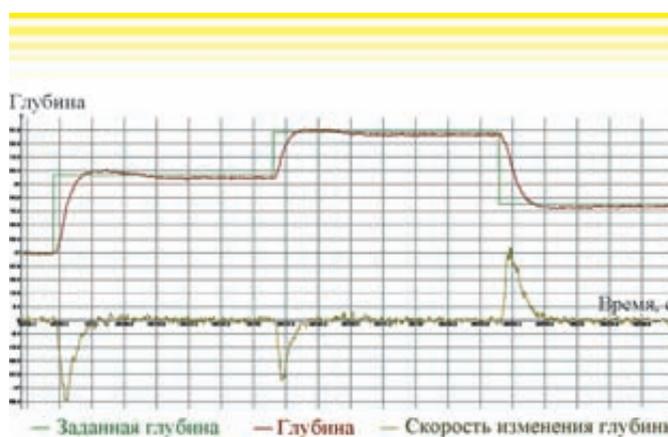


Рис. 13. Переходные процессы в канале глубины с ПД-регулятором

ванной зоны маневрирования ТНПА при лобовой и боковой ориентации к течению соответственно; R_{ax}, R_{az} – гарантированный радиус зоны маневрирования при лобовой и боковой ориентации аппарата к течению соответственно; V_{ax}, V_{az} – максимальная поисковая скорость аппарата при встречном и боковом течении соответственно (см. рис. 16). При этом для расчета была принята самая «тяжелая» по натяжению кабеля точка зоны.

При встречном течении (см. рис. 16, а) радиус зоны гарантированного маневрирования $R_{ax} = Z_{amax}$ определяется балансом действующих на аппарат сил:

$$F_x = T_{ax}(V_t) + R_x(V_t), F_y \geq T_{ay}(V_t) + Q_a, \\ F_z \geq T_{az}(V_t), R_x = k_x^{zc} \cdot V_t \cdot |V_t|.$$

При ориентации аппарата лагом к течению (см. рис. 16, б) радиус зоны изменится в соответствии с балансом сил:

$$F_z = T_{ax}(V_t) + R_z(V_t), F_y \geq T_{ay}(V_t) + Q_a, \\ F_x \geq T_{az}(V_t), R_z = k_z^{zc} \cdot V_t \cdot |V_t|.$$

Для вычисления проекций натяжения ходового конца кабеля T_{ax}, T_{ay} и T_{az} использовалась программа ZONA [5], реализующая численное интегрирование уравнения гибкой

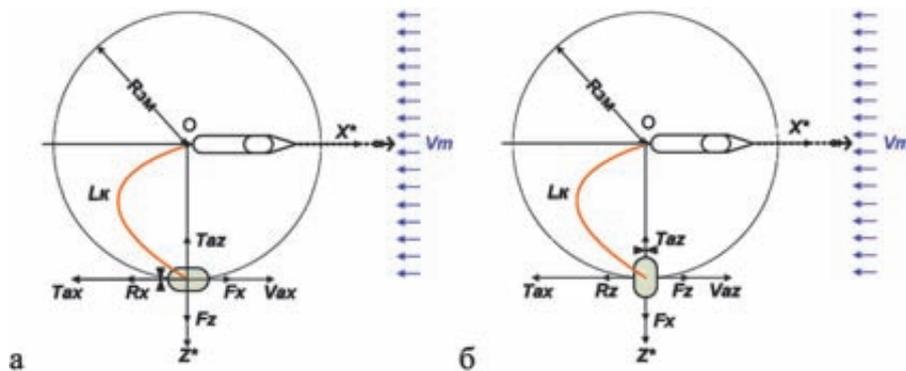


Рис. 16. Варианты ориентации ТНПА к течению при определении показателей эффективности: а – встречное течение, б – лаговое течение

нерастяжимой нити в стационарном потоке. Для расчета параметров зоны маневрирования были приняты следующие исходные данные: $L_k = 100$ м, $Y_a = 50$ м, $V_t = 0-1$ м/с. Изменение гарантированного радиуса рабочей зоны ТНПА в зависимости от скорости течения показано на рис. 17.

Для оценки реальной производительности проведения подводно-технических работ необходимо знать максимальную скорость движения аппарата относительно грунта в пределах зоны маневрирования и в условиях стационарного течения. В дальнейшем будем называть эту скорость движения ТНПА поисковой. Упомянутая выше программа ZONA [4] позволяет рассчитать равновесие кабеля в неравномерном потоке, образо-

ванном течением и поисковой скоростью движения аппарата. При этом расчет ведется в точке зоны с координатами $X_a = 0, Y_a = 50$ м, $Z_a = 0$. Итерационный поисковый алгоритм позволяет для заданной скорости течения V_t определить максимальные достижимые поисковые скорости аппарата, обеспечивающие равновесие привязной системы в точке аппарата под носителем при условиях:

$$F_x = T_{ax}(V_t + V_{ax}) + k_x^{zc}(V_t + V_{ax}) \cdot |V_t + V_{ax}|, \\ F_y \geq T_{ay}(V_t + V_{ax}) + Q_a, F_z \geq T_{az}(V_t + V_{ax}); \\ F_z = T_{ax}(V_t + V_{az}) + k_z^{zc}(V_t + V_{az}) \cdot |V_t + V_{az}|, \\ F_y \geq T_{ay}(V_t + V_{ax}) + Q_a, F_x \geq T_{az}(V_t + V_{az}).$$

Зависимость максимальной поисковой скорости ТНПА от скорости и ориентации течения в районе работ иллюстрируют графики рис. 18. Как видно из

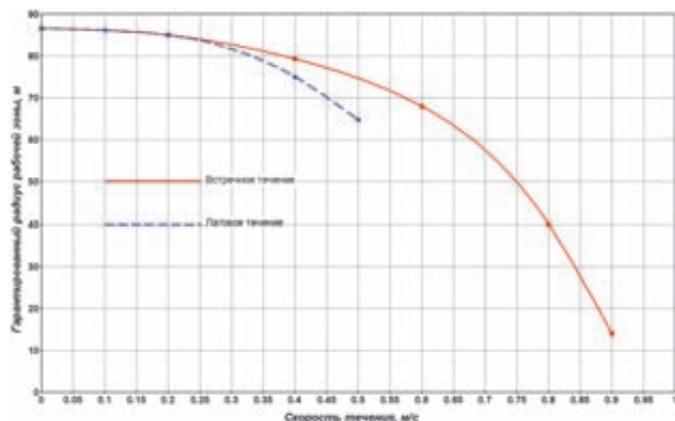


Рис. 17. Результаты расчета гарантированного радиуса рабочей зоны ТНПА «МАКС-300»

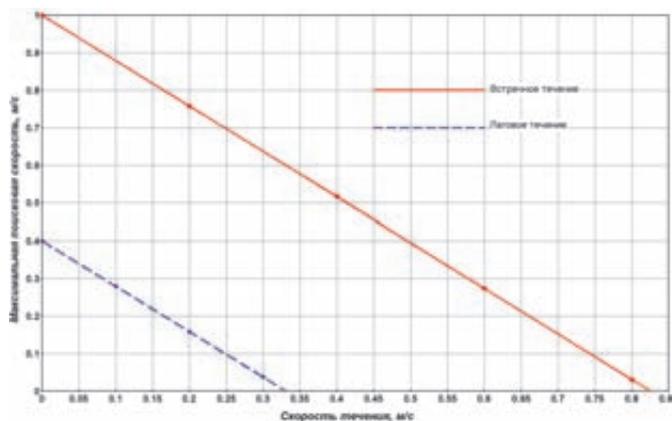


Рис. 18. Результаты расчета максимальной поисковой скорости ТНПА «МАКС-300»

графиков, эта зависимость носит линейный характер.

■ Некоторые результаты морских испытаний ТНПА «МАКС-300»

Мелководный этап морских испытаний ТНПА «МАКС-300» был выполнен в октябре 2011 г. в бухте Патрокл залива Петра Великого Японского моря с борта НИС «Юрий Молоков» (рис. 19). На данном этапе были уточнены динамические характеристики аппарата и настроена система управления движением. Морские испытания показали, что система управления и движительно-рулевой комплекс обеспечивают высокую маневренность ТНПА. В 2012 г. планируется выполнить завершающие мелководные испытания и провести погружение на предельную рабочую глубину 300 м.

ВЫВОДЫ

В ИПМТ ДВО РАН разработан многофункциональный

ТНПА, в структуру которого заложена конструктивная и интерфейсная возможность оперативного перевооружения большим набором опционального оборудования (ГСО, STD зонд, многолучевой эхолот, фотосистема, эхолокационная система, доплеровский лаг, УКБ ГАНС, граббер).

Принятая схема ДРК обеспечивает высокую маневренность аппарата и стабильность его углового положения по крену и дифференту, что значительно повышает качество инспектирования и производительность подводно-технических работ.

Разработана методика гидродинамического расчета движителя, основанная на моделировании его вращения программными средствами пакета Cosmos Flow Work и учитывающая влияние направляющей насадки, корпуса привода и бегущего потока.

В ходе бассейновых испытаний получены экспериментальные характеристики движителя, на основании которых

разработана его математическая модель и определены ее параметры.

Предложена упрощенная математическая модель динамики ТНПА, учитывающая наличие контура угловой стабилизации аппарата по крену и дифференту. Параметры динамики ТНПА будут уточнены в процессе их идентификации по экспериментальным переходным процессам системы управления.

Предложены варианты регуляторов в каналах СБУН, реализующие основные режимы движения аппарата при обследовании не только донной поверхности, но и подводно-технических сооружений, имеющих вертикальные стенки.

Определены ограничения на минимальную частоту дискретизации контроллера СБУН. Анализ результатов моделирования курсового канала управления показал, что для качественной работы системы частота дискретизации должна быть не менее 40–50 Гц.

Определены параметры эффективности использования ТНПА «МАКС-300» – радиус зоны маневрирования и максимальная поисковая скорость в зависимости от направления и скорости течения.

В разработке ТНПА «МАКС-300» принимали участие коллективы ряда подразделений ИПМТ ДВО РАН. Наибольший персональный вклад в создание аппарата внесли Быканова А.Ю., Гой В.А., Головань А.А., Мокеева И.Г., Родькин Д.Н., Борейко А.А., Кушнерик А.А., Найденко Н.А. Всем им, а также и другим специалистам института, участвовавшим в проектировании и изготовлении аппарата, авторы выражают свою благодарность.

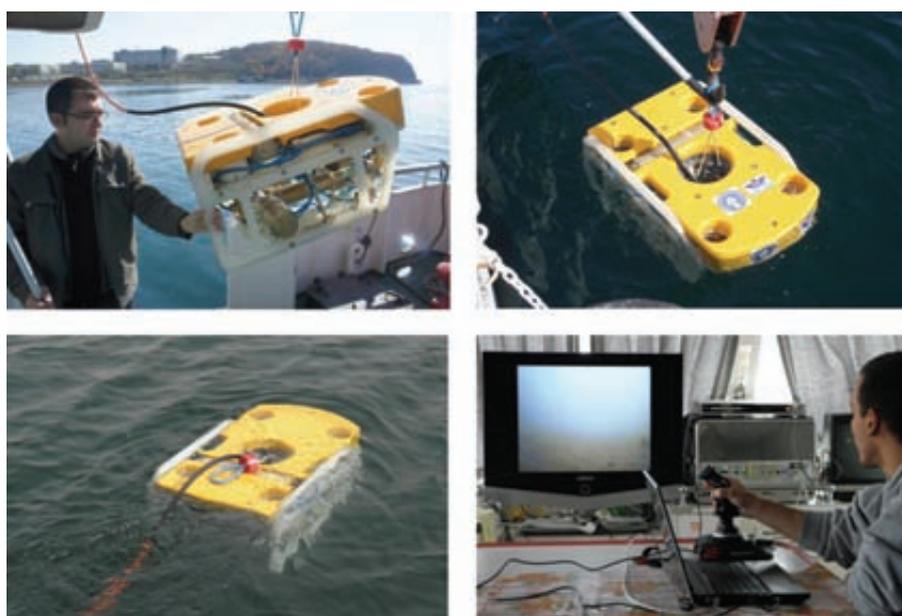


Рис. 19. Фрагменты морских испытаний ТНПА «МАКС-300»

ЛИТЕРАТУРА

1. Войткунский Я.И., Першиц Р.Я., Титов И.А. Справочник по теории корабля. Л.: Судостроение, 1973. 511 с.
2. Daidola J.C, Johnson F.M. Propeller Selection and Optimization Program. Manual for the Society of Naval Architects and Marine. Hampton Roads Section, SNAME, 1992. 102 p.
3. Пантов Е.Н., Махин Н.Н., Шереметов Б.Б. Основы теории движения подводных аппаратов. Л.: Судостроение, 1973. 216 с.
4. Костенко В.В., Мокеева И.Г. Исследование влияния кабеля связи на маневренность телеуправляемого подводного аппарата // Подводные исследования и робототехника. 2009. №1 (7). С. 22–27
5. Костенко В.В., Ляхов Д.Г., Мокеева И.Г. К вопросу оценки эффективности использования телеуправляемых подводных аппаратов обследовательского класса // Материалы 4-й науч.-техн. конф. «Технические проблемы освоения мирового океана», Владивосток, 3–7 октября 2011 г. Владивосток: Дальнаука, 2011. С. 97–104.
6. Костенко В.В., Михайлов Д.Н., Найденко Н.А., Родькин Д.Н. Опыт экспериментальных исследований гребного электропривода необитаемых подводных аппаратов // Материалы 4-й науч.-техн. конф. «Технические проблемы освоения мирового океана», Владивосток, 3–7 октября 2011 г. Владивосток: Дальнаука, 2011. С. 105–111.
7. Малогабаритный телеуправляемый подводный аппарат: Пат. 2387570 Российская Федерация. № 2008152474/11; заявл. 29.12.08; опубл. 27.04.10, Бюл. № 12.

