

К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДВОДНОГО АППАРАТА ПРИВЯЗНОГО ТИПА В РЕЖИМЕ СОВМЕСТНОГО ДВИЖЕНИЯ С СУДНОМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ

В.В. Костенко, Д.Н. Михайлов, И.Г. Мокеева

Эффективность использования подводных аппаратов привязного типа зависит от соответствия характеристик движительно-рулевого комплекса (ДРК) значениям, требуемым для компенсации реакции кабеля связи с обеспечивающим судном. В статье представлена оценка требований к тяговым характеристикам ДРК, обеспечивающего маневрирование телеуправляемого необитаемого подводного аппарата (ТНПА) относительно носителя или подводного гаража в режиме движения комплекса вдоль протяженного донного объекта. Оценка основывается на результатах расчета натяжения кабеля связи (КС) в потоке, обусловленном совместным движением привязной системы «носитель–заглубитель–аппарат». Гидродинамическое сопротивление корпуса аппарата и КС совместно определяют требования к тяговым характеристикам ДРК, а также к системе энергообеспечения комплекса в целом. Для расчета натяжения КС системы «аппарат–носитель» в стационарном потоке предлагается алгоритм, основанный на уравнении цепной линии и численном интегрировании уравнений нерастяжимой гибкой нити. Рассматриваются два варианта использования предлагаемой методики для расчета привязной системы:

- однозвенная система в составе ТНПА – плавучий кабель связи с судном,
- двухзвенная система в составе ТНПА – плавучий кабель связи – пассивный заглубитель – грузонесущий кабель-трос связи с судном.

Ключевые слова: подводная привязная система, телеуправляемый необитаемый подводный аппарат, пассивный заглубитель, установившееся движение, кабель связи, цепная линия, уравнение гибкой нерастяжимой нити.

Введение

Типовая модель использования ТНПА предполагает его работу в пределах зоны маневрирования относительно судна обеспечения, которое удерживается в заданной точке географических координат средствами динамического позиционирования или за счет постановки на якорь. При этом площадь зоны маневрирования аппарата ограничена радиусом 100–200 м, который определяется рабочей глубиной, скоростью течения в районе работ и длиной кабеля связи с судном. Для обследования протяженных подводно-технических объектов и выполнения поисковых работ гидроакустическими и оптическими средствами используются как автономные, так и буксируемые необитаемые подводные аппараты (АНПА и БНПА). Если недостатком использования АНПА

является отсутствие информационного канала связи для оперативной передачи результатов обследования на судно, то БНПА при наличии такого канала не имеет возможности двигаться впереди судна или перемещаться в горизонтальной плоскости для фото- и видеосъемки гидроакустической цели, обнаруженной гидролокатором переднего обзора. Приведенные недостатки АНПА и БНПА обусловили актуальность исследования возможности использования ТНПА для обследования протяженных донных объектов в режиме прямолинейного и установившегося движения носителя и аппарата. Целью работы является определение параметров движения однозвенного и двухзвенного вариантов привязной системы ТНПА – кабель связи – судно. Первый вариант представляет собой приведенную на рис. 1, а систему, состоящую из судна-носителя (СН), ТНПА и кабеля связи ней-

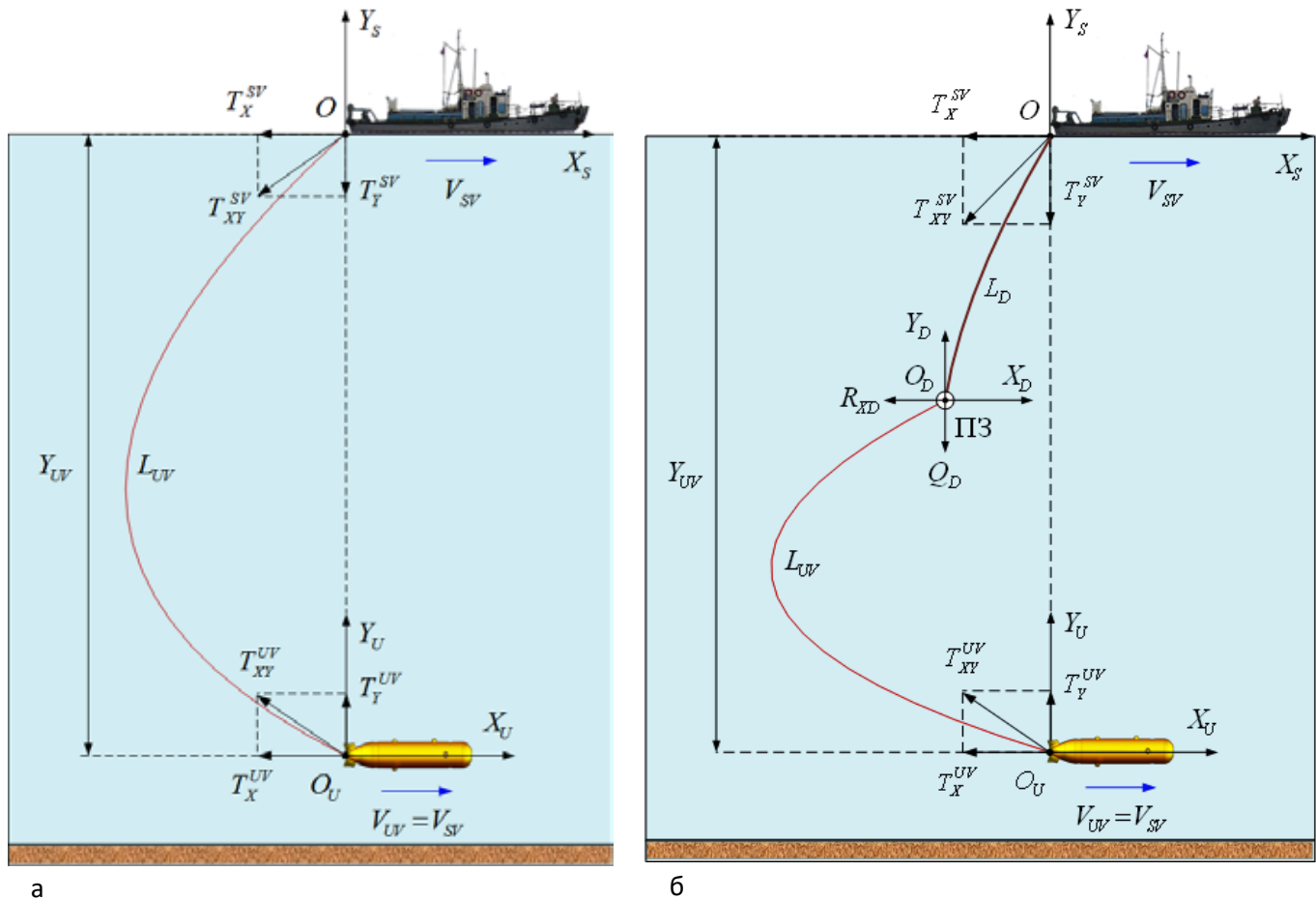


Рис. 1. Однозвенный (а) и двухзвенный (б) варианты использования привязной системы

тральной плавучести, который обеспечивает энерго-снабжение аппарата и его информационный обмен с постом управления. Рисунок 1, б иллюстрирует «глубоководный» вариант привязной системы, в состав которой дополнительно включены грузонесущий кабель (ГК) отрицательной плавучести и пассивный заглубитель (ПЗ).

В процессе исследований потребовалось:

- разработать методику расчета параметров установившегося движения подводной привязной системы;
- определить зависимость натяжения концов кабеля связи от соотношения между его длиной и заглублением аппарата;
- установить влияние скорости движения однозвенной привязной системы на натяжение концов кабеля при фиксированном заглублении аппарата относительно СН;
- определить зависимость натяжения кабеля связи на аппарате и СН в двухзвенной привязной системе от скорости движения.

1. Методика расчета параметров движения подводной привязной системы

Для определения пространственной формы кабеля связи и натяжения его концов при разных значениях скорости движения могут быть использованы два основных инструмента расчета статики привязных систем – численное интегрирование уравнений равновесия гибкой нити при постоянном течении и уравнения цепной линии [1].

1.1. Расчет однозвенной привязной системы

Для больших углов атака кабеля связи можно пренебречь касательной составляющей его гидродинамического сопротивления. При этом КС располагается в плоскости $\xi\eta$, ориентацию которой определяют направление движения системы, плавучесть кабеля и координаты аппарата относительно СН (см. рис. 2). При установившейся скорости совместного движения СН и ТНПА для определения натяжения и конфигурации кабеля могут быть использованы формулы расчета цепной линии [1]. На рис. 2 ось ξ параллельна вектору результирующей равномерно

распределенной нагрузки на кабель:

$$\bar{p} = \bar{R}_n + \bar{q}, \quad \bar{R}_n = R_n \bar{n}, \quad R_n = K_n \rho V^2 d / 2, \quad (1)$$

где $\bar{R}_n$ – вектор гидродинамического сопротивления, $\bar{q}$ – плавучесть кабеля, $\bar{n}$ – нормаль к потоку, K_n – коэффициент нормальной составляющей гидродинамического сопротивления, ρ – плотность воды, V – скорость набегающего потока, d – диаметр кабеля связи.

Натяжение в любой точке цепной линии определяется соотношением:

$$T_m = p_m / \xi_0, \quad (2)$$

где T_m и p_m – модули векторов натяжения и нагрузки, соответственно; ξ_0 – абсцисса вершины цепной линии в поточной системе координат $\xi\eta$; $\sin \psi = q / p_m$, $\cos \psi = \lambda / p_m$, ψ – угол наклона цепной линии между осями $\xi_0\xi$ и OX_S . Для определения ξ_0 в процессе итерационного поиска находится корень x^* следующего уравнения [1]:

$$\sinh x = x \sqrt{L^2 - (OB)^2} / AB, \quad (3)$$

где L – длина кабеля; AB , OB – пролет и превышение цепной линии соответственно;

$$AB = \sqrt{(BC)^2 + z_A^2}, \quad BC = x_A \sin \psi - y_A \cos \psi, \\ OB = x_A \cos \psi + y_A \sin \psi; \quad x_A, y_A, z_A \text{ – координаты}$$

аппарата в инерциальной системе $OX_S Y_S Z_S$, $\sin \alpha = BC / AB$, $\cos \alpha = z_A / AB$.

Полученное решение уравнения (3) позволит определить $\xi_0 = 2x^* / AB$ и натяжение T_m .

Для расчета конфигурации кабеля определим координаты аппарата (η_A, ξ_A) и судна (η_S, ξ_S) в связанной системе:

$$\eta_A = AB / 2 + \text{Arth}(OB / L) / \xi_0, \quad \xi_A = (ch(\xi_0 \eta_A) - 1) / \xi_0; \\ \eta_S = \eta_A + AB, \quad \xi_S = (ch(\xi_0 \eta_S) - 1) / \xi_0. \quad (4)$$

Далее на отрезке $[\eta_A \eta_S]$ с выбранным шагом $\Delta\eta$ выполняется расчет конфигурации кабеля и проекций натяжения по следующим соотношениям:

$$\eta_{i+1} = \eta_i + \Delta\eta, \quad \xi_{i+1} = (ch(\xi_0 \eta_{i+1}) - 1) / \xi_0 - \xi_S; \\ \Delta\xi = \xi_{i+1} - \xi_i, \quad \Delta l = \sqrt{(\Delta\eta)^2 + (\Delta\xi)^2}; \\ \sin \theta = \Delta\eta / \Delta l, \quad \cos \theta = \Delta\xi / \Delta l; \\ T_\xi = T_m \cos \theta, \quad T_\eta = T_m \sin \theta, \\ T_x = T_\xi \cos \psi - T_\eta \sin \alpha \sin \psi, \\ T_y = T_\xi \sin \psi + T_\eta \sin \alpha \cos \psi, \\ T_z = -T_\eta \cos \alpha. \quad (5)$$

Приведенные формулы составляют содержание подпрограммы ChainLine, используемой в расчетах привязных систем при указанных допущениях [2].

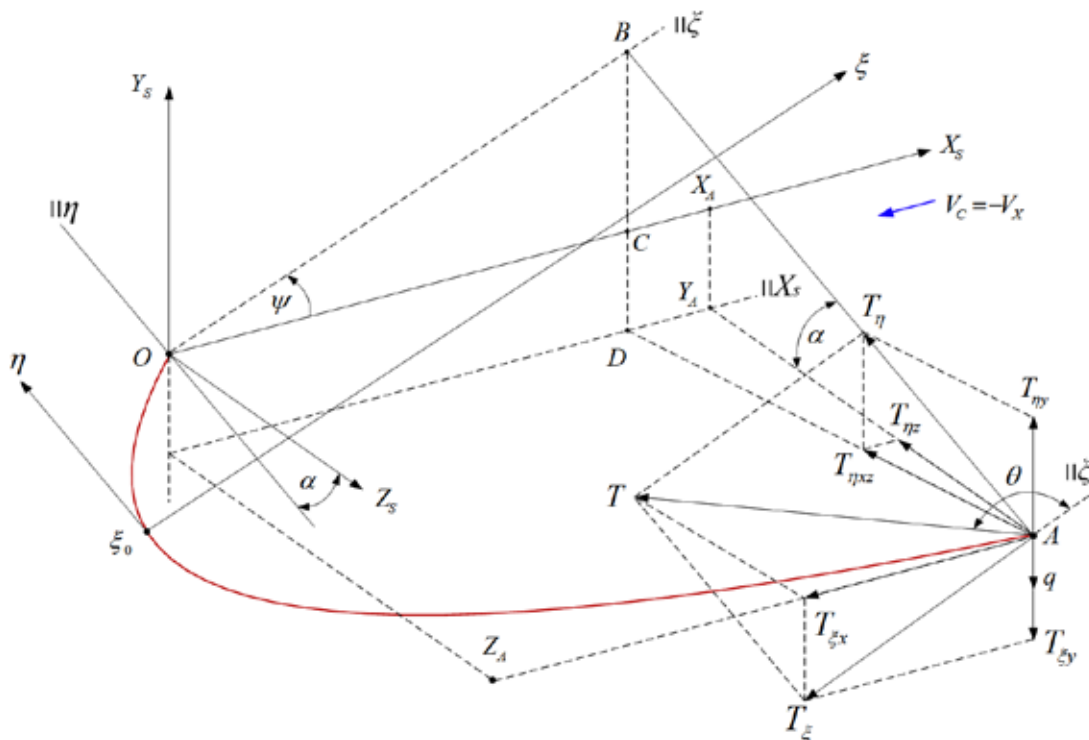


Рис. 2. К расчету проекций натяжения кабеля по уравнению цепной линии

1.2. Расчет двухзвенной привязной системы

Подпрограмма TwoSegm выполняет расчет двухзвенника по заданному натяжению на нижнем конце и вычисление целевой функции – расстояния между верхним концом верхнего сегмента и точкой с координатами судна. Алгоритм подпрограммы в зависимости от постановки задачи предусматривает три варианта реализации, структура которых приведена на рис. 3.

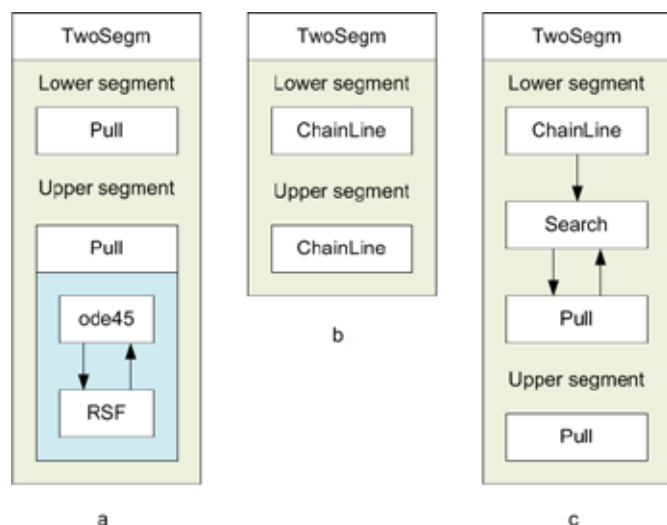


Рис. 3. Варианты алгоритмов программы TwoSegm для расчета двухзвенного варианта

Вариант (а) конфигурации алгоритма выбирается в случае, когда система движется с постоянной скоростью или при удержании на постоянном течении в точке, известной только относительно судна. Подпрограмма **Pull** использует процедуру ode45 MATLAB и выполняет интегрирование системы дифференциальных уравнений статики гибкой нити, которая в векторной форме имеет вид [1, 3]:

$$\frac{d\bar{T}}{dl} + \bar{R} + \bar{q} = 0, \quad (6)$$

где $\bar{R} = (R_x, R_y, R_z)$ – вектор силы гидродинамического давления, действующей на единицу длины кабеля, и ее проекции; $\bar{q}$ – вес единицы длины кабеля в воде; $\bar{T} = (T_x, T_y, T_z)$ – сила натяжения в текущей точке кабеля. Вариант (b) соответствует ситуации, когда известны координаты всех трех модулей: судна, аппарата и заглубителя. При этом аппарат удерживается в точке под судном при установившейся скорости движения привязной системы. Вариант (с) предназначен для расчета привязной системы в случае, когда координаты аппарата даются относительно заглубителя. Подпрограмма ChainLine здесь использована для определения начального приближения

решения. Уточнение вектора натяжения на концах кабеля реализовано в ходе итерационного поиска минимума целевой функции, которую определяют вычисленные координаты корневого (верхнего) конца кабеля относительно начала системы координат, связанной с заглубителем.

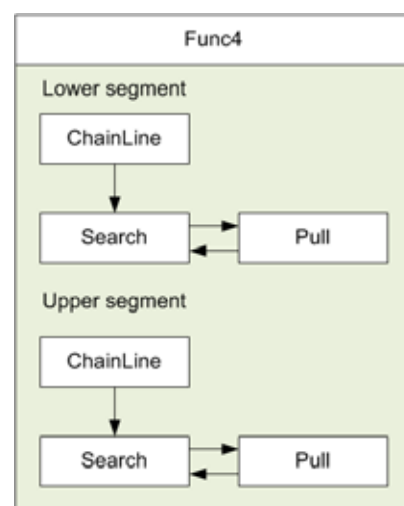


Рис. 4. Структура подпрограммы Func4

Если выбор другой исходной точки не привел к успешному решению, в подпрограмме Func4 делается попытка решить задачу для каждого сегмента в отдельности. Входная переменная для Func4 – уточняемое положение гаража, выходная (целевая) функция – сумма двух отрезков – расстояния верхнего конца нижнего сегмента до заглубителя и верхнего конца верхнего сегмента до судна. Структура под-

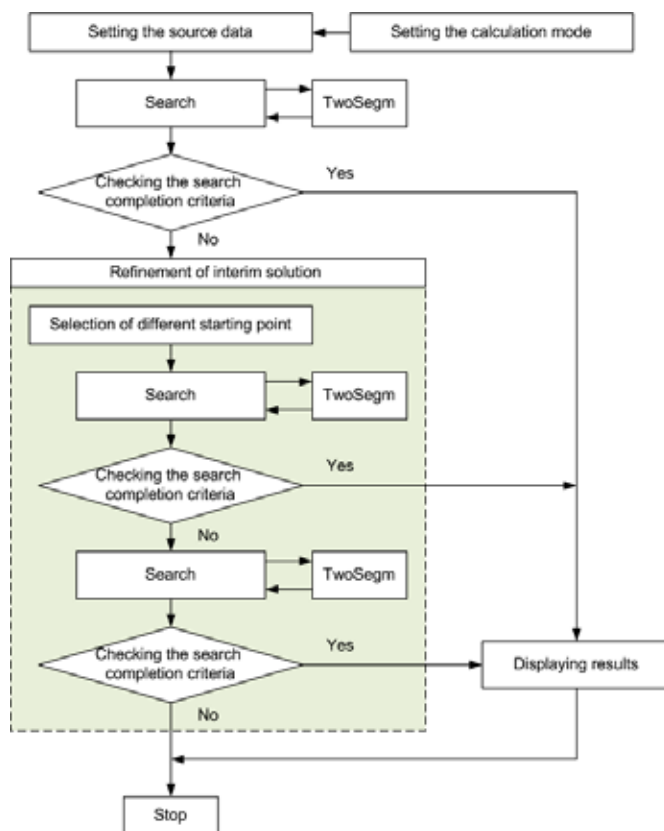


Рис. 5. Обобщенная блок-схема алгоритма расчета параметров привязной системы

программы Func4 приведена на рис. 4, а обобщенная блок-схема алгоритма расчета параметров привязных систем – на рис. 5.

2. Выбор запаса длины кабеля связи

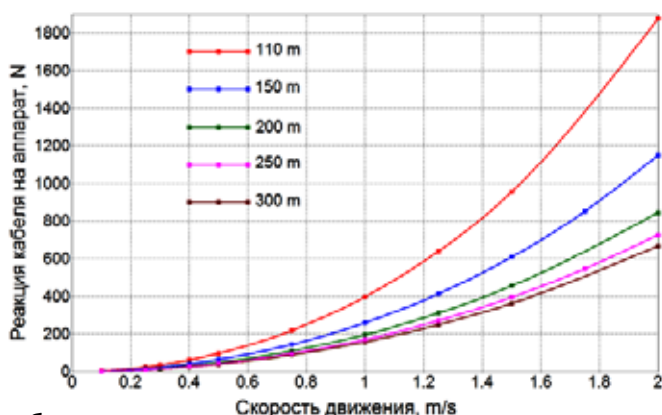
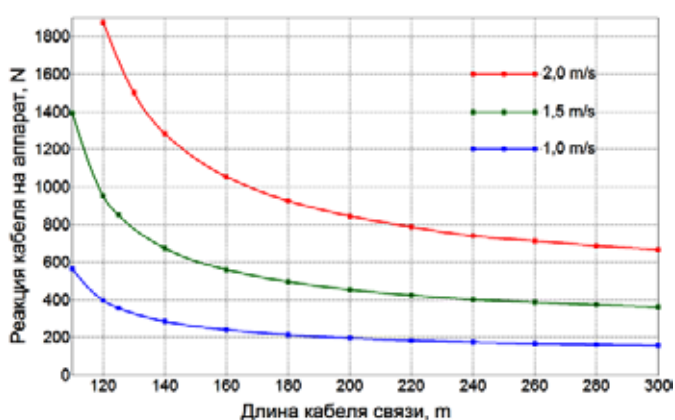
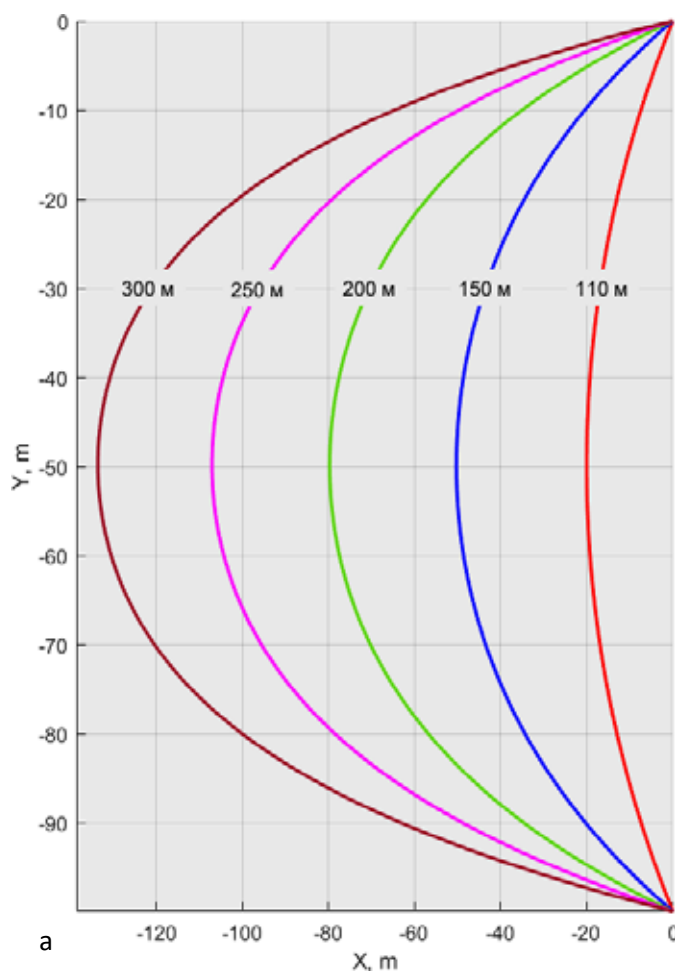
В случае синхронного движения обеспечивающего судна и аппарата натяжение на концах кабеля связи зависит от его длины, а также от заглубления ТНПА относительно СН или заглубителя. Очевидно, что с увеличением длины кабеля его натяжение будет уменьшаться за счет уменьшения нормальной составляющей гидродинамического давления. Однако чрезмерное увеличение длины приводит к нежелательному увеличению электрических потерь, а также усложнению процедуры разворачивания и мобилизации привязной системы. Поэтому возникла задача определения рационального запаса длины кабеля по отношению к глубине погружения аппарата или заглубителя. На графиках рис. 6 приведены рассчитанные по предложенной выше методике зависимость формы кабеля связи и результирующего натяжения его ходового конца от длины, полученные для скоро-

сти набегающего потока 1 м/с при движении аппарата строго под СН.

Анализ графиков рис. 6 показывает, что для $L_{\text{лк}} > 2 \cdot H_a$ происходит незначительное уменьшение результирующей силы натяжения кабеля, которая составляет порядка 0,2 Н/м. Это позволяет считать выбор соотношения $L_{\text{лк}}/H_a = 2$ рациональным при развертывании привязных систем.

3. Расчет натяжения кабеля в однозвенной привязной системе

Расчет натяжения КС проводился для кабеля связи типа КП100ВКП со следующими характеристиками: диаметр $d_k = 10$ мм, вес в воде $q = +0.00066$ кГ/м. Во всех расчетах был принят запас длины кабеля $L_{\text{лк}}/H_a = 2$. При этом аппарат позиционировался строго под обеспечивающим судном на глубине погружения 100 м. Рисунок 7, а демонстрирует изменение формы кабеля связи в продольно-вертикальной плоскости. Полученные в результате расчета зависимости натяжения концов КС от скорости совместного движения судна и аппарата показаны на рис. 7, б.



6

Рис. 6. Зависимость формы (а) и натяжения ходового конца кабеля связи (б) от его длины для скорости движения привязной системы 1 м/с

В результате регрессионного анализа графиков рис. 7, б средствами программы Advance Grapher [4] была установлена возможность вычисления реакции кабеля на аппарат и судно. Приняты следующие функциональные зависимости от скорости движения, интерполирующие результаты моделирования для двойного запаса длины $L_{\text{лк}}=2 \cdot H_a$:

$$\begin{aligned} T_{VX} &= -14,9 \cdot V_X^3 - 145,4 \cdot V_X^2 - 8,2 \cdot V_X, \\ T_{VY} &= 2,1 \cdot V_X^3 + 23,8 \cdot V_X^2 + V_X, \\ T_{SX} &= -15 \cdot V_X^3 - 144,9 \cdot V_X^2 - 8,9 \cdot V_X, \\ T_{SY} &= -1,5 \cdot V_X^3 - 26,2 \cdot V_X^2 + 1,3, \end{aligned} \quad (7)$$

где T_{VX} , T_{VY} – горизонтальная и вертикальная проекции натяжения кабеля на аппарате соответственно; T_{SX} , T_{SY} – горизонтальная и вертикальная проекции натяжения кабеля на обеспечивающем судне соответственно.

Оценку сопротивления движению ТНПА в составе привязной системы целесообразно проводить на скорости, обеспечивающей максимальную эффективность использования обзорно-поискового оборудования. Максимальная скорость выполнения ги-

дроакустической съемки, как правило, не превышает 1 м/с. При этом маршрутная фотосъемка с перекрытием кадров требует движения аппарата относительно грунта со скоростью не более 0,5 м/с [5]. Анализ результатов проведенного расчета показывает, что результирующее натяжение КС на рабочей глубине аппарата 100 м при скорости движения привязной системы относительно воды 1,0 м/с не превышает 185 Н (горизонтальная составляющая 180 Н, а вертикальная – 30 Н). Существующие грузонесущие КС с нулевой плавучестью отечественного и зарубежного производства имеют рабочее натяжение 2000–5000 Н за счет использования кевларовых силовых элементов. Поэтому основным фактором, ограничивающим скорость движения однозвенной привязной системы, будут тяговые характеристики ДРК ТНПА, которые должны удовлетворять следующим требованиям:

$$F_x = T_{vx} + R_{ax}, \quad F_y = T_{vy} + Q_a, \quad (8)$$

где F_x , F_y – продольная и вертикальная тяги ДРК, соответственно; R_{ax} – лобовое гидродинамическое сопротивление ТНПА; Q_a – остаточная плавучесть аппа-

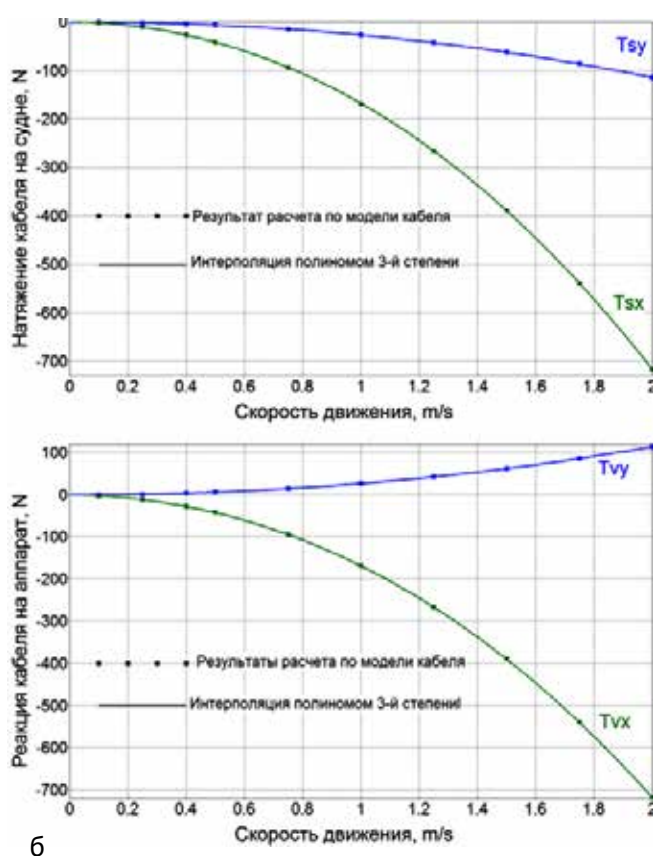
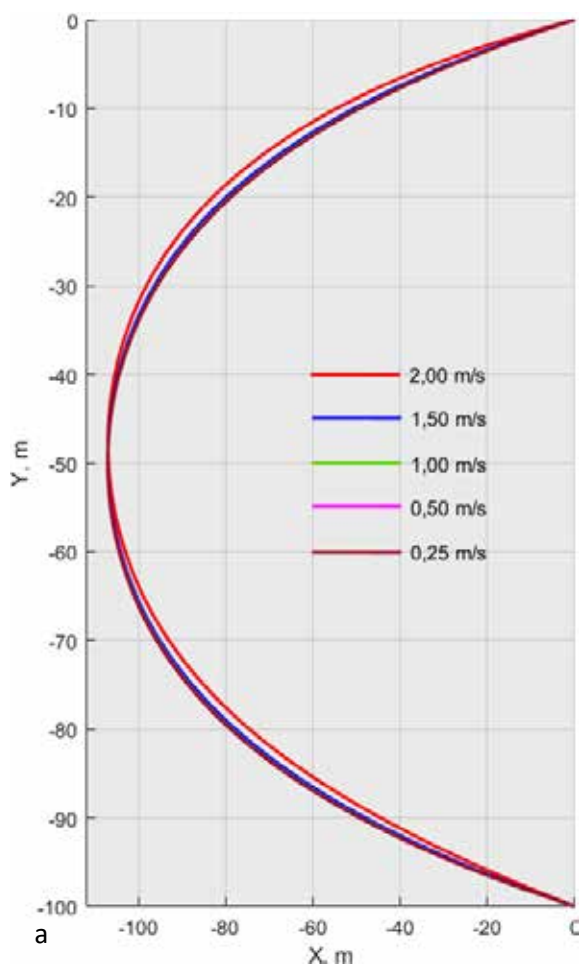


Рис. 7. Зависимость формы (а) и натяжения (б) ходового конца кабеля связи от скорости движения однозвенной привязной системы

рата. При этом возможность использования ТНПА в составе однозвенной привязной системы на скорости 1 м/с требует следующих запасов тяги ДРК для компенсации реакции кабеля: $\Delta F_x \geq 185$ Н, $\Delta F_y \geq 30$ Н.

4. Расчет натяжений кабеля в двухзвенной привязной системе

Мировая практика глубоководного использования ТНПА показывает, что для увеличения маневренности аппарата в условиях даже незначительного течения целесообразно использование двухзвенной схемы развертывания, состоящей из «тяжелого» грузонесущего кабеля связи между судном и пассивным заглубителем с существенной отрицательной плавучестью, а также «легкого» кабеля связи между заглубителем и аппаратом. При этом большая часть реакции кабельной линии связи на аппарат, обусловленной его гидродинамическим сопротивлением движению, компенсируется весом грузонесущего кабеля и заглубителя [6–10]. Для расчета реакции кабе-

ля на аппарат и обеспечивающее судно была принята двухзвенная схема, изображенная на рис. 2, со следующими основными характеристиками:

- верхний грузонесущий кабель-трос «СН-ПЗ» – $L_D=50$ м, $d_D=0,019$ м, $q_D=-0.285$ кГ/м;
- нижний плавучий кабель «ПЗ-ПА» – $L_{UV}=100$ м, $d_{UV}=0,01$ м, $q_{UV}=-0.0007$ кГ/м;
- остаточная плавучесть ПЗ – $Q_g=-100$ кГ,
- коэффициент гидродинамического сопротивления ПЗ – $C_x=1.2$,
- водоизмещение ПЗ – $U=1$ м³;
- в процессе движения аппарат находится строго под СН на заглублении 100 м.

Сила гидродинамического сопротивления ПЗ определялась по типовым формулам [11]:

$$R_{gx} = C_x \cdot \frac{\rho \cdot V_{mx}^2}{2} \cdot U^{2/3}. \quad (9)$$

На рис. 8, а приведены графики, иллюстрирующие изменение формы кабелей двухзвенной привязной системы на скорости движения от 0.5 до 1.5 м/с.

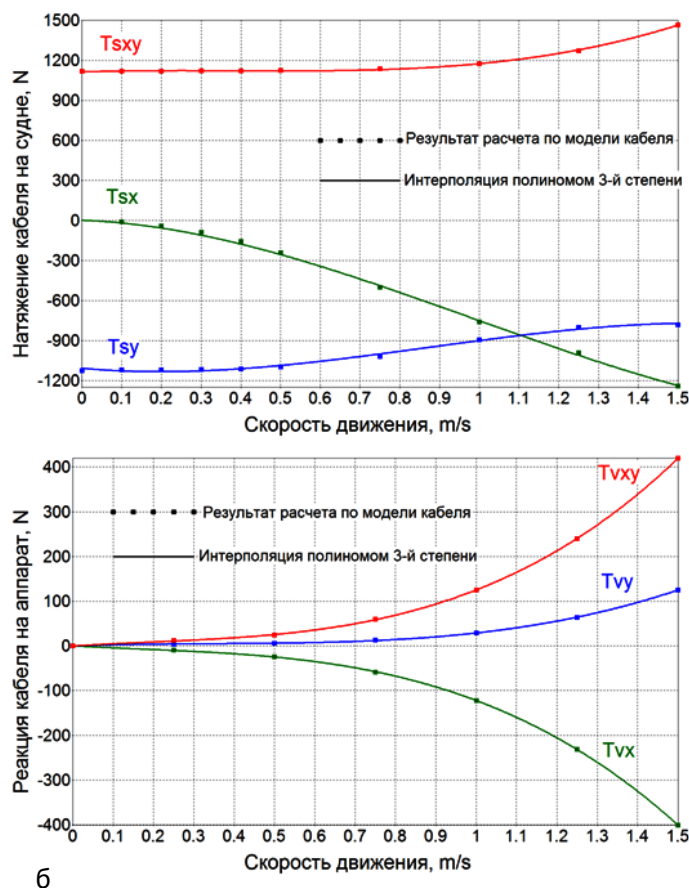
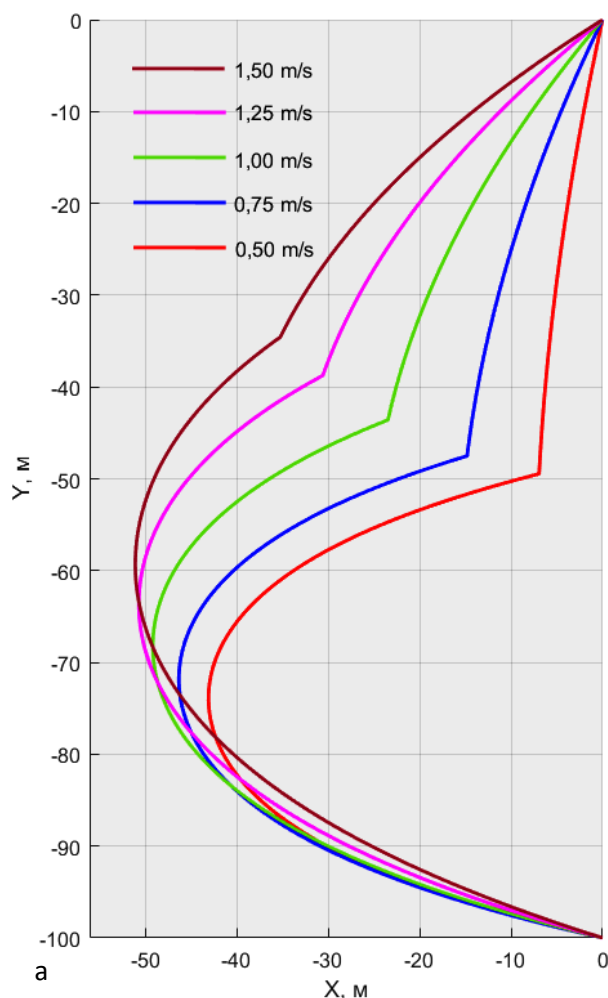


Рис. 8. Зависимость формы (а) и натяжения (б) концов кабеля связи от скорости движения двухзвенной привязной системы

Результаты расчета натяжения кабелей связи на аппарате и судне приведены на рис. 8, б.

Регрессионный анализ результатов проведенных расчетов показал возможность следующего аналитического представления зависимости реакции кабеля на аппарат и судно от скорости движения привязной системы:

$$\begin{aligned} T_{VX} &= -144,9 \cdot V_X^3 + 72,3 \cdot V_X^2 - 49,5 \cdot V_X, \\ T_{VY} &= 75,2 \cdot V_X^3 - 80 \cdot V_X^2 + 33,7 \cdot V_X, \\ T_{SX} &= 330 \cdot V_X^3 - 972 \cdot V_X^2 - 110 \cdot V_X, \\ T_{SY} &= -396 \cdot V_X^3 + 775 \cdot V_X^2 - 272 \cdot V_X - 1107 \end{aligned} \quad (10)$$

В результате моделирования было установлено, что при максимальной скорости движения привязной системы 1 м/с горизонтальная проекция реакции кабеля на аппарате не превышает 110 Н, а вертикальная 25 Н. Таким образом, была подтверждена эффективность двухзвенной привязной системы при проведении глубоководных работ за счет силовой разгрузки нижнего кабеля и использования пассивного заглубителя. Применение данного технического решения позволило почти в два раза снизить возмущающее воздействие кабеля на подводный аппарат.

Заключение

Проведенное моделирование стационарного режима движения привязных подводных систем позволяют сделать следующие основные выводы:

- показано, что рациональный запас длины кабеля относительно заглубления буксируемого оборудования соответствует удвоенной глубине погружения;
- подтверждена принципиальная возможность отслеживания протяженных донных объектов как однозвенной, так и двухзвенной привязными системами;
- для однозвенной привязной системы, предполагающей использование обзорного ТНПА с энергообеспечением через кабель связи, натяжение ходового конца на скорости движения 1 м/с при заглублении аппарата 100 м составляет порядка 180 Н; используемый при этом кабель имеет многократный запас прочности, а доступные для ТНПА энергоресурсы вполне достаточны для создания требуемой тяги ДРК;
- использование двухзвенной привязной системы с пассивным заглубителем, связанным с обеспечивающим судном бронированным и грузонесущим кабелем, уменьшает реакцию кабеля на аппарат до 110 Н;

– горизонтальная реакция кабеля на аппарат многократно превышает вертикальную как для однозвенного, так и для двухзвенного варианта привязной системы;

– представляется перспективной двухзвенная привязная система «АНПА – оптоволоконный микрокабель – заглубитель – грузонесущий кабель связи с судном», которая позволит свести к минимуму действующие на аппарат возмущения и сохранить его автономность.

Разработка алгоритмов расчета натяжения кабелей связи двухзвенной подводной привязной системы выполнена при поддержке гранта Министерства науки и высшего образования РФ 13.1902.21.0012 «Фундаментальные проблемы изучения и сохранения глубоководных экосистем в потенциально рудоносных районах Северо-западной части Тихого океана».

ЛИТЕРАТУРА

1. Меркин Д.Р. Введение в механику гибкой нити: монография. М.: Наука, 1980. 240 с.
2. Мокеева И.Г. Математические модели кабельной линии в расчетах рабочей зоны привязного подводного аппарата // Тр. ДВГТУ. Сер.3. Кораблестроение и океанотехника. 1994. Вып. 113. С. 94–110.
3. Kostenko V.V., Mokeeva I.G.. Choise of ROV's thruster set power according to footprint's radius on steady motion // Proc. "Ocean-94" Conf. (Brest, France). 1994. Vol. 2. P. 34–37.
4. Евстегнеева А. С. Использование компьютерной программы Advanced Grapher как средство реализации принципа наглядности в процессе обучения математике // Молодой ученый. 2018. №. 2. С. 108–112.
5. Подводные робототехнические комплексы: системы, технологии, применение /А.В. Инзарцев, Л.В. Киселев, В.В. Костенко, Ю.В. Матвиенко, А.М. Павин, А.Ф. Щербатюк; [отв. ред. Л.В. Киселев]; ФГБУН Ин-т проблем морских технологий ДВО РАН. Владивосток, 2018. 368 с.
6. Sandford A. J. Code of practice for the safe and efficient operation of remotely operated vehicles //Submersible Technology: Adapting to Change. Springer, Dordrecht, 1988. С. 45–50.
7. Коноплин А. Ю. Разработка алгоритмов управления перемещениями ТНПА и блоком-заглубителем // Робототехника и искусственный интеллект. 2018. С. 44–49.
8. Коноплин А. Ю., Денисов В.А., Даутова Т.Н., Кузнецов А.Л., Московцева А.В. Технология использования ТНПА для комплексного исследования глубоководных экосистем // Подводные исследования и робототехника. 2019. №. 4. С. 4–12. DOI: 10.25808/24094609.2019.30.4.001.
9. Протасов Е. В. Телеуправляемые аппараты для подводно-технических работ // Деловой журнал Neftegaz. RU. 2019. №. 8. С. 16–19.
10. Алексеев Ю. К. Двухзвенные глубоководные робототехнические системы и некоторые перспективы подводной робототехники // Материалы 8-й Всерос. науч.-технич. конф. «Технические проблемы освоения Мирового океана». Владивосток, 2019. С. 159–166. (https://www.elibrary.ru/download/elibrary_41668442_94051949.pdf).
11. Пантов Е.Н. и др. Основы теории движения подводных аппаратов /Е.Н. Пантов, Н.Н. Махин, Б.Б. Шереметов. Л.: Судостроение, 1973. 217 с.

Об авторах

КОСТЕНКО Владимир Владимирович, к.т.н., заведующий лабораторией исполнительных устройств и систем телеуправления, ведущий научный сотрудник

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем морских технологий ДВО РАН

Адрес: 690091, Владивосток, ул. Суханова, 5а

Научные интересы: подводная робототехника, системы управления движением автономных и телеуправляемых подводных роботов, движительно-рулевые комплексы, динамические модели, подводные привязные системы.

Тел.: +7 (423) 243-24-16

E-mail: kostenko@marine.febras.ru, kosten.ko@mail.ru

SPIN-код: 2310-3141

ORCID ID: 0000-0002-3821-3787

Resercher ID: AAF-6399-2021

Scopus ID: 57189036440

МИХАЙЛОВ Денис Николаевич, старший научный сотрудник
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем морских технологий ДВО РАН

Адрес: 690091, Владивосток, ул. Суханова, 5а

Научные интересы: подводная робототехника, аппаратно-программные платформы, движительно-рулевые комплексы и системы энергообеспечения автономных и телеуправляемых подводных роботов

Тел.: +7 (423) 243-24-16

E-mail: denmih@marine.febras.ru

SPIN-код: 1940-6170

ORCID ID: 0000-0002-2427-8459

Resercher ID: P-4784-2017

Scopus ID: 57215280371

МОКЕЕВА Ирина Геннадьевна, старший научный сотрудник
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем морских технологий ДВО РАН

Адрес: 690091, Владивосток, ул. Суханова, 5а

Научные интересы: подводная робототехника, моделирование движения автономных и телеуправляемых подводных роботов, оптимизация движительно-рулевых комплексов, подводные привязные системы.

Тел.: +7 (423) 243-24-16

E-mail: pq1205i@rambler.ru

ORCID ID: 0000-0001-6217-6763

Для цитирования:

Костенко В.В., Михайлов Д.Н., Мокеева И.Г. К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДВОДНОГО АППАРАТА ПРИВЯЗНОГО ТИПА В РЕЖИМЕ СОВМЕСТНОГО ДВИЖЕНИЯ С СУДНОМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ // Подводные исследования и робототехника. 2021. №. 4(38). С. 26–36. DOI: 10.37102/1992-4429_2021_38_04_03.

