

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИКСОБРАЗНЫХ ПОДРУЛИВАЮЩИХ УСТРОЙСТВ НА ПОДВОДНЫХ АППАРАТАХ

И.В. Вильнит, А.В. Юрканский, А.Н. Пономарев, И.И. Ремизов

Развитие современных подводных аппаратов связано с постоянным расширением области их применения, а также появлением новых моделей использования. В этой связи одним из актуальных направлений исследований является разработка новых технических решений для расширения функциональных возможностей подводных аппаратов. В статье рассматривается одно из таких решений – новая «X-образная» схема расположения подруливающих устройств, интегрированная компанией Saab в АНПА LUUV, обеспечивающая подводному аппарату возможность покладки на грунт без контакта каналов подруливающих устройств с донной поверхностью. К преимуществам данной схемы также относится возможность создавать существенно большую тягу в поперечной и вертикальной плоскостях по сравнению с традиционной «+образной» схемой размещения подруливающих устройств. Целью исследования является многокритериальное сравнение новой X-образной и традиционной +образной схем расположения подруливающих устройств, определение их преимуществ и недостатков в области гидродинамики, управляемости, энергопотребления и компоновки. Основные результаты исследования получены с использованием программного комплекса численного моделирования гидродинамики Star-CCM+, а также программного комплекса моделирования динамики морских подводных технических средств SD-DYNA, разработанного в АО «ЦКБ МТ «Рубин». Показано, что из-за особенностей истечения струй и формы корпуса подводного аппарата суммарная сила, создаваемая подруливающими устройствами X-образной схемы в натуральных условиях будет меньше, чем рассчитанная без учета данных факторов. Определено, что при вертикальном погружении под воздействием бокового течения X-образная схема эффективнее +образной только при малых скоростях течения. По результатам расчетов сделан вывод о том, что применение новой X-образной схемы на АНПА LUUV обусловлено необходимостью установки на морское дно тяжелой полезной нагрузки, дальнейшего выполнения миссии с большим разбалансом по плавучести, а также осуществления покладки на грунт.

Ключевые слова: АНПА, ПУ, подруливающие устройства, иксобразность, тяга, движитель, покладка на грунт.

Введение

В августе 2025 года шведская компания Kockums (дочерняя компания концерна Saab) представила проект автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА) тяжелого класса Large Unmanned Underwater Vehicle (LUUV) [1]. Отличительной особенностью данного аппарата является необычная схема расположения подруливающих устройств (ПУ). На всех известных построенных в настоящий момент АНПА ПУ расположены в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Однако на представленном аппарате ПУ расположены под углом 45° к горизонтальной и вертикальной плоскостям.

В рамках данной статьи предлагается называть такое расположение ПУ «X-образным» (поскольку их проекция в миделевой плоскости напоминает букву X латинского алфавита). На рис. 1 представлен АНПА LUUV компании Kockums с X-образной схемой ПУ.

Традиционное расположение ПУ (в вертикальной и горизонтальной плоскостях) предлагается называть «+образным» (поскольку их проекция в миделевом сечении напоминает знак креста +). На рис. 2 представлен АНПА Клавесин 1Р с +образной схемой ПУ.

При этом представленный аппарат не является неким концептом или проработкой на далекую

перспективу. В 2025 году компания Saab заключила контракт с управлением материально-технического обеспечения министерства обороны Швеции на проектирование, строительство и испытания АНПА LUUV стоимостью 6,3 млн долларов [2]. Аппарат ак-



Рис. 1. АНПА LUUV компании Kockums с X-образной схемой ПУ



Рис. 2. АНПА Клавесин 1Р с +-образной схемой ПУ



Рис. 3. Модель АНПА на выставке MSPO-2025 в Польше

тивно продвигается на профильных выставках вооружения и военной техники. Модели АНПА LUUV в масштабе 1:5 на выставках MSPO-2025 в Польше и DEFSEC-Atlantic в Канаде представлены на рис. 3 и 4.



Рис. 4. Модель АНПА на выставке DEFSEC-Atlantic в Канаде

Презентационные материалы компании Saab раскрывают внутреннее расположение ПУ X-образной схемы на АНПА LUUV [3]. На рис. 5 представлен скриншот из видеопрезентации.

Необходимость использования таких ПУ компания Saab в одном из интервью объясняет тем, что они «...обеспечивает точную маневренность на низких скоростях и поддержание положения АНПА для обеспечения возможности размещения полезной нагрузки на морском дне.» [4].

Целью данной работы является многокритериальное сравнение новой X-образной и традиционной +-образной схемы расположения ПУ, определение их преимуществ и недостатков в области гидродинамики, управляемости, энергопотребления и компоновки.

Для проведения такого сравнения выполнены: исследование двух схем ПУ, силовой и гидродина-



Рис. 5. Скриншот из видеопрезентации компании Saab [3]

мический анализ, моделирование обтекания и построение графиков зависимостей скоростей в различных направлениях движения. Проведен анализ энергопотребления и режима покладки на грунт.

На рис. 6 показаны аксонометрические проекции АНПА с двумя исследуемыми схемами размещения ПУ: +-образной и X-образной.

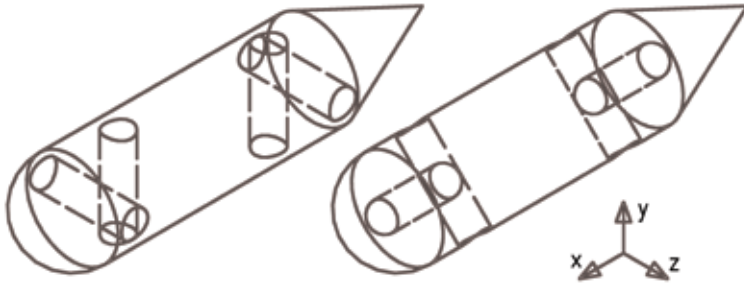


Рис. 6. Аксонометрические проекции АНПА с +-образной (слева) и X-образной (справа) схемами размещения ПУ

На рис. 7 показано миделевое сечение исследуемых схем. Стрелками показаны векторы силы, создаваемые работающими ПУ. Рассмотрим случай создания силы вправо. В +-образной схеме силу вправо F может создавать только горизонтальное ПУ. В X-образной схеме силу вправо могут создавать два одновременно работающих ПУ, каждое из которых создает силу F . При этом суммарная сила ΣF определяется по формуле:

$$\Sigma F = 2F \cdot \cos 45^\circ = 1,41F. \quad (1)$$

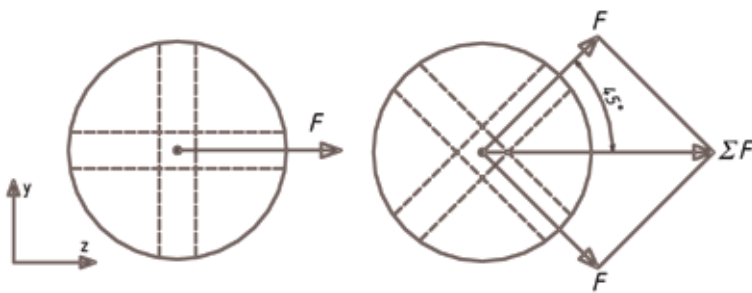


Рис. 7. +-образная (слева) и X-образная (справа) схемы расположения ПУ. Показано сечение АНПА в миделевой плоскости

Таким образом, использование X-образной схемы позволяет создавать силу на 41% больше, чем при использовании +-образной схемы. Данный эффект можно без преувеличения назвать «прорывным», поскольку все известные на данный момент методы увеличения тяги ПУ (совершенствование геометрии гребного винта (ГВ), канала ПУ, формы корпуса вокруг канала ПУ) позволяют выиграть лишь несколько процентов тяги.

■ Особенности движения АНПА в различных плоскостях

Известно, что при движении на переднем ходу эффективная тяга ПУ падает по сравнению с тягой в швартовном режиме [5]. При скорости хода порядка 3–4 узлов эффективность ПУ становится недостаточной для управления АНПА. По этой причине высокоскоростные АНПА оснащаются не только ПУ, но и рулями, которые осуществляют эффективное управление на средних и больших скоростях движения. Использование X-образной схемы, как отмечалось выше, позволяет создать тягу на 41% больше и эффективно применять ПУ на больших скоростях по сравнению с +-образной схемой.

Повышенная тяга ПУ X-образной схемы увеличивает скорость лагового и вертикального движения. Однако стоит учитывать, что реальный выигрыш в тяге X-образной схемы при движении в поперечной и вертикальной плоскостях будет меньше, чем рассчитанный по формуле (1). Из теории гидромеханики известно, что при поперечном обтекании круглого цилиндра потенциальным потоком скорость жидкости по контуру цилиндра будет увеличиваться и достигнет максимального значения вблизи верхней точки цилиндра [6]. Таким образом, в области расположения канала ПУ скорость потока жидкости будет больше, чем скорость набегающего однородного потока. Предварительно оценить скорости потока V в этой области можно по формуле [6]:

$$V = 2V_\infty \sin \theta, \quad (2)$$

где θ – угол между осью и Ox и точкой на контуре цилиндра, V_∞ – скорость набегающего однородного потока.

На рис. 8 представлена схема обтекания цилиндра потенциальным потоком жидкости.

Наиболее эффективно ПУ будет работать в области **A**, в режиме, близком к швартовному. В точке **B** ПУ будет работать менее эффективно из-за ускоренного набегающего потока жидкости. В точке **C** поток достигнет максимальной скорости, в 2 раза большей, чем изначальная скорость набегающего потока. В этой точке наблюдаются самые неблагоприятные условия для работы ПУ.

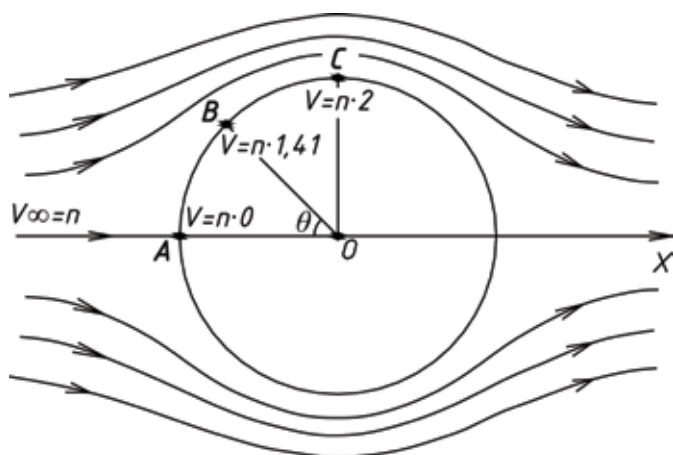


Рис. 8. Схема обтекания цилиндра потенциальным потоком жидкости

В реальных условиях характер обтекания и количественные значения скоростей в области расположения ПУ будут отличаться, поскольку формула (2) справедлива только для идеальной жидкости. Для исследования эффективной тяги ПУ процесс обтекания АНПА с Х-образной схемой ПУ в различных режимах работы двигателей был промоделирован в среде инженерного анализа Star-ССМ+ [7]. На рис. 9 представлено поле скоростей при поперечном обтекании АНПА с +-образной и Х-образной схемами ПУ с включенными двигателями.

Моделирование показало, что «теоретическая» суммарная сила, создаваемая ПУ Х-образной схемы $\Sigma F = 1,41F$ в натуральных условиях будет меньше и составит примерно $\Sigma F = 1,25F$. Такое снижение суммарной силы обусловлено двумя основными факторами: 1) существенное ускорение пока жидкости, обтекающего корпус АНПА в области расположения Х-образных ПУ, создает неблагоприятные ус-

ловия для их работы; 2) истекающие из каналов Х-образных ПУ струи расположены под углом 135° к набегающему потоку и искажаются за счет него, уменьшая эффективность ПУ.

Для оценки влияния Х-образной схемы ПУ на динамику АНПА в программном комплексе моделирования динамики морских подводных технических средств освоения мирового океана SD-DYNA [8] промоделирован режим разгона на погружение с использованием только ПУ. АНПА с +-образной и с Х-образной схемами имеют одинаковую форму и размеры корпуса, оснащены одним и тем же количеством ПУ с идентичными тяговыми характеристиками, различается только угол установки ПУ. На рис. 10 представлены результаты моделирования: зависимость вертикальной скорости погружения от времени для АНПА с +-образной и с Х-образной схемами ПУ.

Видно, что у АНПА с Х-образной схемой ПУ установившаяся скорость погружения составляет $0,38$ м/с, а у АНПА с +-образной схемой ПУ установившаяся скорость погружения составляет $0,34$ м/с.

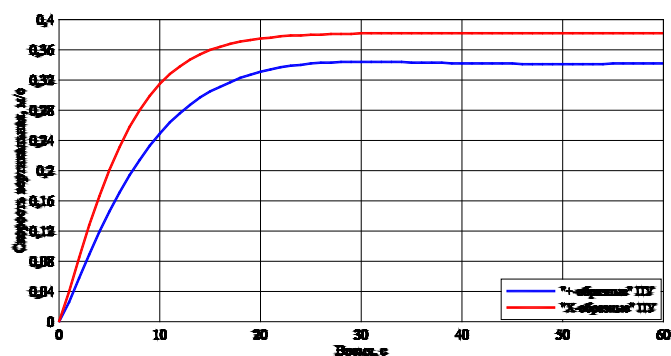


Рис. 10. Зависимость изменения вертикальной скорости от времени при погружении АНПА с +-образной и с Х-образной схемами ПУ

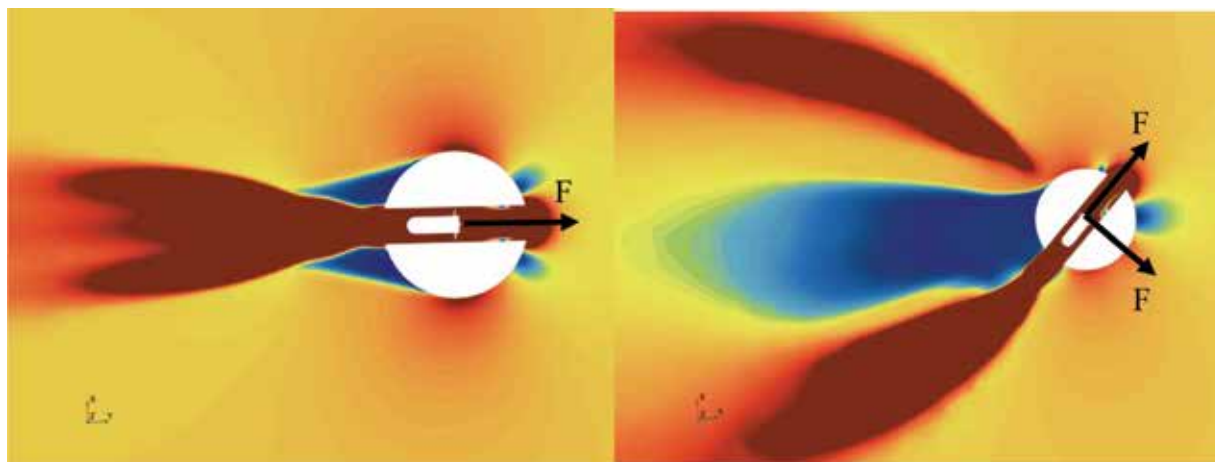


Рис. 9. Поле скоростей при поперечном обтекании АНПА с +-образной (слева) и Х-образной (справа) схемами ПУ с включенными двигателями

■ Особенности мультиканального управления динамикой АНПА

Назначением АНПА, создаваемого в рамках программы LUUV, являются наблюдение, сбор данных, мониторинг подводной инфраструктуры (кабели, платформы) и противоминные задачи [2]. Решение данных задач требует одновременного, мультиканального управления кинематическими параметрами АНПА: курсом, глубиной и дифферентом. Такое управление в режиме независимого управления каналами курса и глубины возможно только для ПУ с +-образной схемой: горизонтальные ПУ управляют курсом, вертикальные ПУ управляют глубиной и дифферентом. При использовании Х-образной схемы ПУ независимое мультиканальное управление кинематическими параметрами невозможно. Таким образом, выявляется один из основных недостатков Х-образной схемы ПУ: невозможность независимого одновременного управления по каналу глубины/дифферента и курса. Каждый из каналов будет «отнимать» располагаемую тягу у другого.

Для оценки эффективности разворота по курсу в программном комплексе SD-DYNA [8] был промоделирован следующий маневр:

- 1) маршевые движители АНПА выключены;
- 2) ПУ включаются с максимальными оборотами (пара передних создают тягу вправо, пара задних создают тягу влево);
- 3) остальные каналы управления кинематическими параметрами работают в автоматическом режиме на стабилизацию дифферента и глубины.

При этом варьировалась дополнительная полезная нагрузка АНПА в диапазоне от 0 до 32 кг. Тяговые характеристики каждого ПУ +-образной и Х-образной схем заданы одинаковыми. Принципиальная возможность удержания глубины АНПА при варьировании полезной нагрузки схематично показана на рис. 11.

На основе информации, представленной на рис. 11 можно сделать вывод о том, что Х-образная схема ПУ позволяет АНПА удерживать больше полезной нагрузки даже при одновременном управлении глубиной, курсом и дифферентом.

Одновременное управление по нескольким каналам требуется также при использовании АНПА в условиях воздействия течения. Рассмотрим маневр погружения АНПА в заданную точку на вертикальных ПУ, под воздействием бокового (90° к продольной оси АНПА) течения. При выполнении данного маневра АНПА должен одновременно контролировать курс, глубину, поперечное смещение за счет ПУ

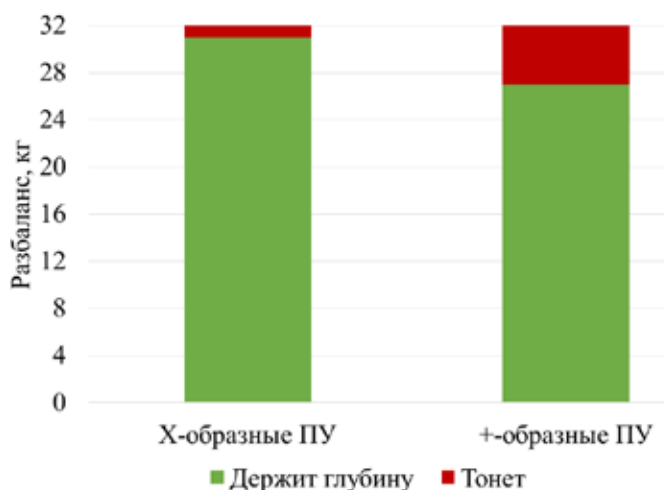


Рис. 11. Принципиальная возможность удержания глубины АНПА с +-образной и с Х-образной схемами ПУ при варьировании разбаланса

и продольное смещение за счет маршевых движителей.

При выполнении данного маневра у АНПА с +-образной схемой ПУ имеется преимущество в виде независимых горизонтальных ПУ. Весь ресурс данных ПУ используется для противодействия течению, а весь ресурс вертикальных ПУ – для создания максимальной скорости погружения. АНПА с Х-образной схемой ПУ при наличии бокового течения вынужден для противодействия этому течению «отбирать» часть ресурса у ПУ, работающих на погружение. На рис. 12 представлена зависимость вертикальной скорости АНПА от скорости бокового течения.

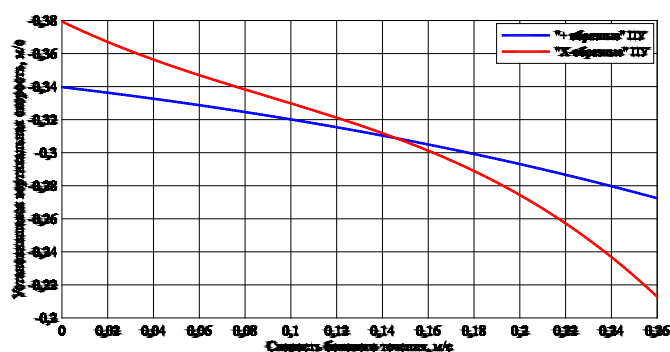


Рис. 12. Зависимость вертикальной скорости АНПА от скорости бокового течения

Из рис. 12 следует, что при скорости бокового течения более 0,15 м/с на первый взгляд более эффективная Х-образная схема начинает проигрывать +-образной схеме по динамическим качествам. Таким образом, для условий эксплуатации АНПА в районах мирового океана с большими скоростями придонно-

го течения +-образная схема ПУ является предпочтительной.

Анализируя приведенные результаты исследования динамики, следует учитывать, что ПУ с Х-образной схемой из-за особенностей своей архитектуры будут потреблять больше электроэнергии, чем ПУ с +-образной схемой. Работа ПУ с Х-образной схемой предполагает использование двух электродвигателей вместо одного в +-образной схеме. Это является существенным недостатком Х-образной схемы в условиях ограниченного энергетического ресурса АНПА. Также быстрее расходуется ресурс электродвигателей и в целом снижается надежность движительного комплекса АНПА с Х-образной схемой.

Приведенные в статье параметры движения АНПА были получены в программном комплексе моделирования динамики SB-DYNA [8]. В данном программном комплексе реализовано решение традиционного набора уравнений движений подводного объекта [9], а также метод распределения управляющих воздействий от движителей АНПА, расположенных под различными углами в системе координат АНПА [10].

■ Покладка на грунт

Режим покладки на грунт крайне неблагоприятен для АНПА с +-образной схемой ПУ. Из-за изменяющейся гидрологии и обжатия АНПА почти всегда разбалансирован по плавучести. Если при необходимости покладки на грунт плавучесть АНПА будет положительной, то ПУ, работая на прижим АНПА к дну, будет всасывать всевозможные элементы донного грунта (песок, камни, подводная флора) в канал вертикального ПУ, что, скорее всего, приведет к повреждению или заклиниванию ГВ ПУ.

АНПА с Х-образной схемой ПУ может осуществлять покладку на грунт и дальнейшее всплытие с

него в более благоприятных условиях, поскольку угловое расположение каналов ПУ может обеспечить проток воды через них без контакта с донной поверхностью. На рис. 13 представлены два варианта расположения АНПА на грунте: АНПА с +-образной и с Х-образной схемой ПУ.

Заключение

1. Выполнено сравнение Х-образной и +-образной схем применительно к АНПА.

2. По результатам представленного исследования можно сделать вывод, что Х-образная схема ПУ обладает как преимуществами, так и недостатками.

3. По мнению авторов, переход компании Saab на новом АНПА от +-образной к Х-образной схеме ПУ вызван двумя основными факторами, которые следуют из модели использования и основных выполняемых миссий АНПА [3]:

а) установка на морское дно тяжелой полезной нагрузки и дальнейшее выполнение миссии с большим разбалансом по плавучести. Х-образная схема позволяет компенсировать больший разбаланс по плавучести, чем +-образная схема;

б) АНПА осуществляет покладку на грунт. Х-образная схема более благоприятна для данного маневра.

4. При использовании АНПА в районах с большими скоростями придонного течения +-образная схема является предпочтительной.

5. Для того чтобы сделать вывод о целесообразности внедрения ПУ с Х-образной схемой на АНПА, необходимы дополнительные исследования и проработки в области гидродинамики подруливающих устройств: получение зависимостей коэффициента падения тяги для Х-образной схемы при движении АНПА в широком диапазоне углов натекания воды на каналы ПУ для возможности корректной оценки динамики пространственных маневров.

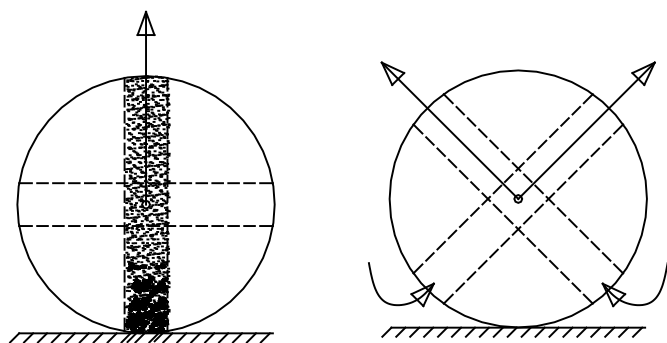


Рис. 13. АНПА на грунте с +-образной (слева) и с Х-образной схемами (справа) ПУ

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Saab to develop large autonomous underwater vehicle for Sweden. URL: <https://www.saab.com/newsroom/press-releases/2025/saab-to-develop-large-autonomous-underwater-vehicle-for-sweden> (дата обращения: 01.12.2025).
2. Дайджест зарубежной прессы. ВМС и кораблестроение. 2025. Вып. 114.
3. Autonomous Ocean Drone by Saab. URL: <https://www.navalnews.com/videos/#jDjwL1rfLYA> (дата обращения: 22.12.2025).
4. From Karlskrona with code: Sweden's Autonomous Ocean Drone emerges. URL: <https://www.fw-mag.com/shownews/905/from-karlskrona-with-code-sweden-s-autonomous-ocean-drone-emerges> (дата обращения: 09.02.2026).
5. Юрканский А.В., Ремизов И.И., Половко С.А., Щур Н.А. Особенности работы подруливающих устройств вблизи кормового

конуса подводного аппарата // Труды Крыловского государственного научного центра. 2025. Т. 3, № 413. С. 69–75.

6. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа: учеб. для вузов. 7-е изд., испр. М.: Дрофа, 2003. 840 с.

7. Simcenter STAR-CCM+ : User Guide and Tutorials :[site]. [S.l.], 2024. URL: https://docs.sw.siemens.com/en-US/doc/226870983/PL2023072420774020starc_cm_userguide_html?audience=external (дата обращения: 06.06.2025)

8. Программный комплекс для расчета динамики объектов морской техники «SB – DYNA». Версия 7: свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2018613680 / Пономарев А.Н., Юрканский А.В., Карлинский С.Л., Веретенников Д.О., Гражданцева И.Г. Заявка №2018610605, зарегистрировано 24.01.2018, опубликовано 21.03.2018.

9. Рождественский В.В. Динамика подводной лодки. Ч. 1. Л.: Судостроение, 1970. 352 с.

10. Костенко В.В., Толстоногов А.Ю. Методы решения задачи распределения управляющих воздействий на исполнительные механизмы подводного аппарата: краткий обзор // Подводные исследования и робототехника. 2021. №. 1(35). С. 4–17.



Сведения об авторах

ВИЛЬНИТ Игорь Владимирович, д.т.н., генеральный директор
Акционерное общество «Центральное конструкторское бюро
морской техники «Рубин»

Адрес: 191119, Санкт-Петербург, ул. Марата, 90

Научные интересы: робототехника, судостроительные конструкции, строительная механика

Тел.: +7 812 494-16-36

E-mail: neptun@ckb-rubin.ru

ЮРКАНСКИЙ Александр Викторович, д.т.н., начальник сектора

Акционерное общество «Центральное конструкторское бюро
морской техники «Рубин»

Адрес: 191119, Санкт-Петербург, ул. Марата, 90

Научные интересы: гидродинамика, управляемость, средства активного управления

Тел.: +7 812 494-16-36

E-mail: neptun@ckb-rubin.ru

ПОНОМАРЕВ Алексей Николаевич, к.т.н., начальник группы
Акционерное общество «Центральное конструкторское бюро
морской техники «Рубин»

Адрес: 191119, Санкт-Петербург, ул. Марата, 90

Научные интересы: системы автоматического управления, гидродинамика

Тел.: +7 812 494-16-36

E-mail: neptun@ckb-rubin.ru

РЕМИЗОВ Иван Игоревич, конструктор 2 категории высшей
квалификации

Акционерное общество «Центральное конструкторское бюро
морской техники «Рубин»

Адрес: 191119, Санкт-Петербург, ул. Марата, 90

Научные интересы: гидродинамика, ходкость, управляемость

Тел.: +7 812 494-16-36

E-mail: neptun@ckb-rubin.ru

ORCID: 0009-0004-7868-4059

SPIN-код: 2187-9610



DOI: 10.37102/1992-4429_2026_56_02_01

SPECIFICS OF USAGE X-FORM THRUSTERS FOR UNDERWATER VEHICLES

I.V. Vilnit, A.V. Yurkansky, A.N. Ponomarev, I.I. Remizov

This paper presents a new variant of thruster arrangement for underwater vehicles, that enables more efficient control of their diving depth and heading.

Keywords: AUV, thruster, X-form, propulsion, propulsor, seabed grounding.

References

1. Saab to develop large autonomous underwater vehicle for Sweden. URL: <https://www.saab.com/newsroom/press-releases/2025/saab-to-develop-large-autonomous-underwater-vehicle-for-sweden> (access date 01.12.2025)
2. Foreign press digest. Navy and shipbuilding. Vol. 114. GE «KSRC», 2025
3. Autonomous Ocean Drone by Saab. URL: <https://www.navalnews.com/videos/#jDjwL1rFLYA> (access date 22.12.2025)
4. From Karlskrona with code: Sweden's Autonomous Ocean Drone emerges. URL: <https://www.fw-mag.com/shownews/905/from-karlskrona-with-code-sweden-s-autonomous-ocean-drone-emerges> (access date 09.02.2026)
5. Yurkansky A.V., Remizov I.I., Shehur N.A., Polovko S.A. Specifics of maneuvering thruster performance near aft cone of underwater vehicle // Transactions of the Krylov State Research Centre. 2025; 3(413): 69–75
6. Loytsansky L.G. Fluid and gas mechanics: 7-th edit. Moscow: «Drofa», 2003. 840 p.
7. Simcenter STAR-CCM+ : User Guide and Tutorials :[site]. [S.l.], 2024. URL: https://docs.sw.siemens.com/en-US/doc/226870983/PL20230724207774020starccmp_userguide_html?audience=external (access date 06.06.2025)
8. Software for calculation marine objects dynamics «SB – DYNA». Version 7. Ponomarev A.N., Yurkansky A.V., Karlinsky S.L., Veretennikov D.O., Grazdantseva I.G. Software registration certificate RU 2018613680, 21.03.2018. Bid №2018610605 от 24.01.2018
9. Rozhdestvensky V.V. Submarine dynamics. First part. Leningrad: «Shipbuilding», 1970. 352 p.
10. Kostenko V.V., Tolstonogov A.U. Methods of solving actuators control signals distribution problem: summary review. Underwater investigations and robotics. 2021. No. 1(35). P. 4–17.

Recommended citation:

Vilnit I.V., Yurkansky A.V., Ponomarev A.N., Remizov I.I. SPECIFICS OF USAGE X-FORM THRUSTERS FOR UNDERWATER VEHICLES. UNDERWATER INVESTIGATIONS AND ROBOTICS. 2026. No. 2 (56). P. 4–11. DOI: 10.37102/1992-4429_2026_56_02_01. EDN: NMACYH.

Information about the authors

VILNIT Igor Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences, Director
 Joint-Stock Company «Central Design Bureau for Marine Engineering «Rubin»
Address: 90, Marata str., Saint Petersburg, 191119, Russian Federation
Research interests: robotics, shipbuilding structures, structural mechanics
Phone: +7 812 494-16-36
E-mail: neptun@ckb-rubin.ru

YURKANSKY Alexander Viktorovich, Doctor of Technical Sciences, head of sector
 Joint-Stock Company «Central Design Bureau for Marine Engineering «Rubin»
Address: 90, Marata str., Saint Petersburg, 191119, Russian Federation
Research interests: hydrodynamics, controllability, active control systems
Phone: +7 812 494-16-36
E-mail: neptun@ckb-rubin.ru

PONOMAREV Alexey Nikolaevich, Ph.D., head of group
 Joint-Stock Company «Central Design Bureau for Marine Engineering «Rubin»
Address: 90, Marata str., Saint Petersburg, 191119, Russian Federation
Research interests: automatic control systems, hydrodynamics
Phone: +7 812 494-16-36
E-mail: neptun@ckb-rubin.ru

REMIZOV Ivan Igorevich, designer of the 2nd category of the highest qualification
 Joint-Stock Company «Central Design Bureau for Marine Engineering «Rubin»
Address: 90, Marata str., Saint Petersburg, 191119, Russian Federation
Research interests: hydrodynamics, propulsion, controllability
Phone: +7 812 494-16-36
E-mail: neptun@ckb-rubin.ru
ORCID: 0009-0004-7868-4059
SPIN-код: 2187-9610