

# Технологические морские роботы вертикального перемещения: научные проблемы и опыт их решения.



Ермолов И. Л.

Институт проблем  
им. А.Ю. Ишлинского РАН

механики

Москва 2024 г.

**НИРы: «Разработка облика  
перспективного робота для очистки  
корпусов судов от обрастаний»**

**И**

**«Поисковые исследования для создания  
компонентов РТК для очистки корпусов  
судов от обрастаний»**



**приоритет2030<sup>+</sup>**  
лидерами становятся



# Целевые объекты

- Торговые и рыболовные суда: 2204 судна.
- Пассажирские суда: 1253 судна.
- Морские платформы нефтегазовой отрасли: 7 платформ.
- Военно-морской флот: около 300 кораблей, катеров и подводных лодок.



В воде присутствует множество микроорганизмов, которые самостоятельно прикрепляются к медленно движущимся или неподвижным объектам, образуя биологическую пленку, которая в дальнейшем разрастается в колонии более крупных организмов.



**Затраты, связанные с биологическим обрастанием морских судов, ежегодно составляют более 8 млрд. долларов**

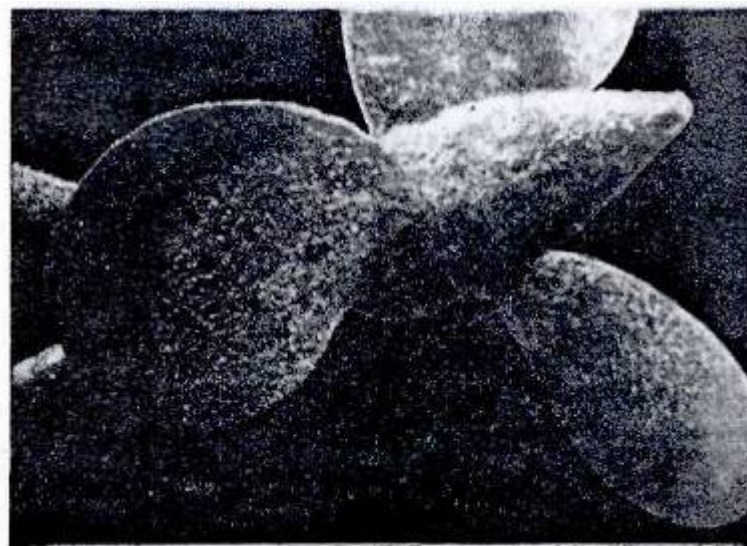


# Проблемы обрастания под водой

Обрастание корпуса неодинаково как по вертикали (ватерлиния, участки выше и ниже изгиба корпуса к килю, днище), так и по продольной оси судна (нос, мидель, корма).

На степень обрастания судов при сравнимой со сроком действия необрастающих красок продолжительности плавания влияют многие причины: время и место стоянки, скорость хода и пр.

При доковании судов, плавающих в Японском и Черном морях, уже через 6 мес. значительная (45—70%) часть корпуса оказывается в той или иной мере обросшей животными и водорослями. На отдельных судах, плавающих в Баренцевом море, наблюдается значительное обрастание белянусами, высотой до 20 мм.

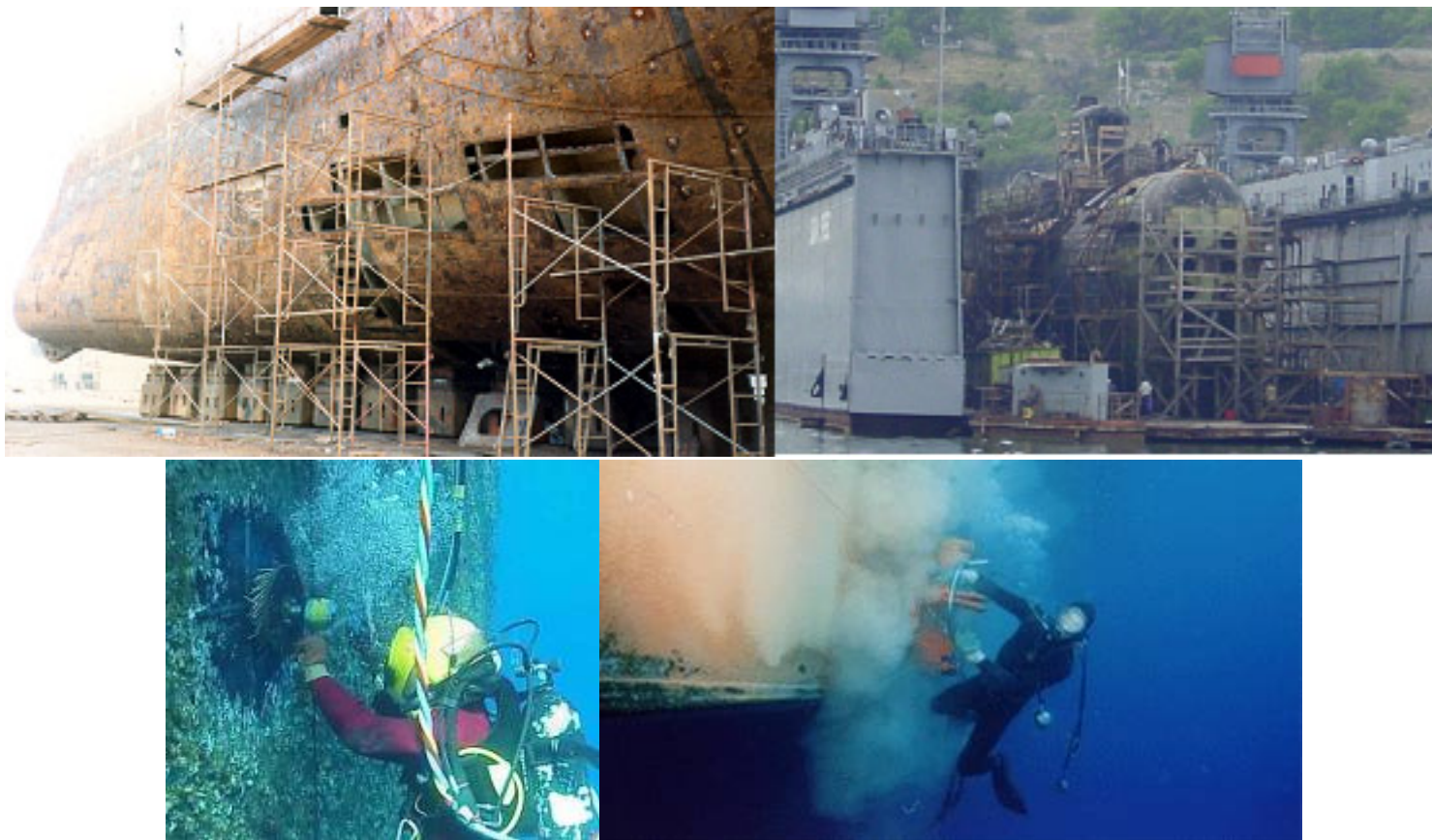


# Негативные последствия от обрастания корпусов судов и кораблей

- Существенное повышение сопротивления движению корпуса судна в воде.
  - Снижение скорости хода.
  - Повышение расхода топлива.
  - Увеличение времени, требуемого для решения целевых задач.
  - Вынужденные простои для очистки корпуса.
  - Затраты на очистку корпуса от обрастаний в сухих доках.
  - Снижение боеготовности судов и кораблей ВМФ.
  - Усиление демаскирующих признаков (по гидроакустике).
- 
- Миграция особей микро- и макро-организмов в несвойственные им места обитания, т.е. биологическое загрязнение.

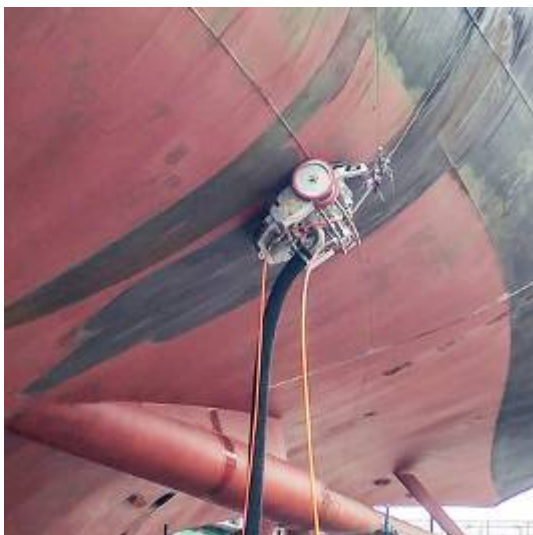


# Традиционные пути борьбы с обрастанием





# Опыт построения роботов для инспекции и очистки поверхностей судов и подводных конструкций



MPK Spiderjet с бортовой системой гидроструйной очистки.



MPK Envirobot на корпусе судна



Прототип автономного робота для очистки корпусов судов HISMAR



TAS GLOBAL для подводной очистки корпусов судов

## Экономическое обоснование проекта

*Данные предварительного расчёта окупаемости одного комплекса очистки, в расчёте были применены следующие исходные данные:*

- Очистка одного судна средней площади поверхности 6000 м<sup>2</sup> занимает две рабочие смены.
- За месяц можно провести очистку 15 единиц морских судов с помощью одного комплекса.
- Расчёт стоимости очистки ведётся от 200 рублей за квадратный метр.
- Прибыль рассчитывается в 20% от выручки.

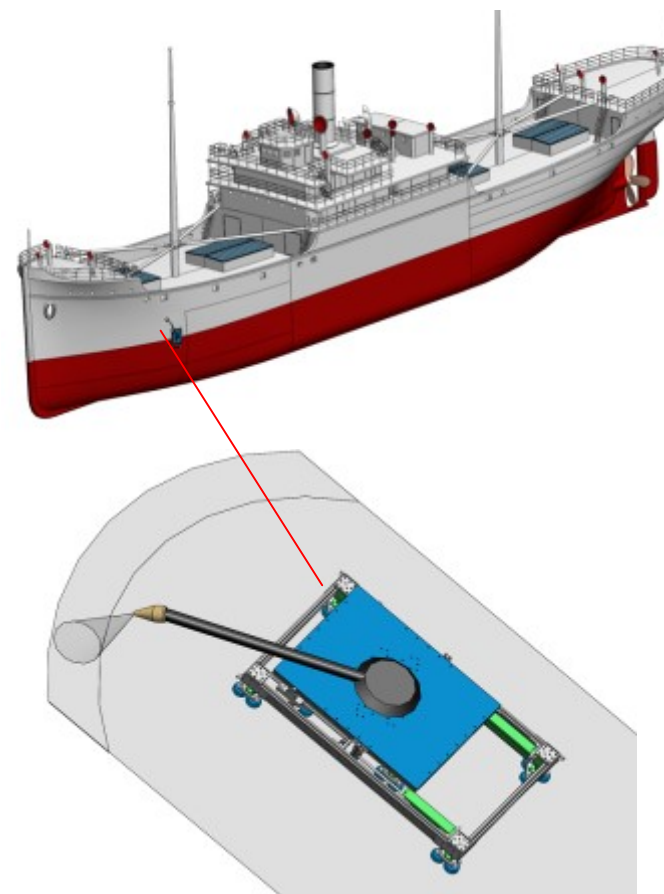
Таблица 1. Окупаемость одного комплекса очистки при обслуживании 15 средне тоннажных судов.

<b>Стоимость очистки, руб/м2</b>	<b>200</b>
<b>Средняя площадь судна, м2</b>	<b>6000</b>
<b>Выручка с судна, руб</b>	<b>1 200 000</b>
<b>Количество очищенных судов в</b>	<b>15</b>
<b>Выручка в месяц, руб</b>	<b>18 000 000</b>
<b>Прибыль в месяц, руб</b>	<b>3 600 000</b>
<b>Прибыль в год, руб</b>	<b>43 200 000</b>



## **Планируемая прибыль в год при доле очищаемых судов в 20% от количества заходов в различные порты**

Порт	Мурманск	Новороссий	Дубай
Количество судозаходов в год,	8925	4856	86000
Количество судозаходов в месяц, ед	743	404	7166
Доля судов, очищаемых в месяц,	20	20	20
Стоимость очистки, руб/м2	200	200	200
Средняя площадь судна, м2	6000	4000	9000
Выручка с судна, руб	1 200 000	800 000	1 800 000
Количество очищенных судов в	148	80	1433
Выручка в месяц,	177 600 000	64 000 000	2 579 400 000
Прибыль в месяц,	35 520 000	12 800 000	515 880 000
Прибыль в год, руб	426 240 000	153 600 000	6 190 560 000



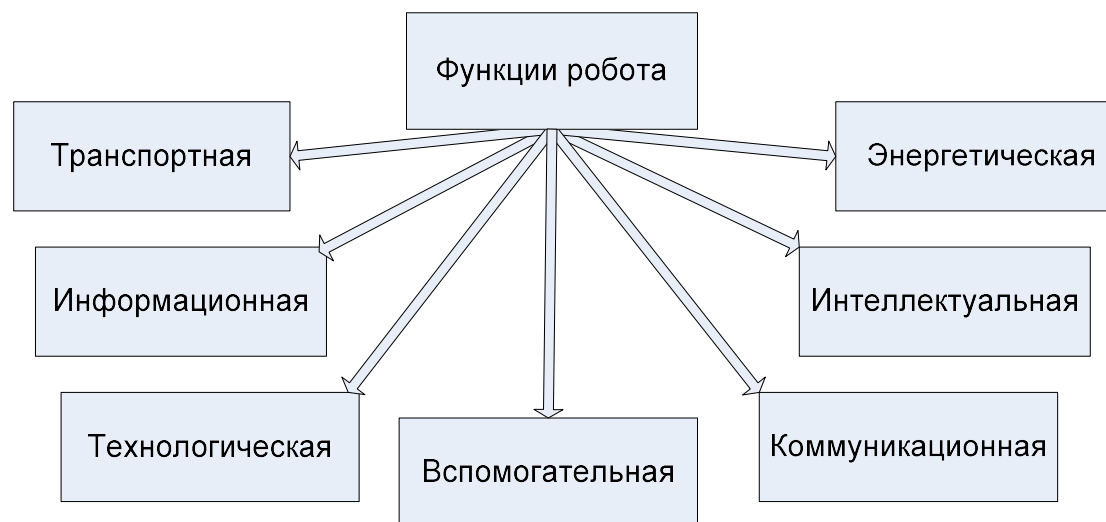
Для сравнения в столбце три, приведены данные по порту Дубая, которые показывают существенно большие цифры ввиду более плотного трафика судов.



# Новизна исследований

- Поставлена цель создать робототехническую систему, способную выполнять операцию очистки корпуса судна, находящегося на плаву (без необходимости постановки его в сухой док), с обеспечением очистки как подводной, так и надводной частей корпуса судна.

- В рамках данных НИР при формировании структуры РТК впервые использовалась разработанная ранее *Типовая схема деления (типовой состав) РТК*.



# Типовая схема деления (типовой состав) РТК ВСДН



### Модуль базовый носитель

Силовой двигатель
Трансмиссия
Движитель
Подвеска
Несущий корпус (силовая рама, планер)
Рулевые устройства
Автопилот

### Модуль информационный

Датчики внутреннего состояния
Датчики внешней среды
Система технического зрения
Средства навигации
Средства объективного контроля
Система комплексирования данных

### Модуль связи и коммуникаций

Средства внутренней связи
Средства внешней связи
Система госопознавания
Аварийные каналы связи
Бортовые ЧМИ
Средства внутригрупповой связи РТК
Система управления обмена данными

### Модуль энергообеспечения

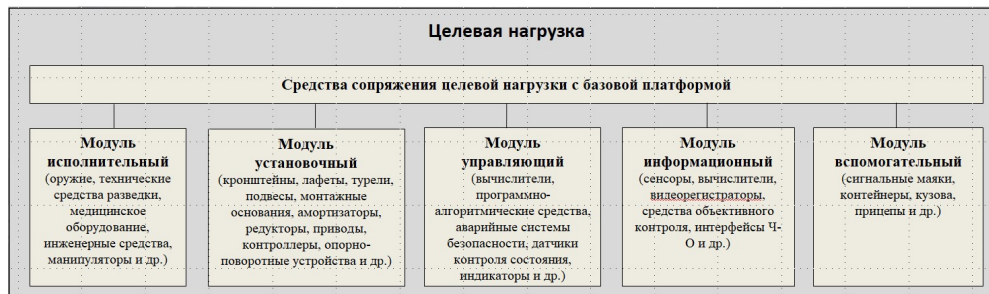
Энергоноситель
Генератор
Преобразователь энергии
Устройство восполнения энергии
Система управления энергообеспечением
Система аварийного энергообеспечения

### Модуль управляющий

Аппаратные средства	
Процессоры	
Запоминающие устройства	
Интерфейсы	
Программно-алгоритмические средства	
ОС	
Драйверы	
Специальное (прикладное) ПО	

### Модуль служебный

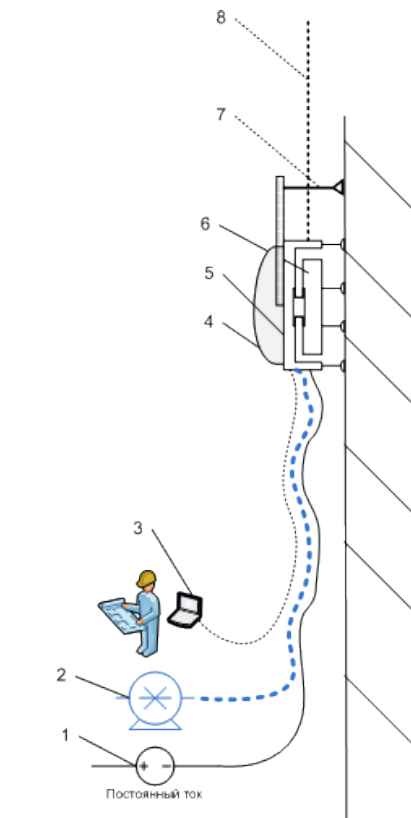
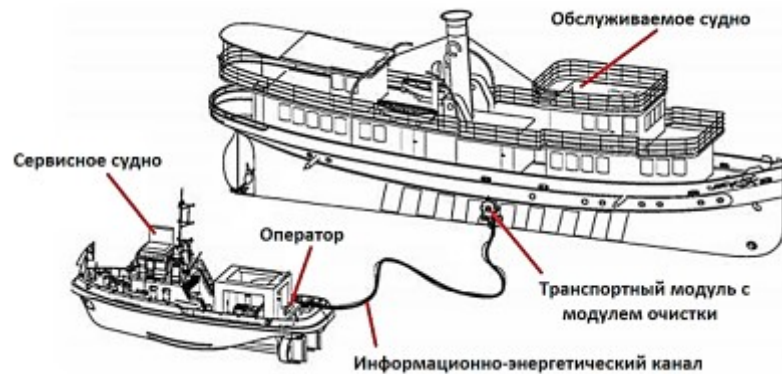
Система жизнеобеспечения	
Обеспечение климата	
Защита от РХ	
Система безопасности	
Система пожаротушения	
Система аварийной блокировки	
Система самоликвидации	
Система аварийная	
Система аварийного останова	
Система аварийного управления	



Подробнее: Формирование обобщенной структурной схемы робототехнических комплексов / Л.И. Ермолов, С.П. Хрипунов // Робототехника и техническая кибернетика. – №1(14). – Санкт-Петербург : ЦНИИ РТК. – 2017. – С. 22-26.

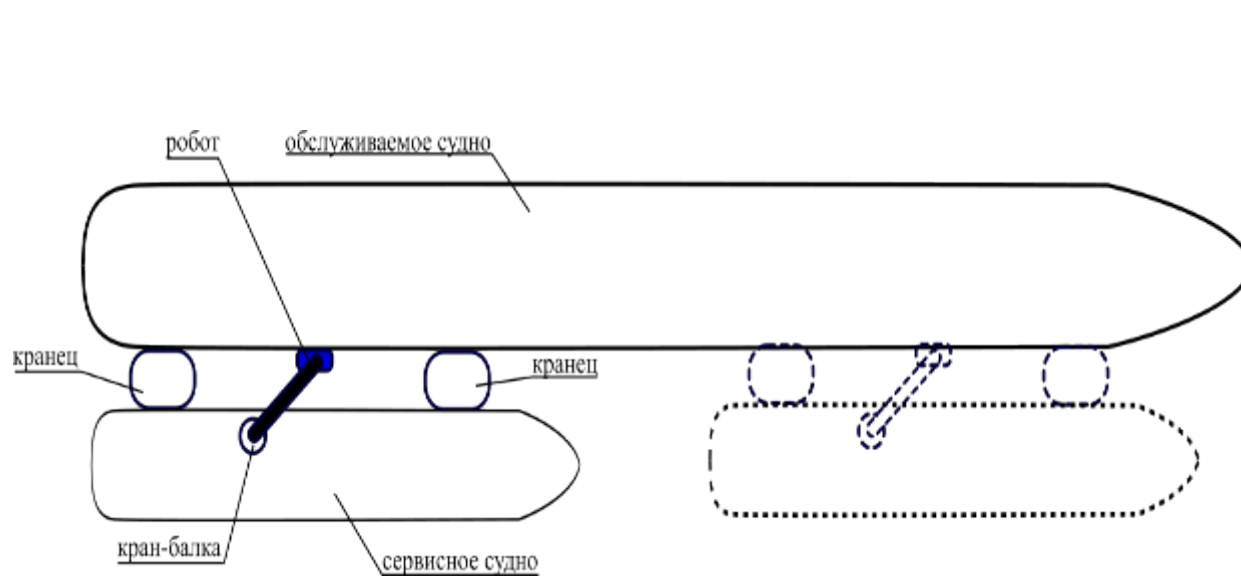
# Разработка технического облика и характеристик изделия

## Структура РТС



Структура робота вертикального перемещения включает в себя базовые модули: транспортный(5,6), технологический(4,7), управляющий(3), сервисные подсистемы: коммуникационную, энергообеспечения (1,2) и служебный(8).

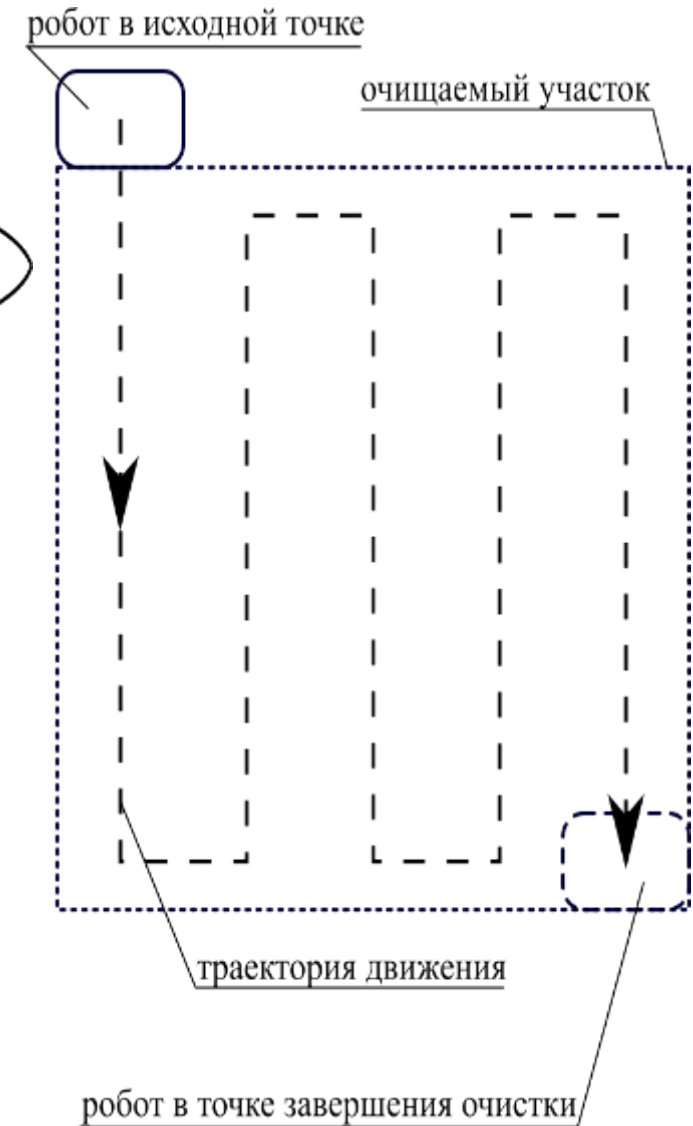
# Очистка обслуживаемого судна



В начале очистки сервисное судно пришвартовывается лагом к борту обслуживаемого судна в кормовой или носовой части.

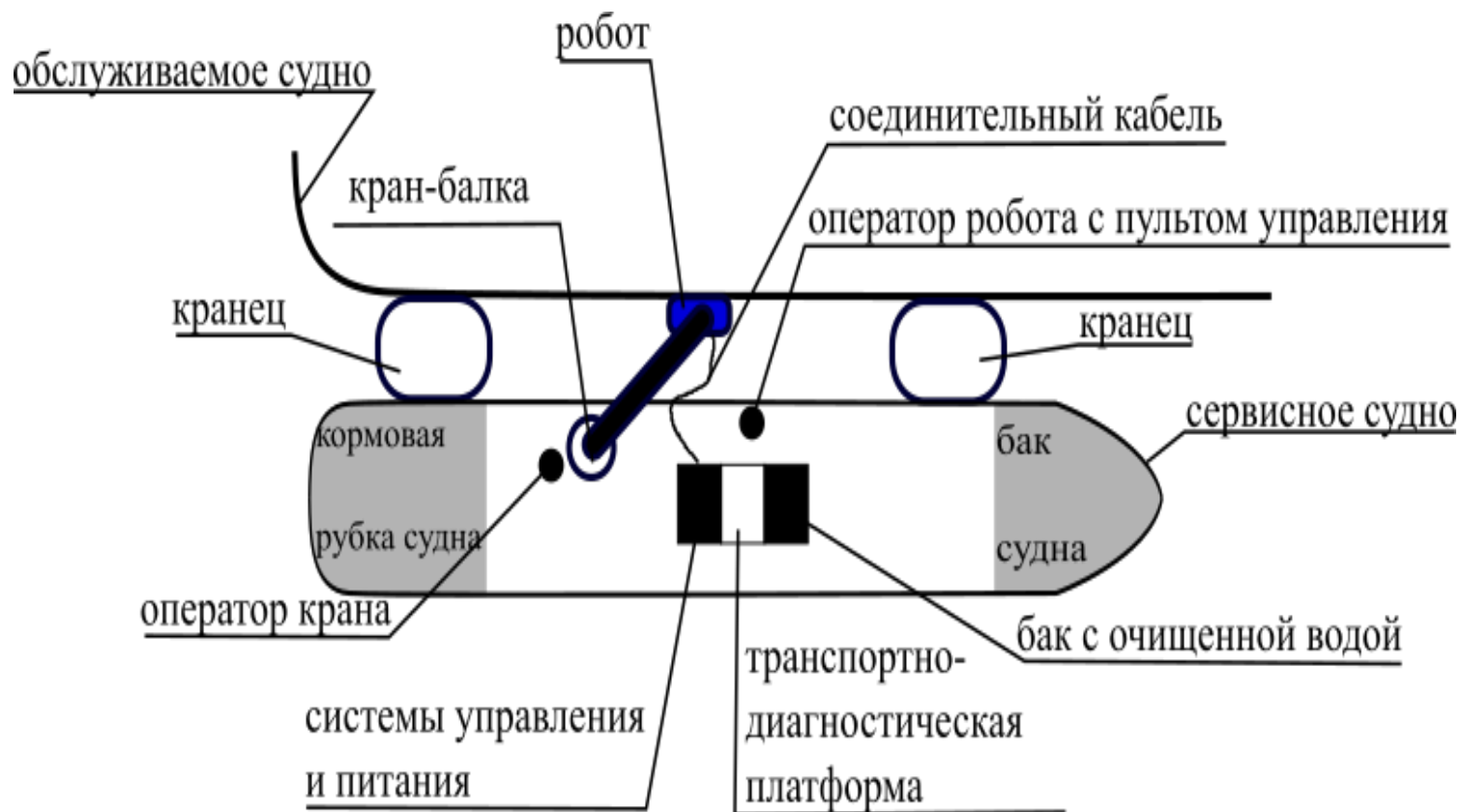
Для перехода к следующему участку очистки сервисное судно перемещается (например посредством перетяжки) вдоль борта обслуживаемого судна.

Очищаемые участки должны перекрываться как минимум на полметра.



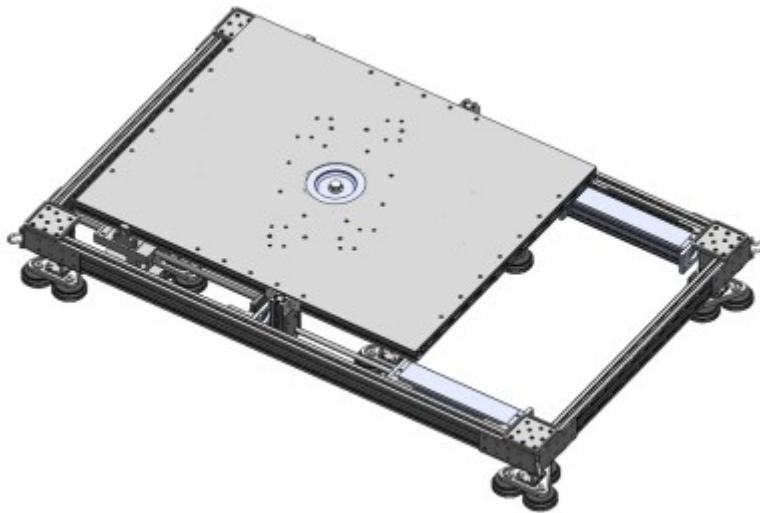


## Расположение оборудования и персонала на обслуживающем судне



# Транспортный модуль

***Разрабатываемая транспортная платформа (ТП) будет состоять из рамной конструкции, изготовленной из алюминиевых анодированных профилей, с расположенными на ней исполнительными механизмами и технологическим оборудованием, способными перемещать ее в требуемую зону на корпусе судна.***



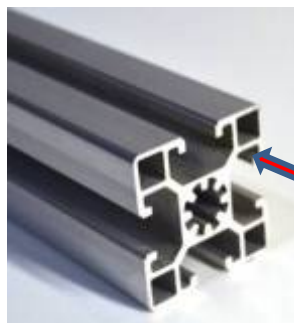
В состав основных узлов входят:

- 1 - внешняя платформа, на которой расположены маршевые пневмоцилиндры;
- 2 - узел поворота, который соединяет несущую плиту и внутреннюю платформу;
- 3 - внутреннюю платформу и несущую плиту, где будет крепиться все технологическое оборудование;
- 4 - узлы сцепления с поверхностью, которые закреплены на пневмоприводах выдвижения-втягивания, расположенных на внутренней и внешней платформе ТП.

***В рамках разработки технического облика и характеристик транспортного модуля, были проведены следующие расчеты:***

1. Расчёты, подтверждающие работоспособность выбранной конструкции транспортной платформы.
2. Расчет работы ТП в водной среде.
3. Исследование характеристик и выбор устройств генерации вакуума.
4. Исследование характеристик и выбор пневмоцилиндров.

# Состав изделий транспортного модуля



Корпус рамы из алюминиевого анодированного конструкционного профиля

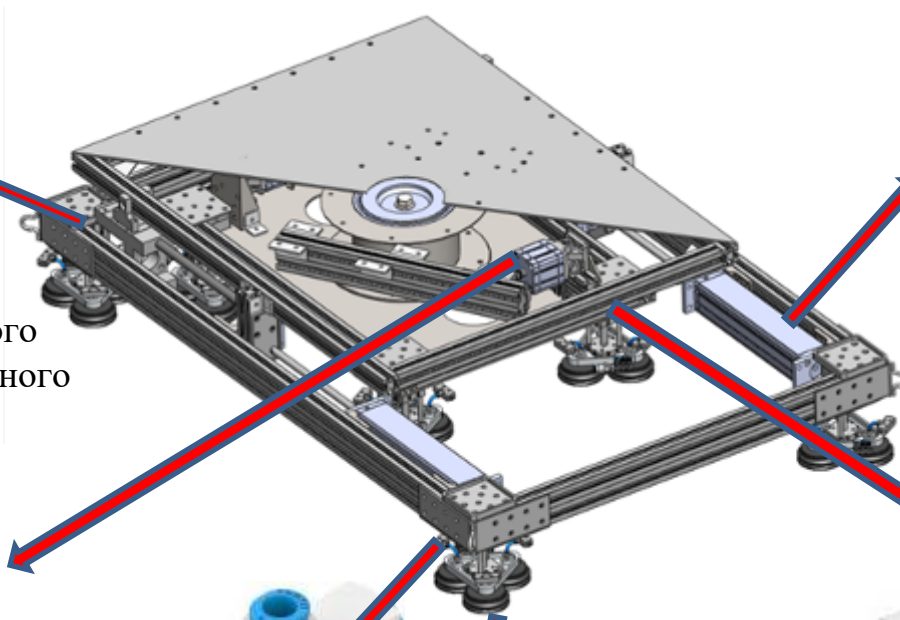


Привод поворота NEMO56 NMRV110

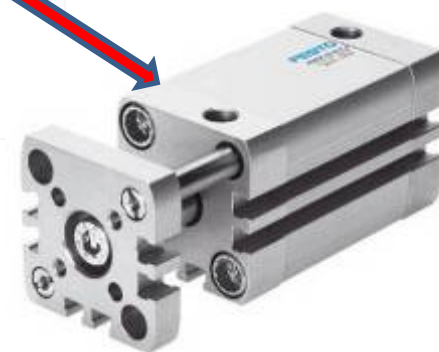
Устройство генерации вакуума Festo VN-10-H-T3-PQ2-VQ2-RQ2.



Вакуумные присоски Festo VASB-100-3/8-PUR-B.

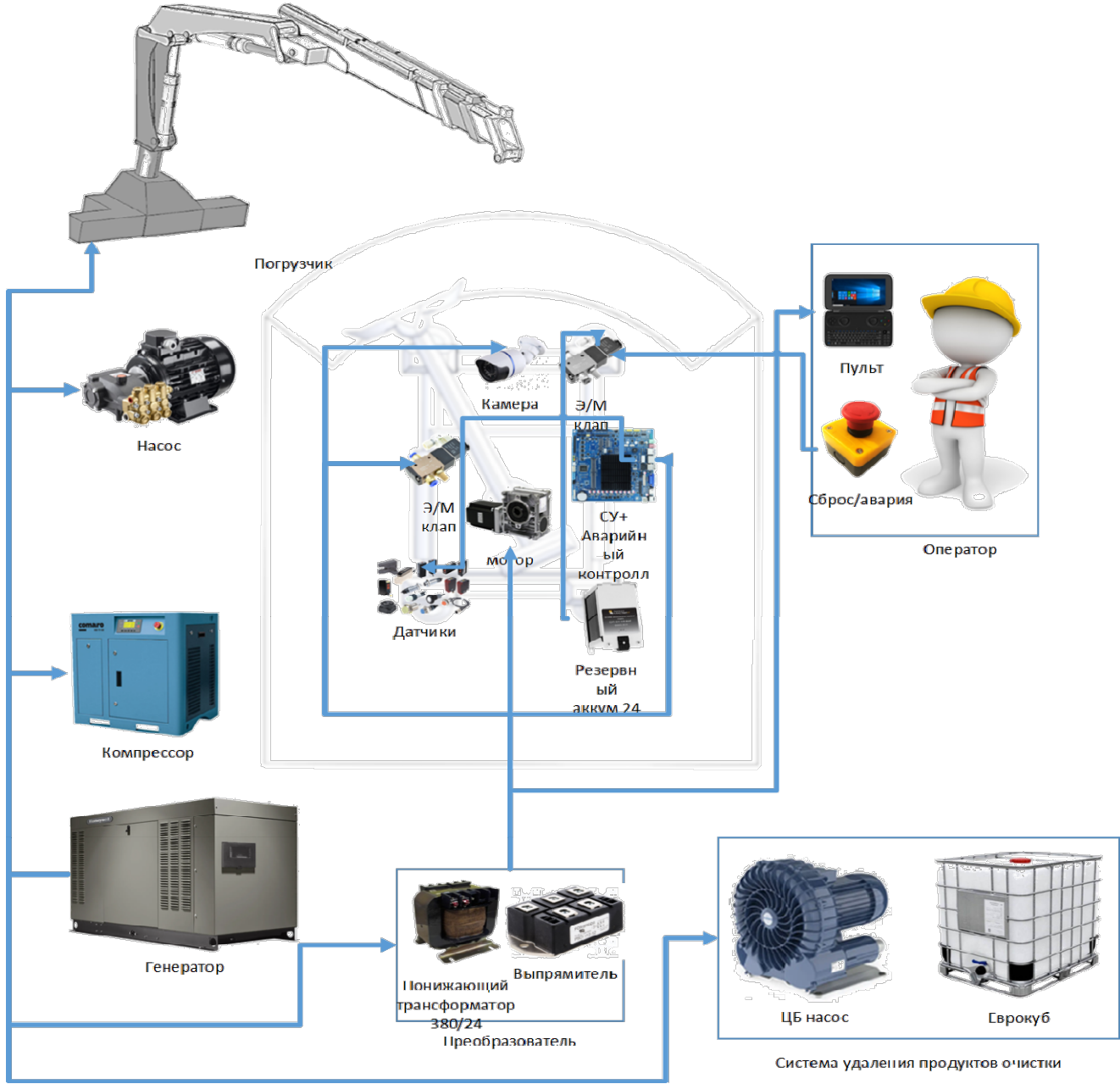


Маршевые пневмоцилиндры Festo ADN D63



Пневмоцилиндры подъема-опускания 3У (присосок) Festo ADNGF D50

# Модуль энергообеспечения



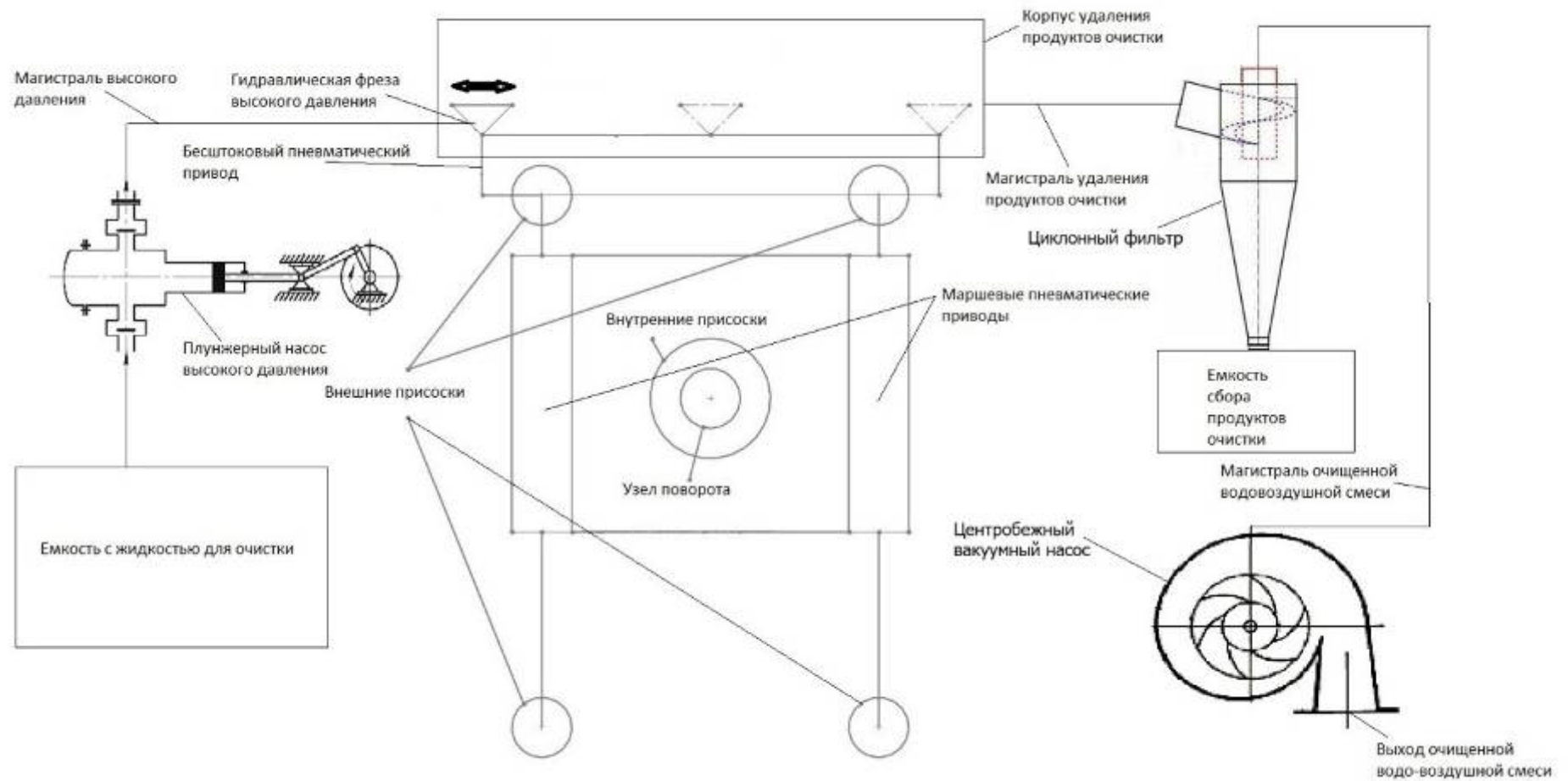
# Модуль энергообеспечения



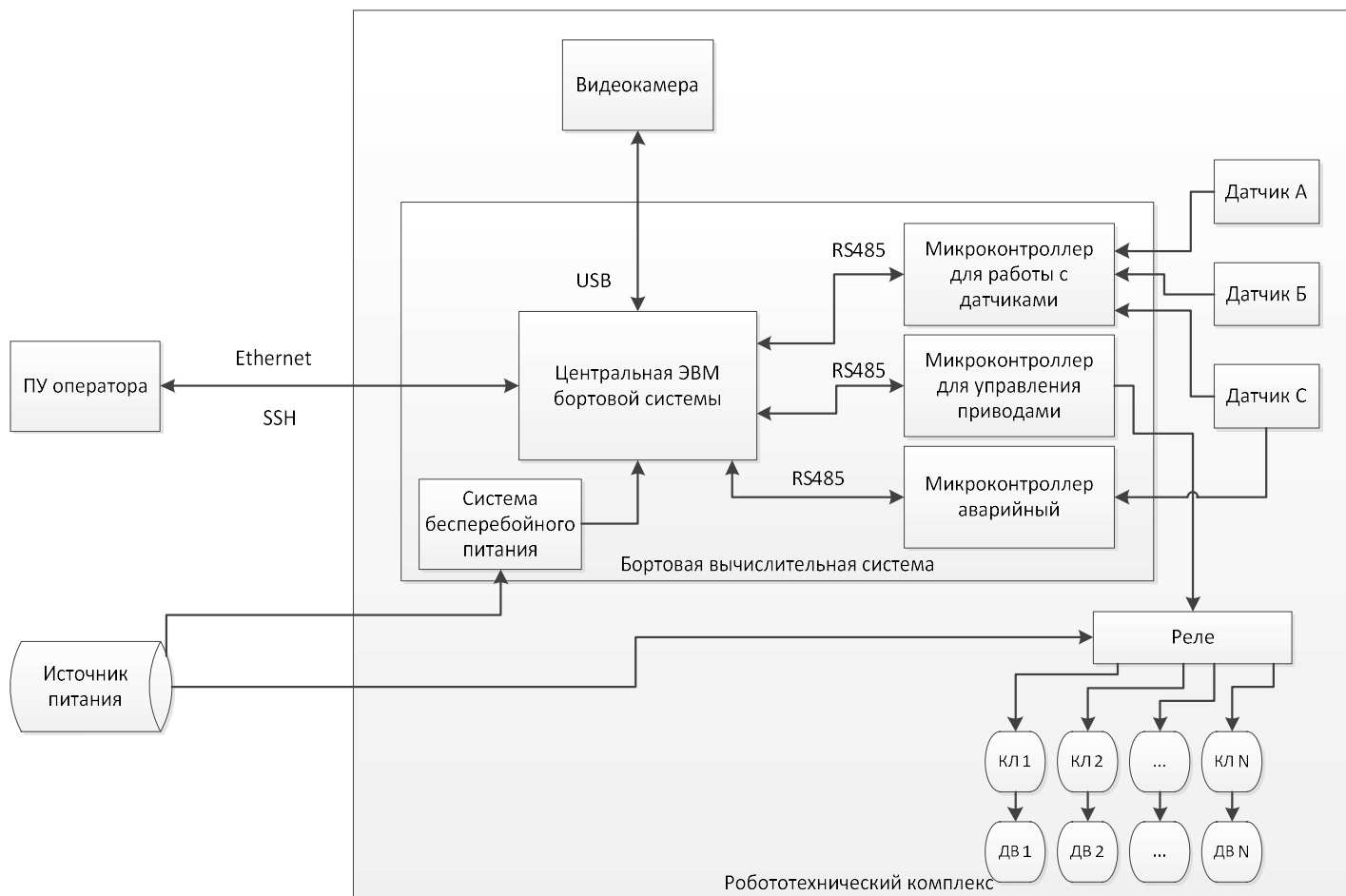


# Модуль технологический

## Перспективный вариант организации очистки



# Модуль интеллектуальный. Общая структура.



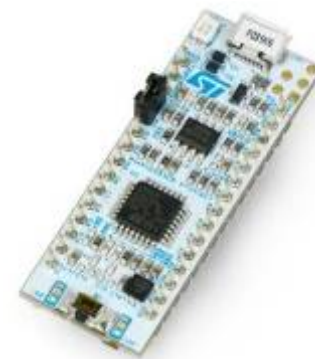
## Модуль интеллектуальный. Аппаратное обеспечение.



Материнская плата Mini ITX NAS  
(Intel Celeron N5105)



Микроконтроллер  
STM32F401RE



Микроконтроллер  
STM32F031K6 (аварийный)

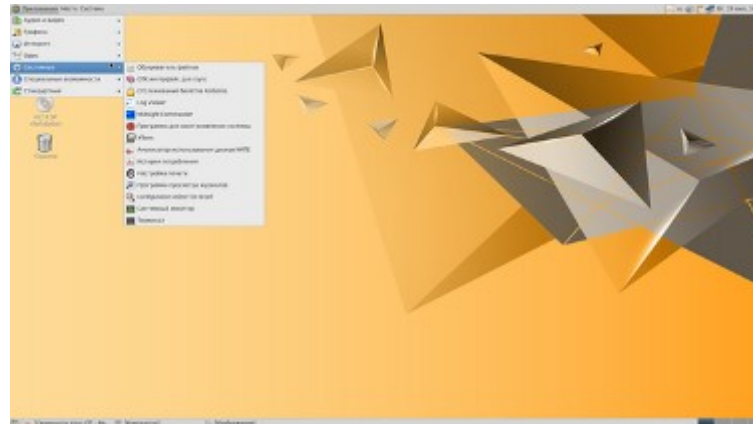


16-и каналный релейный модуль

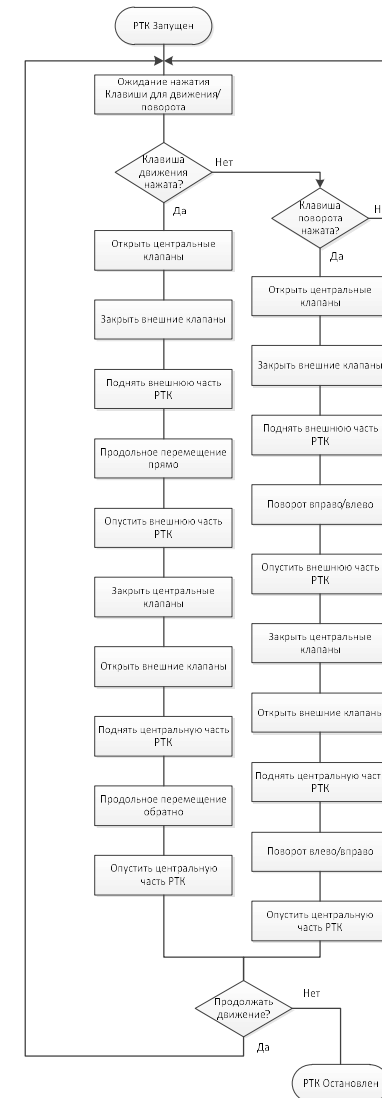
# Модуль интеллектуальный. Программное обеспечение ЭВМ.



«Альт СП» является многофункциональной операционной системой, построенной на ядре Linux и семейством дистрибутивов с поддерживаемой целостностью. Дистрибутивы построены на отечественной инфраструктуре Sisyphus, являющейся репозиторием, находящимся под юрисдикцией РФ.



Рабочее окружение Альт СП



## Модуль коммуникационный. Каналы связи.



Спецкабель «Витая пара»  
бронированный морской



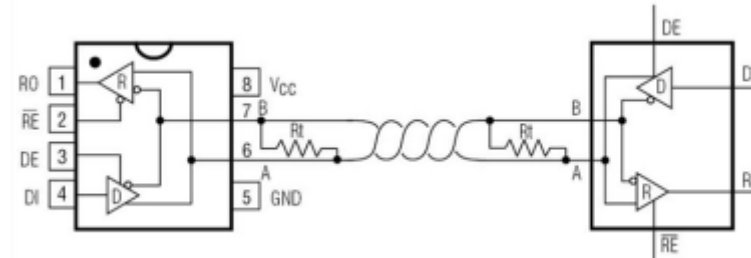
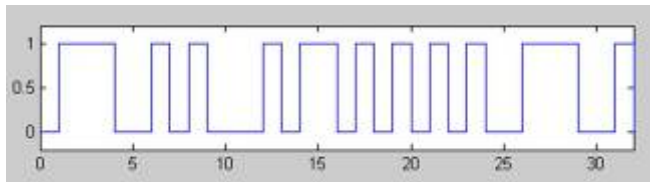
Водонепроницаемый  
коннектор RJ45 (IP67)



Строение коаксиального кабеля  
нейтральной (переменной) плавучести.  
Предлагается использовать в перспективе.

# Модуль коммуникационный. Протоколы связи.

В качестве основных протоколов передачи данных на морских судах используются RS-485 и МАНЧЕСТЕР (MIL-STD-1553B, ГОСТ 26765.52-87, ГОСТ Р 52070-2003).



RS-485 – полудуплексный интерфейс. Будет использоваться для связи бортовых устройств РТК (перспективный)

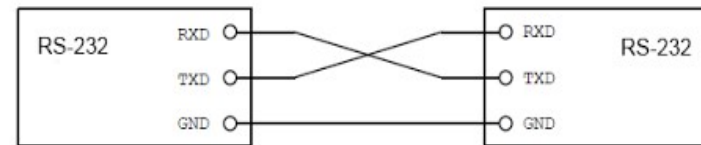
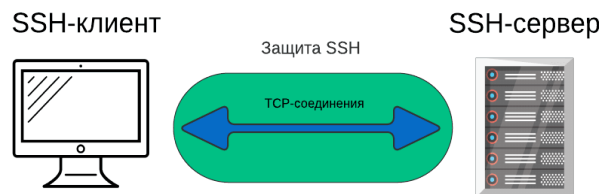


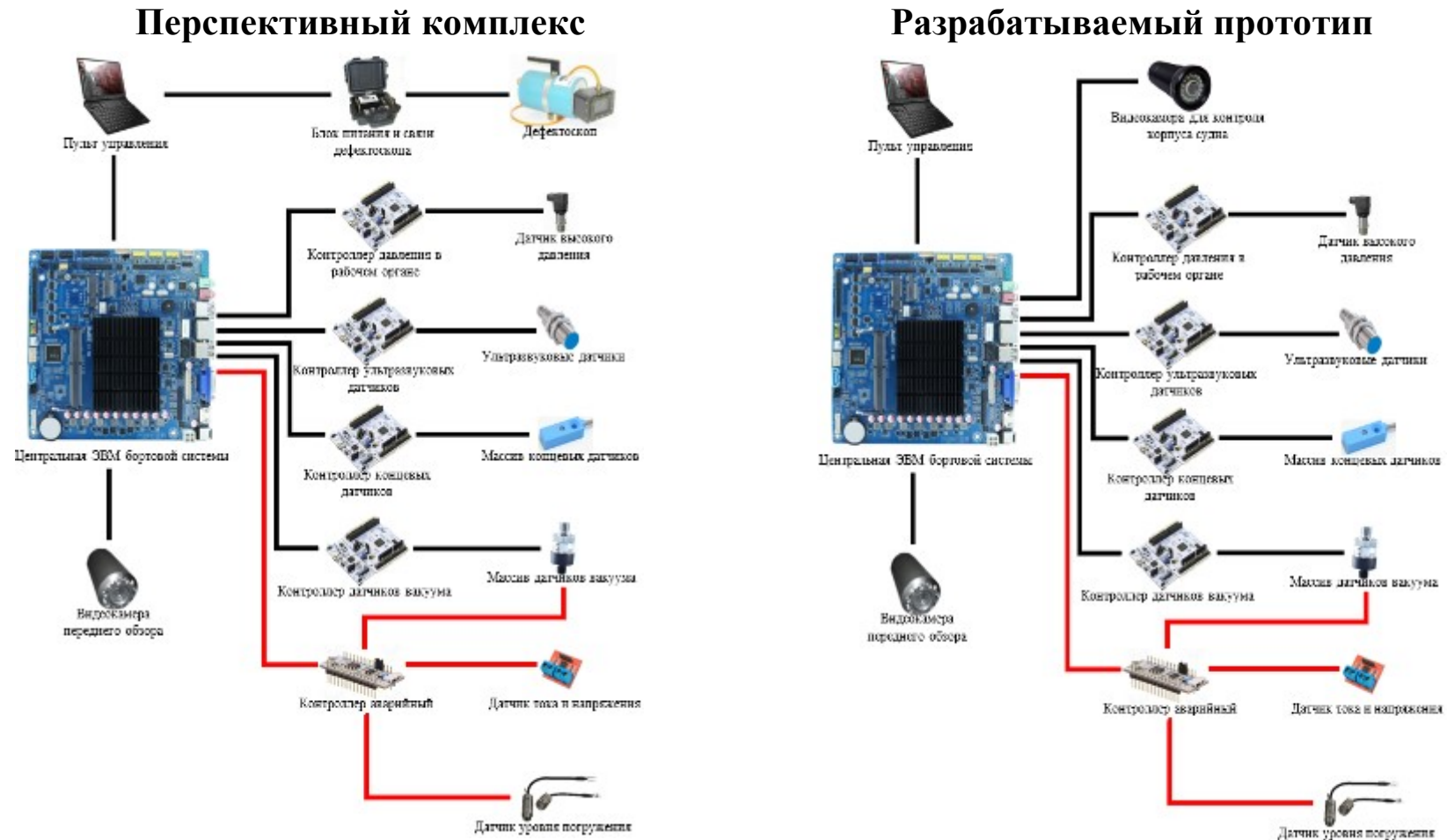
Схема соединения через интерфейс RS-232 (упрощенный вариант для прототипа)



Сетевой протокол прикладного уровня SSH, позволяющий производить удалённое управление операционной системой и туннелирование TCP-соединений, будет использоваться для управления робототехническим комплексом через графический интерфейс на центральной ЭВМ (SSH-сервер) с пульта управления оператора (SSH-клиент).



# Сенсорный модуль



Недостатки оборудования для дефектоскопии:

- дорогостоящее оборудование, цена одного датчика составляет около 500 тыс. рублей;
- необходимы меры для достижения точного позиционирования датчика относительно корпуса судна;
- большой вес датчика и малая ширина полосы проведения дефектоскопии (вес датчика 4 кг, при ширине исследуемой полосы корпуса судна около 160 мм).

## Пульт управления и контроля



GPD Win MAX 2

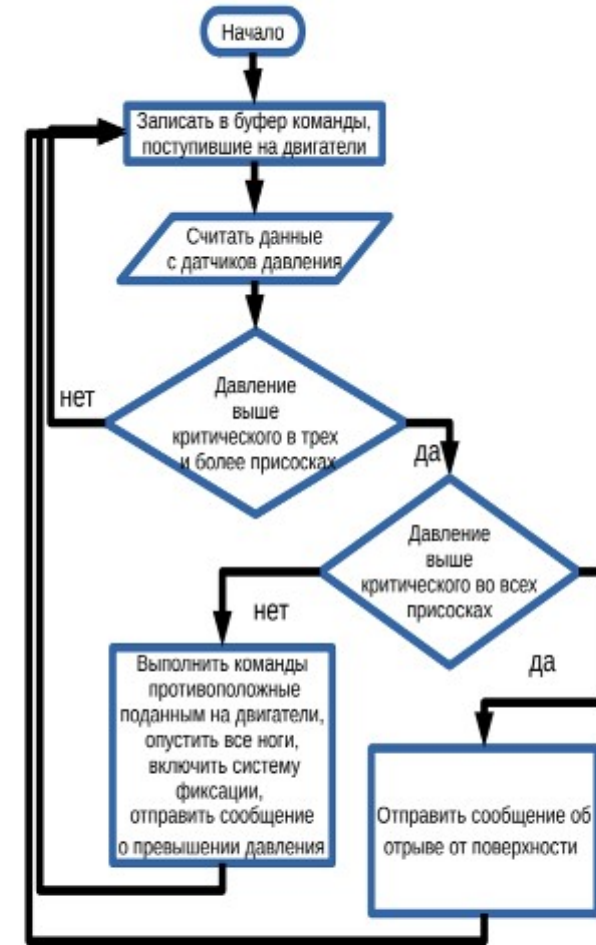
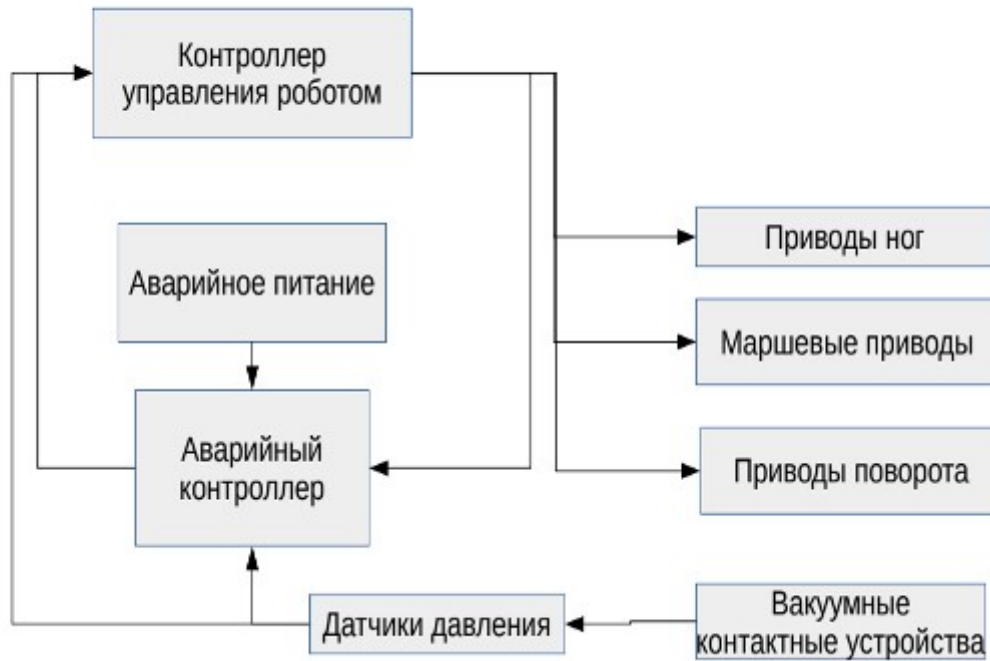


Элементы управления роботом



Защитный кейс пульта управления

# Аварийная система робота



## Средства обеспечения и обслуживания

В состав РТК также входят следующие комплектующие:

- Страховочный трос с крепежом для подвешивания робота на кране.
- Доводчик длиной два с половиной метра для направления и первичного прижатия робота к очищаемой поверхности.
- Запасные части робота:
- Комплект запасных присосок, используемый при износе используемых на работе.
- Комплект уплотнительных колец.
- Комплект шлангов и фитингов.
- Комплект датчиков давления для замены вышедших из строя.
- Комплект датчиков положения.
- Комплект форсунок высокого давления.
- Инструменты для обслуживания робота:
- Комплект специализированного инструмента.
- Пользовательская документация.

# Средства доставки/погрузки на судне

Гидравлический палубный кран складной телескопический

- полноповоротный
- грузоподъемность - 1,7 тонны
- вылет стрелы - 8,3 метра



## Средства доставки/погрузки на судне

Доводчик.

Максимальная длина: 2780 мм

Диаметр: 32 мм

Минимальная длина: 1575 мм

Вес: 0.95 кг





## Средства доставки/погрузки на судне

Кранцы швартовые пневматические  
«Уралшина» НВК-3 ТУ 38105167-2001Е

Размеры, мм: 2000x3600

Масса, кг: 850

Рабочее давление, кПа: 80-100

Поглощаемая энергия, кДж: 420

Воспринимаемая нагрузка при 50%  
сжатии, не менее, кН: 1100



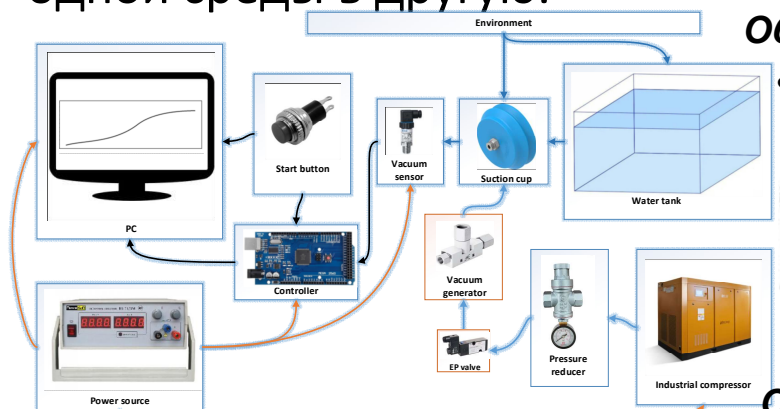
# *Проведение дополнительных научных исследований*

В рамках разработки технического облика были обнаружены 3 проблемы, требующие дополнительных научных исследований. Перечень исследований следующий:

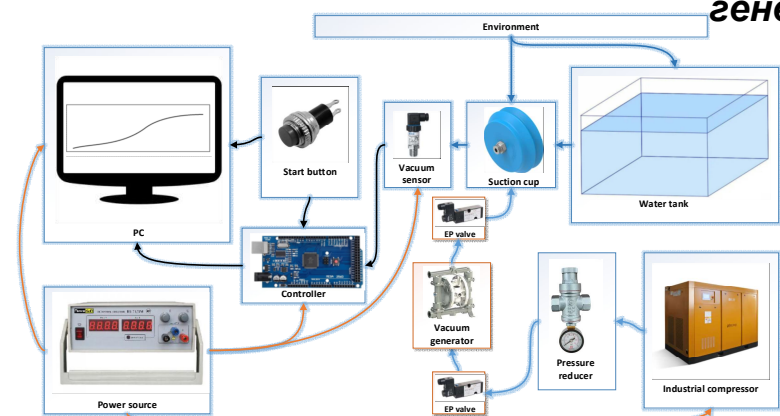
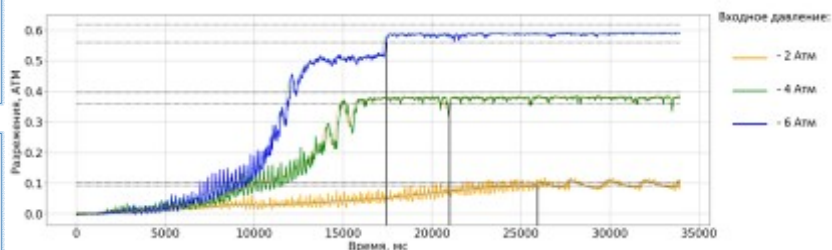
- Повышение эффективности устройств генерации вакуума и присосок в переменной и смешанной водной и воздушных средах.
- Обеспечение эффективной гидроочистки в условиях сплошной водяной среды с элементами оптимизации.
- Адаптация изображений подводной среды с камеры для эффективного восприятия информации оператором.

# Грант РФФИ №№ 23-11-00073 «Вакуумные захватные устройства для роботов, эксплуатируемых в воздушной, жидкой и пограничной средах»

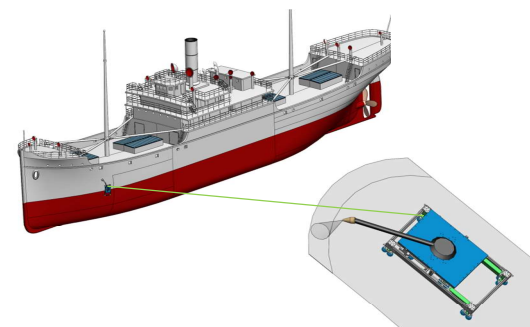
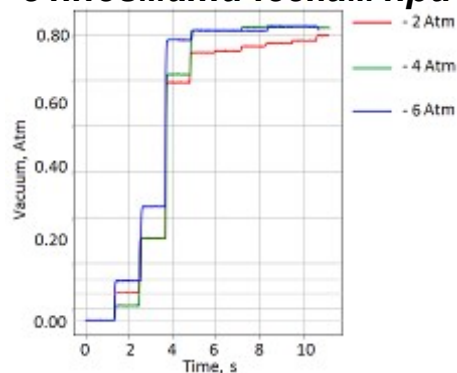
Проект нацелен на разработку научных основ конструирования и эксплуатации мехатронных вакуумных захватных устройств для роботов, эксплуатируемых в воздушной и жидких средах, с возможностью перехода из одной среды в другую.



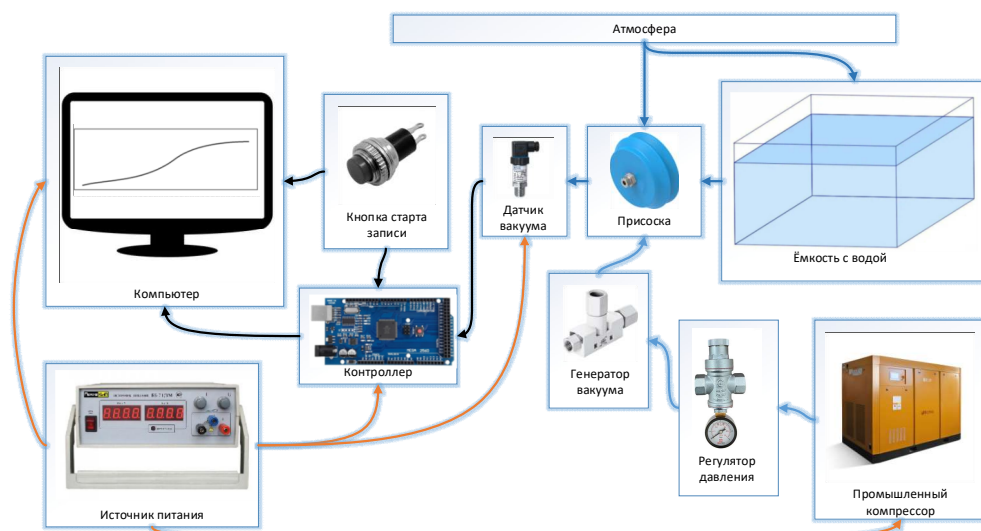
Общая схема организации эксперимента с генератором вакуума в виде эжектора



Общая схема организации эксперимента с генератором вакуума в виде вакуумного насоса с пневматическим приводом



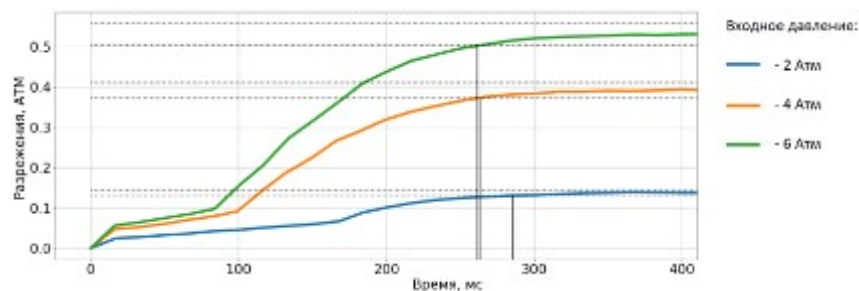
*1 год . Проводятся исследования газодинамических и гидродинамических процессов в полостях и каналах вакуумных захватных устройств, функционирующих в воздушной, водной и смешанной средах.*



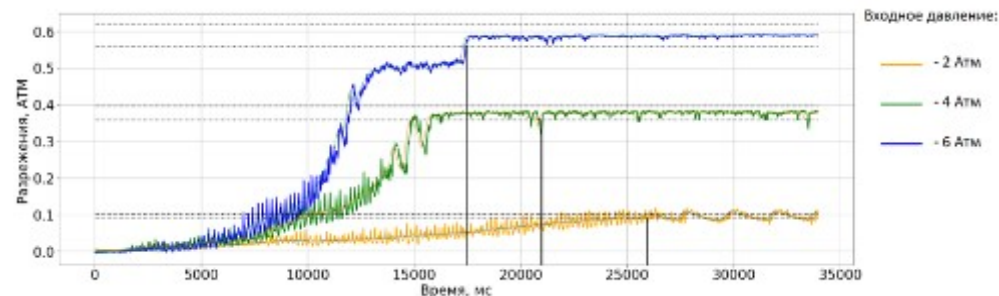
Был разработан лабораторный стенд, позволяющий получать характеристики протекающих процессов в воздушной, водной и смешанной средах.

*Первичные испытания на лабораторном стенде*

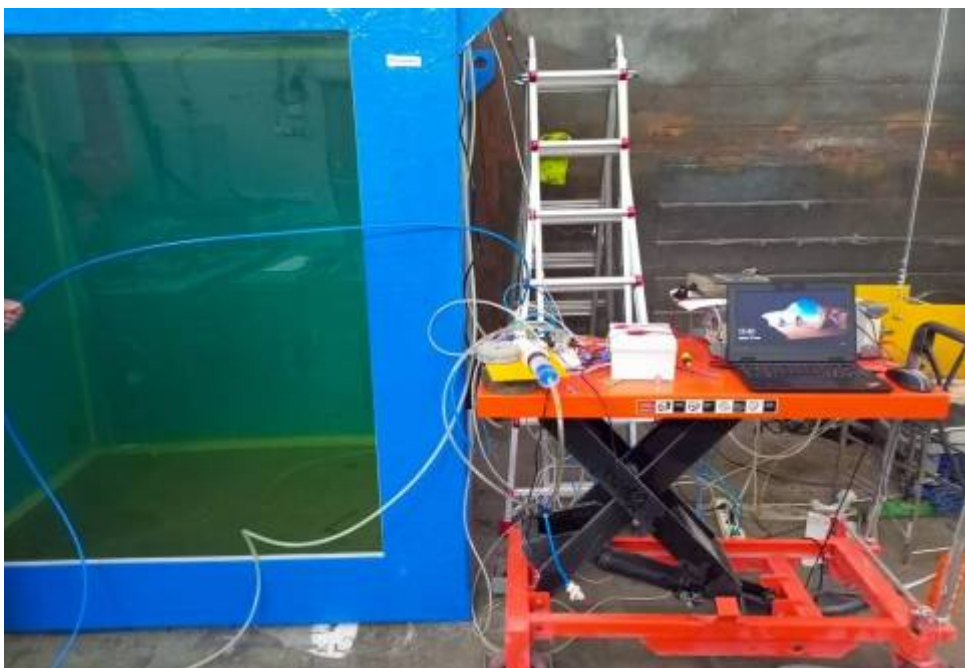
В воздушной среде



В водной среде



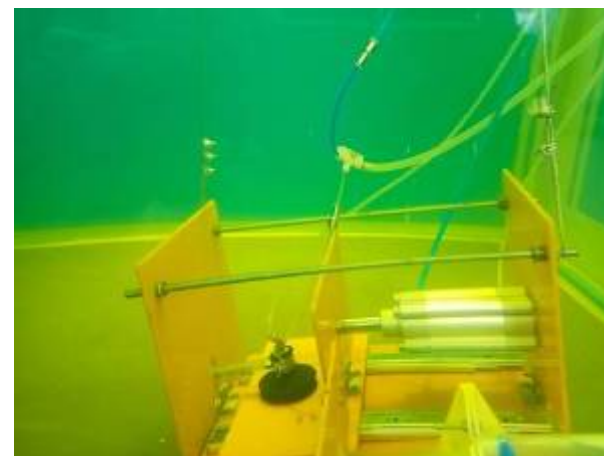
***2 год. Испытания на полноразмерном стенде с полезным объемом 7 м<sup>3</sup>, в котором можно проводить испытания в водной среде на глубине до 2 метров.***



Испытания на отрыв вакуумной присоски в водной среде



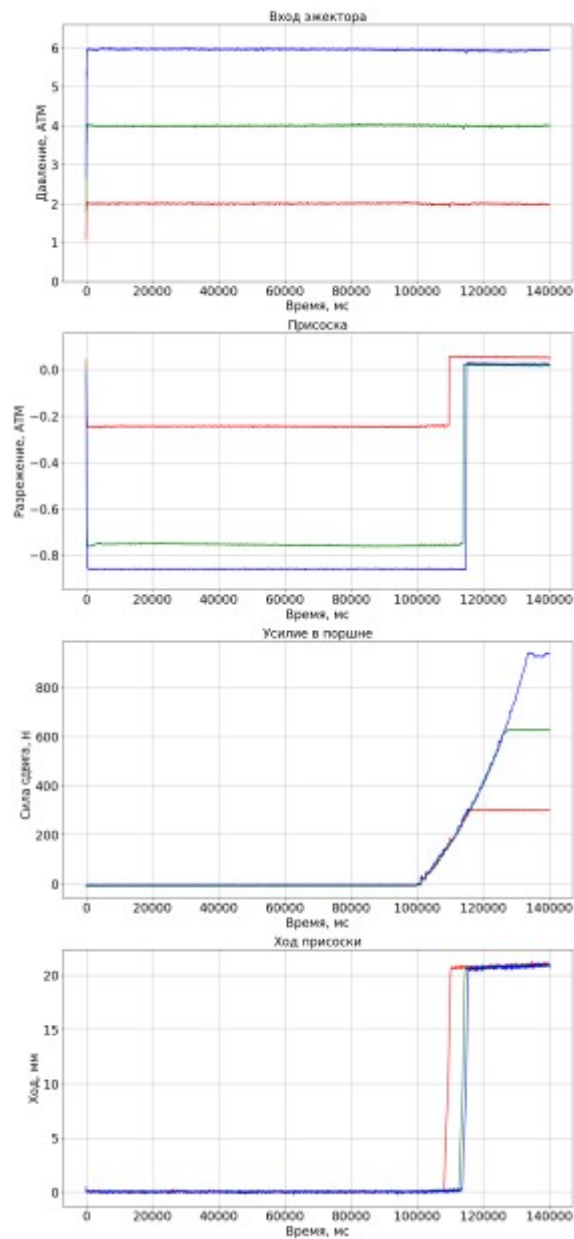
Испытания на сдвиг вакуумной присоски в водной среде



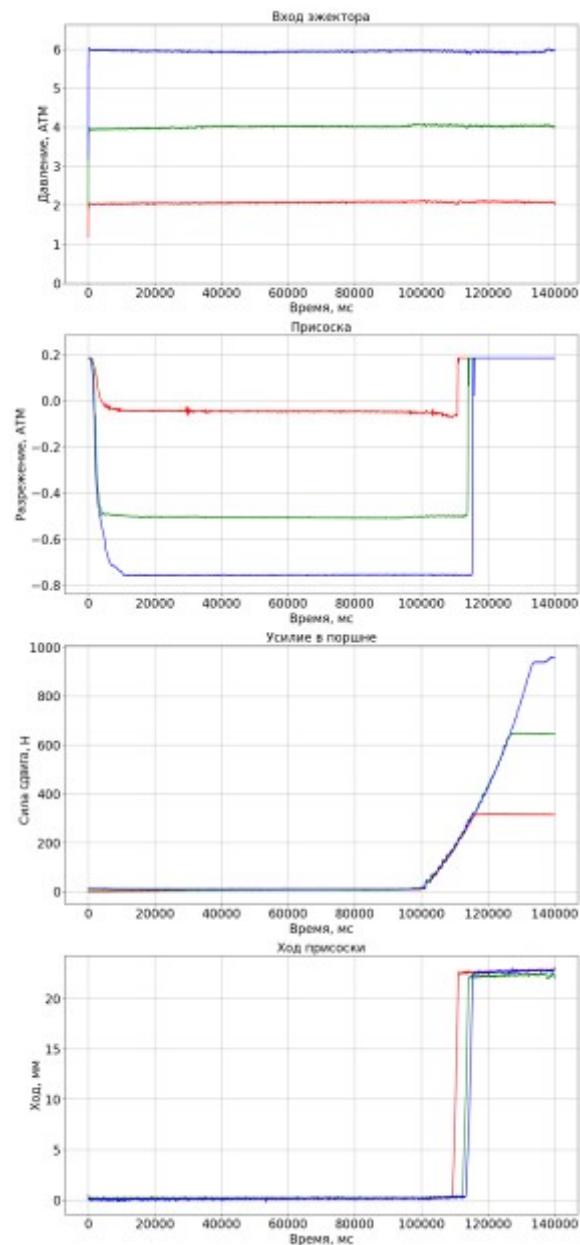
Проведенные исследования показали, что газо- и гидродинамические процессы, протекающие в полостях присоски, в значительной степени влияют на время переходных процессов и скорость выхода на установившийся уровень разрежения в полости вакуумирования.



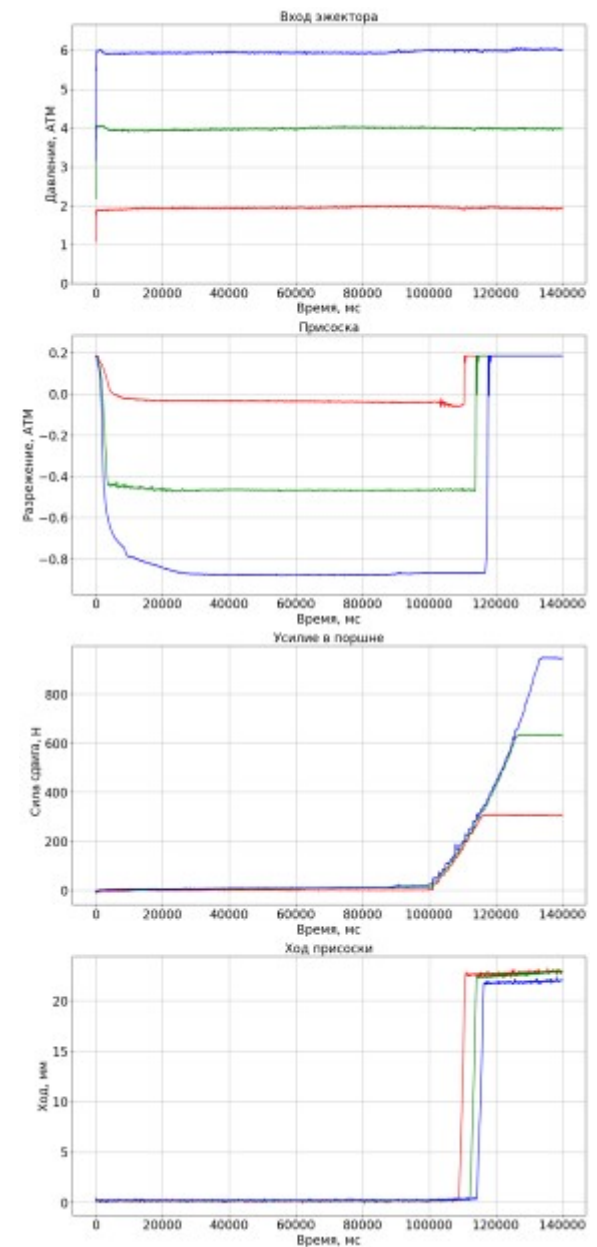
## Полученные экспериментальные характеристики на сдвиг присоски



Результаты экспериментов на воздухе



Результаты экспериментов при погружении на 1 метр



Результаты экспериментов при погружении на 2 метра

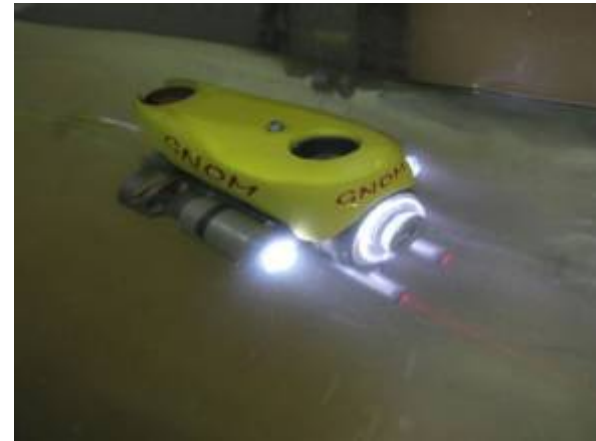


# Текущие результаты

- Проведённые эксперименты показали, что даже применение более производительного эжектора в качестве генератора вакуума позволяет роботу относительно надёжно и допустимо быстро закрепляться на поверхности не глубже 4 метров под водой, что накладывает ограничения на глубоководные рабочие зоны функционирования данных типов роботов.
- При этом проведённые испытания позволили выявить численные значения параметров, которые можно использовать при проектировании роботов вертикального перемещения с пневматическими устройствами фиксации к поверхности.
- Дальнейшие исследования будут направлены на поиск дополнительных решений по повышению эффективности предложенной конструкции при погружении робота на более существенные глубины.

# Адаптация изображений подводной среды с камеры для эффективного восприятия информации оператором

- При проведении подводной съёмки с помощью робота может встречаться ряд проблем связанных с восприятием изображения оператором или непосредственно роботом. Эти проблемы связаны с особенностью искажения изображения в оптике фото- видео камер и получение изображения из более оптически плотной среды (воды) в менее оптически плотной (воздух в объективе камеры).



# Особенности видеосъёмки под водой

- Высокая плотность среды, обуславливающая сильное ослабление интенсивности световых волн (в 1000 раз и более по сравнению с воздухом в зависимости от условий) и ограничивающая максимальную дальность прямой видимости десятками метров.
- Низкая естественная освещённость (в большинстве случаев), приводящая к необходимости использования дополнительных искусственных источников освещения.
- Динамичная относительная прозрачность среды, обуславливающая высокое поглощение световых волн и изменение дальности прямой видимости в широком диапазоне.
- Наличие в воде взвесей, обуславливающих повышенное рассеяние световых волн и помеху обратного рассеяния (ПОР) при использовании осветительных приборов в активных подводных СТЗ.
- Эффекты рефракции световых волн, светопоглощение и светорассеяние.

# Основные особенности воспроизведения подводных изображений

- Искажённая цветопередача
- Повышенная дисторсия
- Сниженная чёткость изображений



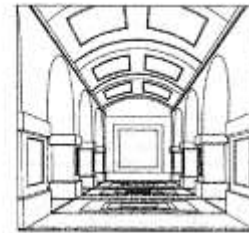
Академиком Б. В. Раушенбахом при разработке системы телеметрии для космического корабля "Союз" было отмечено, что передача любого трехмерного изображения с помощью двухмерного средства воспроизведения изображения (например, экрана ЭВМ) сопровождается появлением искажений



+ Пол  
- Вертикали



+ - Исказили глубину  
- + Улучшили вертикали



+ Ширина пола  
+ Вертикали  
- Глубина



+ Ширина пола  
+ Вертикали  
- Планы изображения



- + Планы изображения



+ Вертикали  
- Увеличение ширин

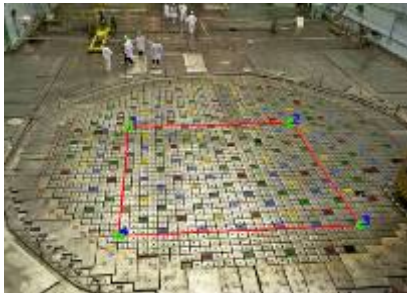
# Применение целевых искажений перспективы в робототехнике

- В ИПМех РАН ведутся работы по целевому ситуационному искажению перспективы в системах телеметрии робототехнических систем.

$$\begin{aligned}
 u_i &= \frac{c_{00}x_i + c_{01}y_i + c_{02}}{c_{20}x_i + c_{21}y_i + c_{22}} \\
 v_i &= \frac{c_{10}x_i + c_{11}y_i + c_{12}}{c_{20}x_i + c_{21}y_i + c_{22}}
 \end{aligned}
 \left| \begin{array}{l}
 / \ x_0 \ y_0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ -x_0^*u_0 \ -y_0^*u_0 \ \ /c_{00}\ /u_0\ \\
 | \ x_1 \ y_1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ -x_1^*u_1 \ -y_1^*u_1 \ | \ |c_{01}| \ |u_1| \\
 | \ x_2 \ y_2 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ -x_2^*u_2 \ -y_2^*u_2 \ | \ |c_{02}| \ |u_2| \\
 | \ x_3 \ y_3 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ -x_3^*u_3 \ -y_3^*u_3 \ | \ |c_{10}|=|u_3|, \\
 | \ 0 \ 0 \ 0 \ x_0 \ y_0 \ 1 \ -x_0^*v_0 \ -y_0^*v_0 \ | \ |c_{11}| \ |v_0| \\
 | \ 0 \ 0 \ 0 \ x_1 \ y_1 \ 1 \ -x_1^*v_1 \ -y_1^*v_1 \ | \ |c_{12}| \ |v_1| \\
 | \ 0 \ 0 \ 0 \ x_2 \ y_2 \ 1 \ -x_2^*v_2 \ -y_2^*v_2 \ | \ |c_{20}| \ |v_2| \\
 \ \ 0 \ 0 \ 0 \ x_3 \ y_3 \ 1 \ -x_3^*v_3 \ -y_3^*v_3 \ / \ |c_{21}| \ |v_3|
 \end{array} \right.$$



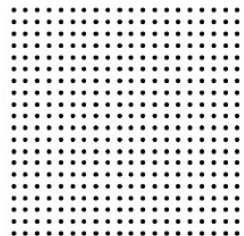
# Применение целевых искажений перспективы в робототехнике



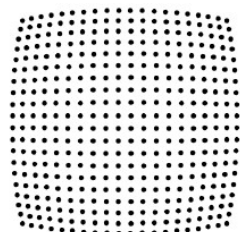
# Применение целевых искажений перспективы в робототехнике



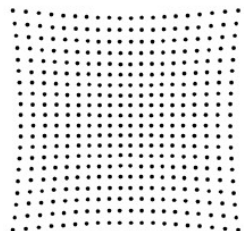
# Уменьшение дисторсии



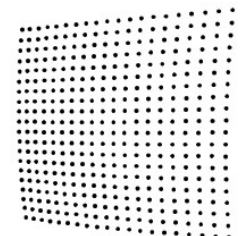
*a*



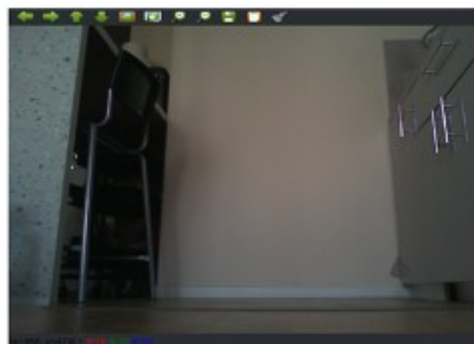
*б*



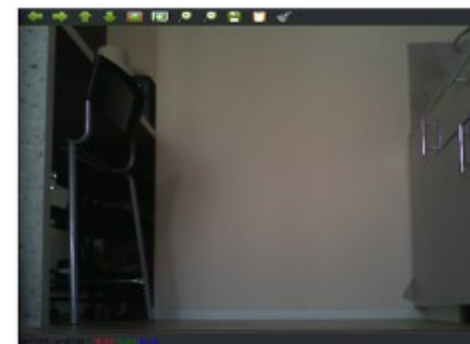
*в*



*г*



Изображение с поверхности земли



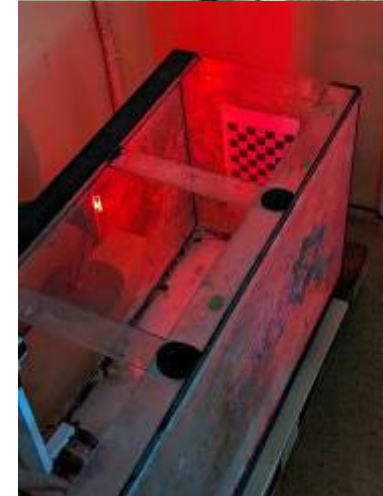
Исправление дисторсии на изображении



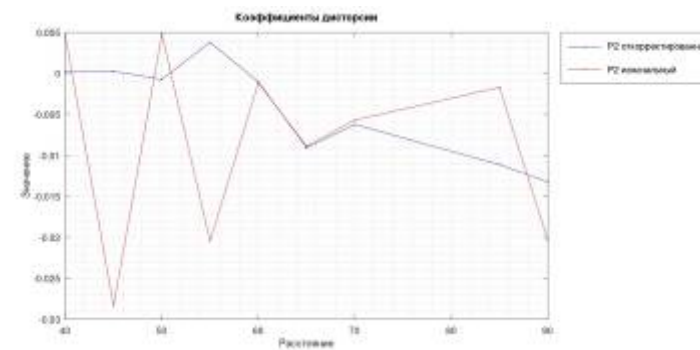
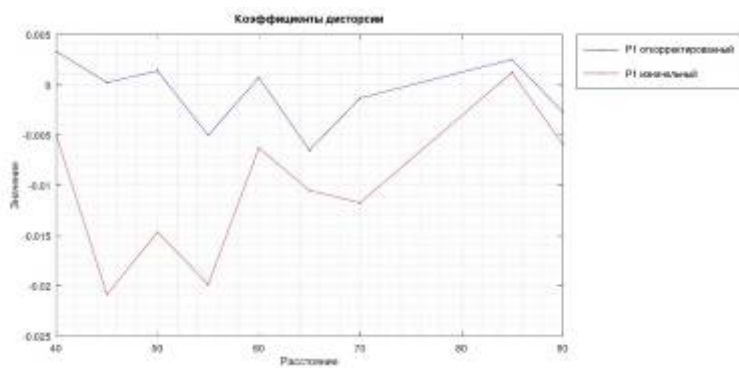
# Экспериментальные стенды



# Экспериментальные стенды

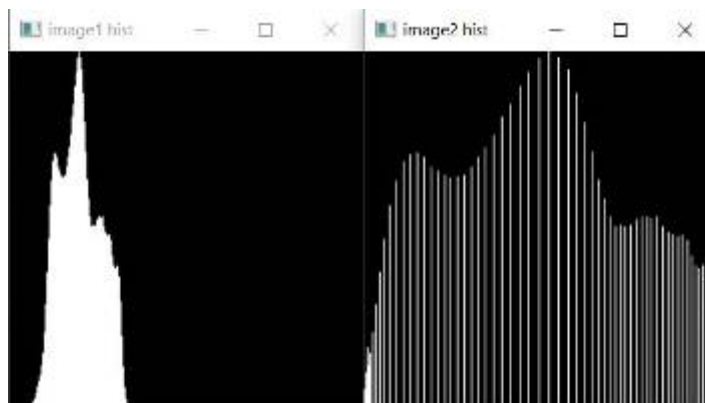


# Исправление дисторсии





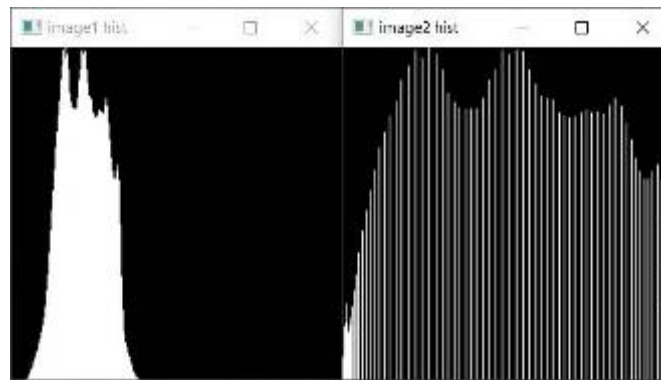
# Повышение чёткости изображения



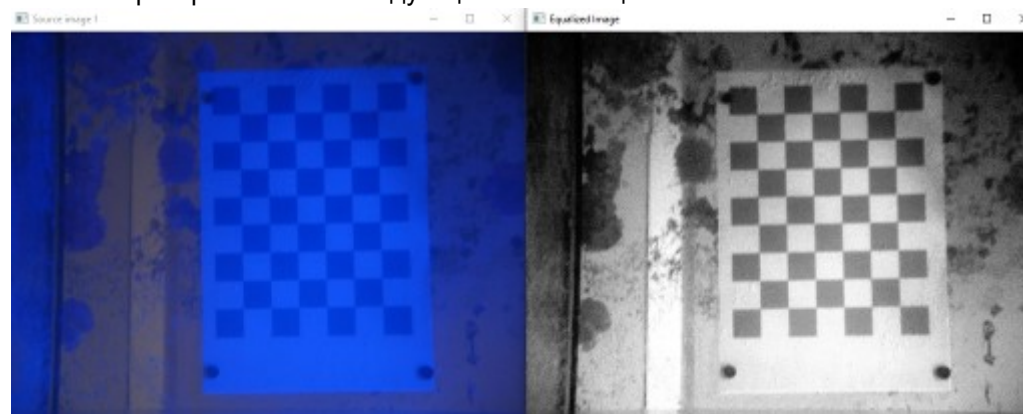
Перевод изображения в черно-белое цветовое пространство с последующей эквализацией



# Повышение чёткости изображения



Перевод изображения в черно-белое цветовое пространство с последующей эквализацией

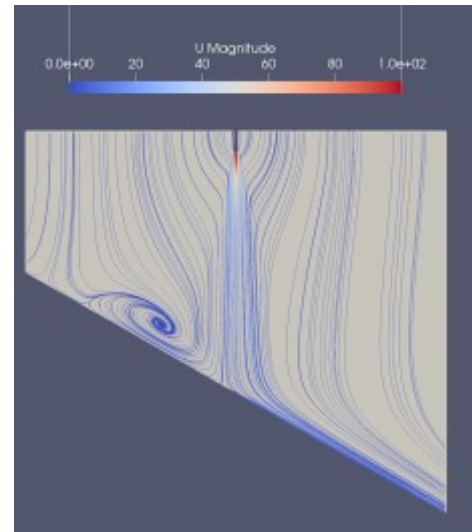
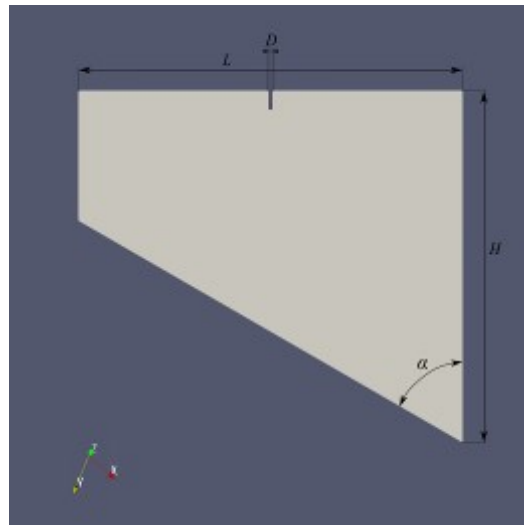


Подробнее: Бельченко Ф.М., Ермолов И.Л., Нагайцев Г.Н., Остриков П.П. Об особенностях передачи видеоизображений в подводной робототехнике, Морские интеллектуальные технологии. 2023. № 4 часть 3, С. 62—67

# Исследование гидродинамики струй, очищающих поверхность

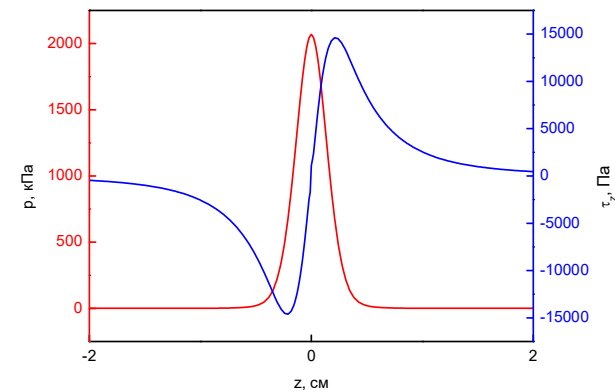
- Проведено исследование режимов очистки с помощью гидравлической струи при погружении технологического модуля в воду.
- Моделирование выполнялось с помощью программного пакета *OpenFOAM*.

# Исследование гидродинамики струй, очищающих поверхность



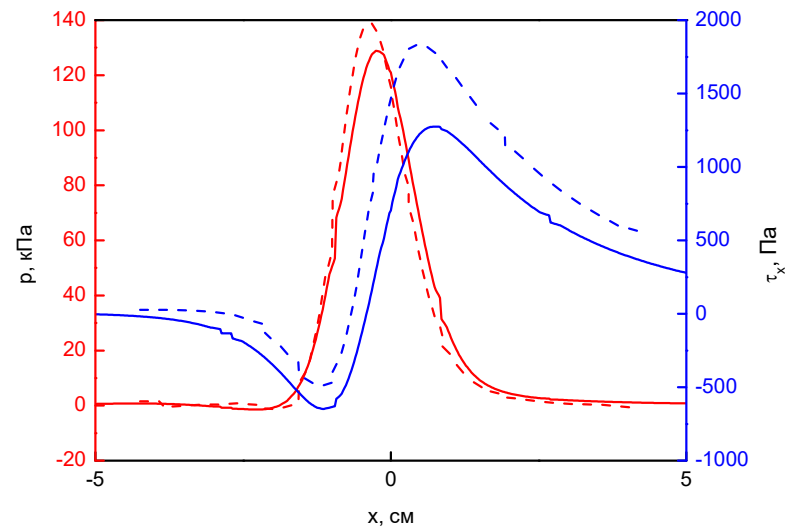
# Исследование гидродинамики струй, очищающих поверхность

- Сделан вывод, что в зависимости от изменения расстояния между форсункой и очищаемой поверхностью площадь очистки будет оставаться постоянной, а величина напряжений сдвига увеличиваться.



# Исследование гидродинамики струй, очищающих поверхность

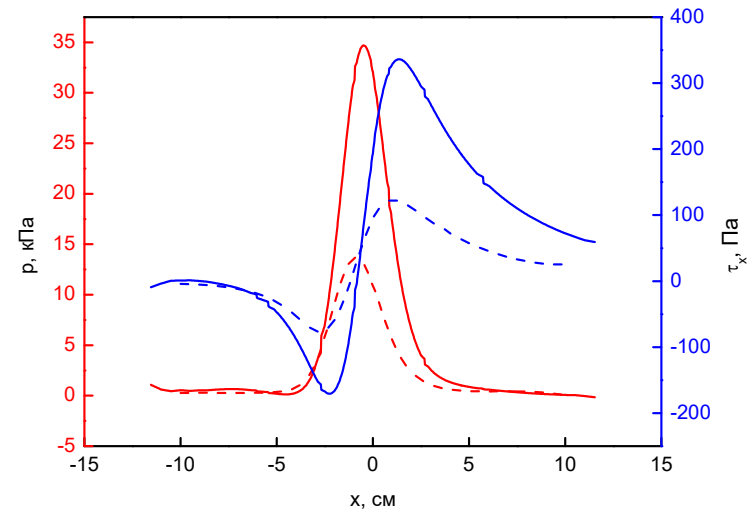
- Сделан вывод, что значительный рост напряжений сдвига наблюдается при уменьшении угла между поверхностью и струей при начальных расстояниях между струей и поверхностью меньше 50 мм.





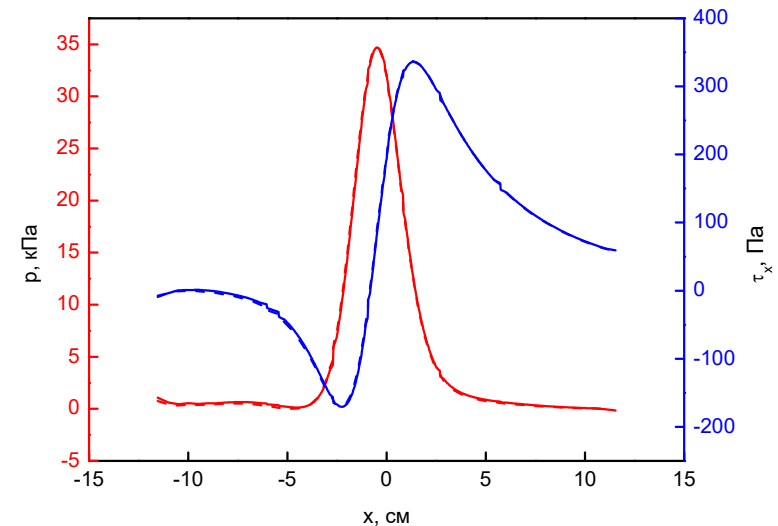
# Исследование гидродинамики струй, очищающих поверхность

- Сделана рекомендация изменение расхода обеспечивать изменением диаметра форсунки, а скорость струи оставлять максимально возможной .



# Исследование гидродинамики струй, очищающих поверхность

- Сделан вывод, что в с увеличением глубины (погружением) значительных изменений ни с значениями давления, ни с значениями напряжений сдвига не произойдет.



Подробнее: Сиваков Н.С., Усанов В.А. Моделирование воздействия морского течения на мобильный робототехнический комплекс вблизи опорной поверхности., Морские интеллектуальные технологии. 2023. № 4 часть 3, С. 86—92

**НИР «Эксплуатация РА на МЛСП  
«Приразломная» в условиях сурового  
воздействия течения и волнения морской  
среды»**



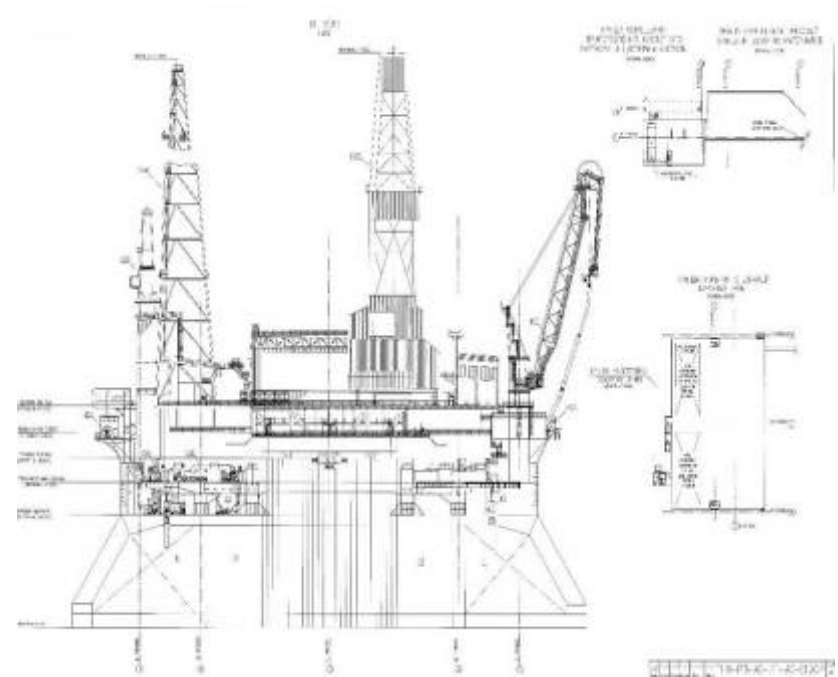
## Актуальность

- необходимость ежегодного осмотра и дефектоскопии внешней подводной и надводной частей основания-кессона МЛСП «Приразломная»;
- имеющийся опыт использования ТНПА показал недостаточную эффективность и высокую себестоимость.



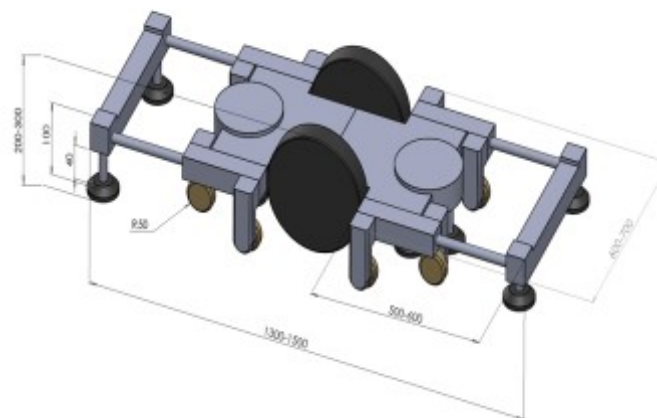
## Актуальность

- Основание-кессон МЛСП «Приразломная» имеет специфику структуры и формы поверхностного слоя, что вводит ряд ограничений на применяемые технологии для осмотра и дефектоскопии.
- Среда функционирования МЛСП «Приразломная» также препятствует применению ряда технологических решений для осмотра и дефектоскопии.



## Результаты выполнения проекта «Эксплуатация РА на МЛСП «Приразломная» в условиях сурового воздействия течения и волнения морской среды»

Определены габаритные размеры ПА



Составлен **технический облик ПА** для МЛСП «Приразломная»

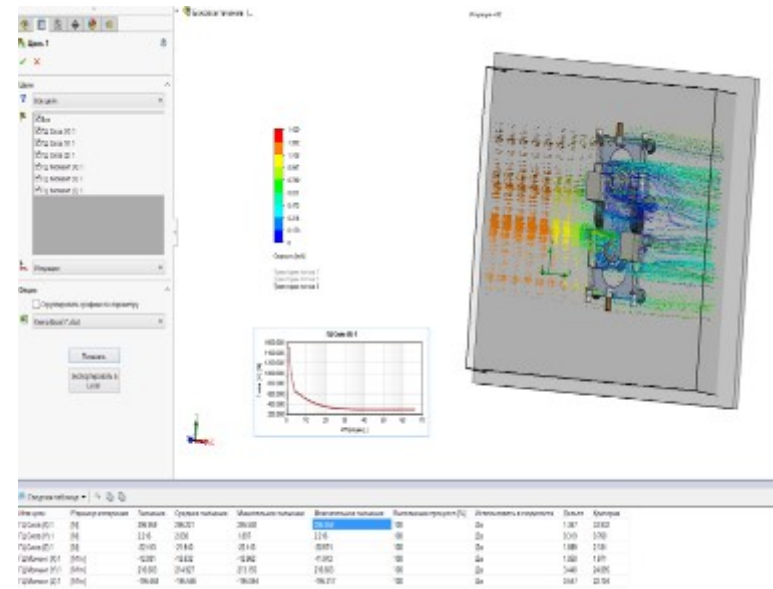
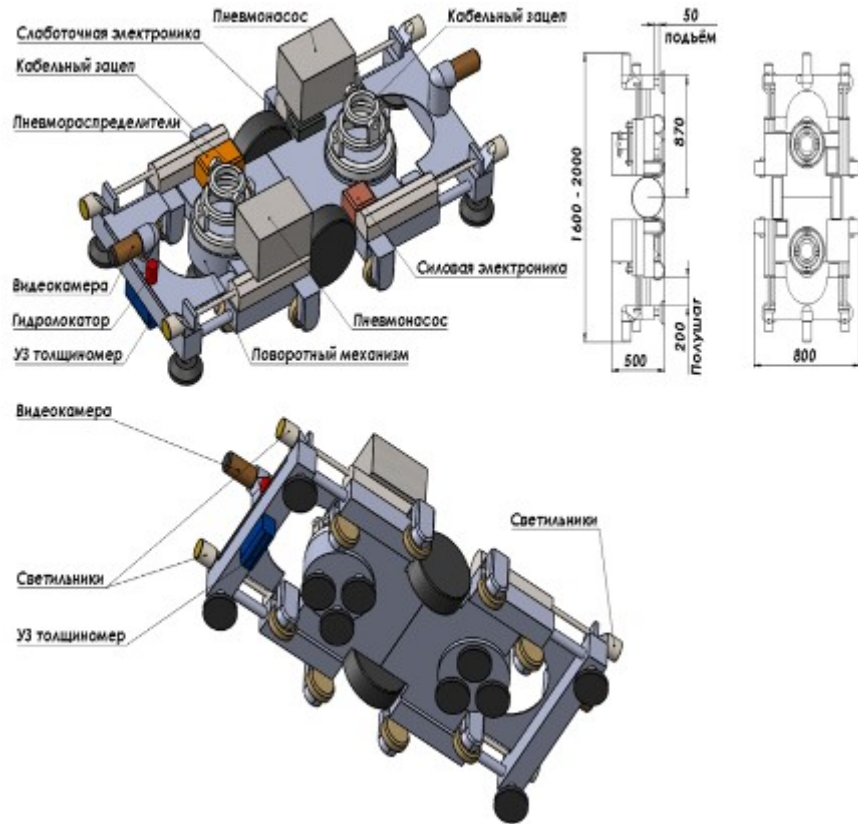
Компоненты системы представлены в соответствии с **Типовой схемой деления** (типовым составом)

В результате моделирования **получены предварительные размеры транспортного модуля ПА** без учета технологического оборудования



# Результаты выполнения проекта «Эксплуатация РА на МЛСП «Приразломная» в условиях сурового воздействия течения и волнения морской среды»

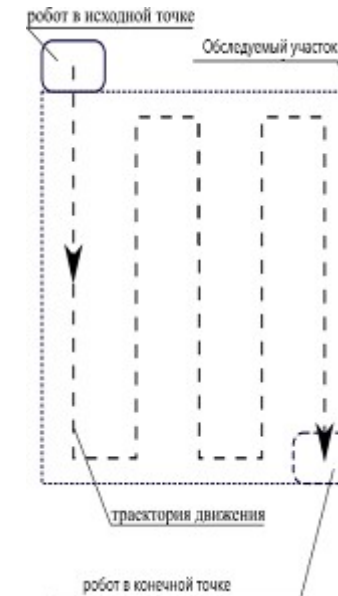
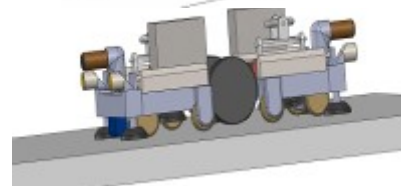
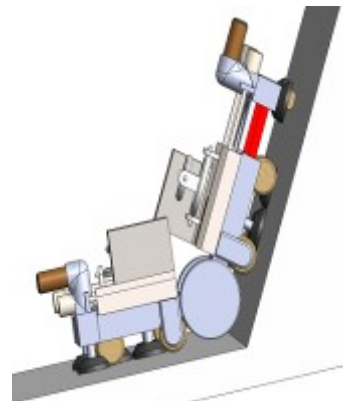
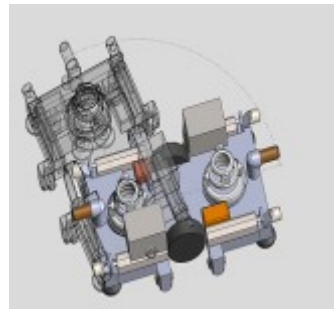
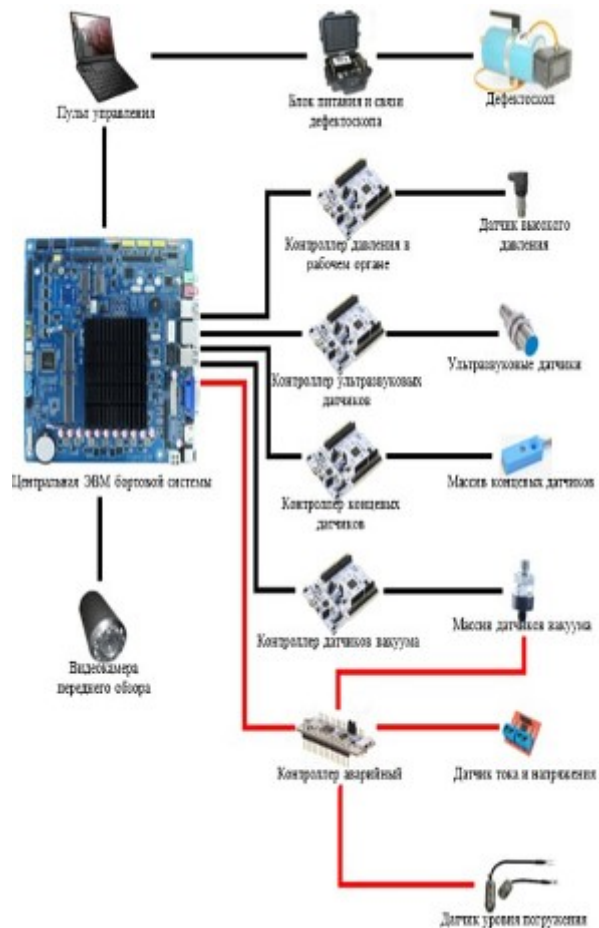
Определён технический облик ПА



Выбор дискретного перемещения по поверхности кессона, как основного способа, за счет **пневмоприводов** позволит обеспечить движение ПА с **точностью позиционирования от 2 мм.**

# Результаты выполнения проекта «Эксплуатация РА на МЛСП «Приразломная» в условиях сурового воздействия течения и волнения морской среды»

Определена структура и метод системы позиционирования ПА при работе на внешнем корпусе кессона



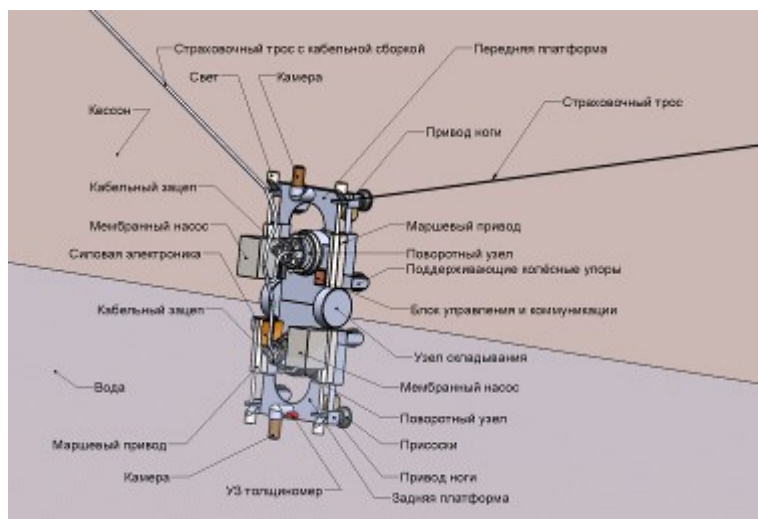
Сформирован **состав навигационной системы**, которая позволит ПА перемещаться и ориентироваться на внешней поверхности кессона

Сформулированы **принципы управления роботом при перемещении** по поверхности кессона

Рассмотрены **различные сценарии перемещения** робота по поверхности кессона

## Результаты выполнения проекта «Эксплуатация ПА на МЛСП «Приразломная» в условиях сурового воздействия течения и волнения морской среды»

**Сформирован состав прототипа ПА с указанием общей приблизительной стоимости и возможных сроков разработки и изготовления**



**Проработан предварительный состав прототипа ПА с учётом доступности компонентов на российском рынке**

**Определена предварительная стоимость компонентов для изготовления ПА**

Наименование	Маркировка	Количество	Цена	Стоимость
<b>Система приводов</b>				
Маршевые приводы	FVB63x200-10-S	4	38 900,00	155 600,00
Приводы подъёма опускания	SFM40x50S	10	16 890,00	168 900,00
Приводы узла поворота	редуктор - DCVR030U(i=15) двигатель - IEC56B14 DC80ZYT50D2-24	2	81 000,00	162 000,00
Приводы складывания	редуктор - DCVR030U(i=15) двигатель - IEC56B14 DC80ZYT50D2-24	2	81 000,00	162 000,00
Направляющие маршевых приводов	DN63x200	4	59 800,00	239 200,00
Фитинги	ZPC06-01G, ZPE06C, ZPC12-04G, ZPE12C, ZPC16-04G, ZPE16C	140	1 200,00	168 000,00
Трубки	PE060x040-100M-BU, PE120x080-100M-BU, PE160x120-200M-BU	4	13 900,00	55 600,00
<b>Устройство удержания на поверхности</b>				
Присоски	SZP125HN	18	1 300,00	23 400,00
Магниты	Неодимовый магнит кольцо 50x18x40 мм, диаметральное	8	6 400,00	51 200,00

# Требования необходимые для обеспечения работы РА на МЛСП «Приразломная»

- Энергообеспечение:

Питание, В	380 / 220
Мощность, кВт	15 / 1
<i>Сжатый воздух</i> Потребление, м <sup>3</sup> /час Давление, бар	100 8

- Страхочная система

Выделение места по борту платформы для крепления страховки, м <sup>2</sup>	2
Выделение места по борту платформы для системы подачи питающего и управляющего кабеля, м <sup>2</sup>	4

## Дорожная карта дальнейшего развития темы (по плану марта 2023 г.)

	2023		2024		2025	
	I кв	II кв	I-II кв	IV кв	I кв	III кв
РАЗРАБОТКА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА РОБОТИЗИРОВАННОГО АППАРАТА	✓					
	<b>ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКИЕ РАБОТЫ (ЭТАП 1)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Эскиз общего вида</li> <li>• Статистические расчеты</li> <li>• Тип крепления</li> <li>• Способ перемещения</li> <li>• Система позиционирования</li> <li>• Состав аппарата</li> </ul>	<b>ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКИЕ РАБОТЫ (ЭТАП 2)</b> <p>Динамические расчеты</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• расчет энергетических характеристик устройства фиксации при наличии течения</li> <li>• расчет надежности и работоспособности устройства фиксации</li> <li>• определение действующих на РА сил и моментов</li> <li>• численное моделирование течения воды около тела вблизи опорной поверхности</li> <li>• схема взаимодействия всех аппаратных и программных модулей РА</li> </ul>	<b>РАЗРАБОТКА ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• РКД</li> <li>• Опытный образец РА</li> </ul>	<b>ИСПЫТАНИЯ, ДОРАБОТКА РКД</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Разработка ЭД</li> <li>• Отладка ПО</li> <li>• Проведение испытаний опытного образца</li> <li>• Доработка РКД по итогам испытаний</li> </ul>	<b>ВЫВОД РА В ЭКСПЛУАТАЦИЮ</b>	

# Расчёт на отказ

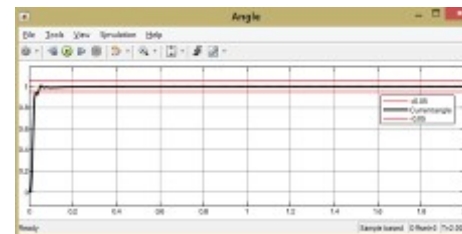
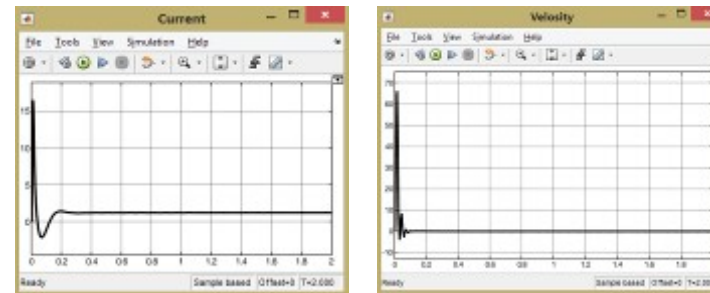
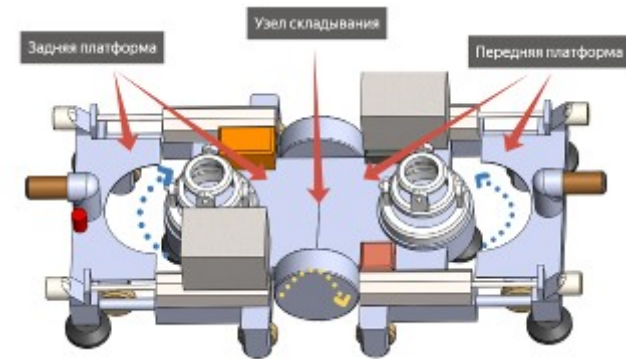
- Проведён расчёт наработки на отказ РТК с учётом наиболее критичных элементов.
- Получено наименьшее значение срока службы компонентов: 6,8 лет.

Наименование	Значения
Датчик вакуума в присосках	$\lambda_1 = 0.0000167$
Насос Вакуумный	$\lambda_2 = 0.0001$
Приводы подъёма/опускания	$\lambda_3 = 0.0000125$
Клапаны	$\lambda_4 = 0.0000167$



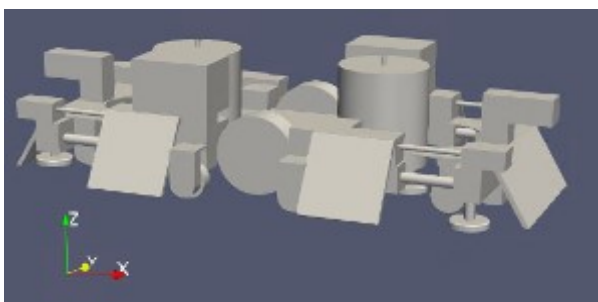
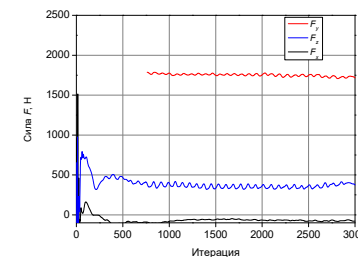
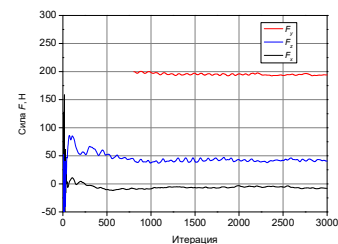
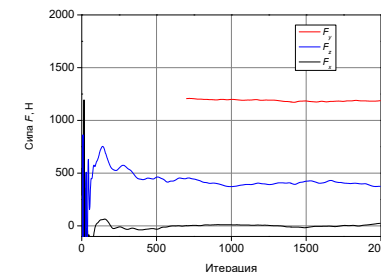
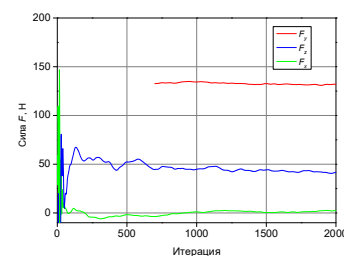
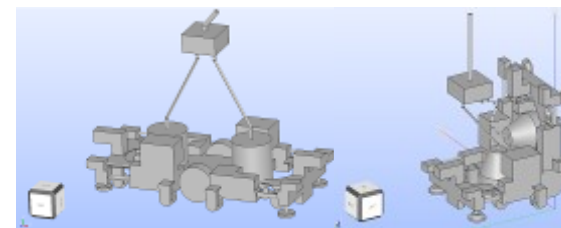
# Расчёт энергетических характеристик устройства фиксации при наличии течения

- Проведён энергетический расчёт электроприводов, входящих в состав конструкции РТК, для рационального выбора таких исполнительных элементов, входящих, которые обладают энергетическими возможностями для обеспечения движения механического объекта управления по заданному закону во всех предусмотренных режимах работы.



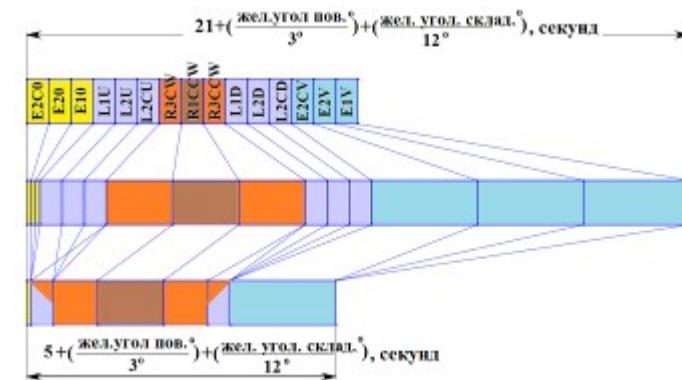
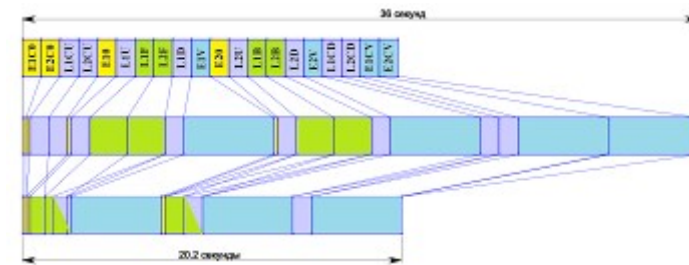
# Расчёт сил, действующих на робот под действием течения

- Проведён расчёт сил, действующих на робот под действием течения, в различных режимах течения и различных конфигурациях робота.
- Полученные результаты вызвали необходимость уточнения конструкторских параметров РА.



# Разработка оптимальной схемы перемещения по поверхности кессона.

- Проведена оптимизация перемещения РТК по поверхности кессона.
- Удалось получить оптимальные схемы и скорости работы ключевых приводов.



# Работа отмечена в докладе Президента РАН Г.Я.Красникова Общему собранию РАН 28 мая 2024 г.



# А напоследок...

НИР «Разработка методов поиска скоплений  
промысловых рыб с помощью БПЛА»,

РНФ №24-61-00025.



Российский  
научный фонд

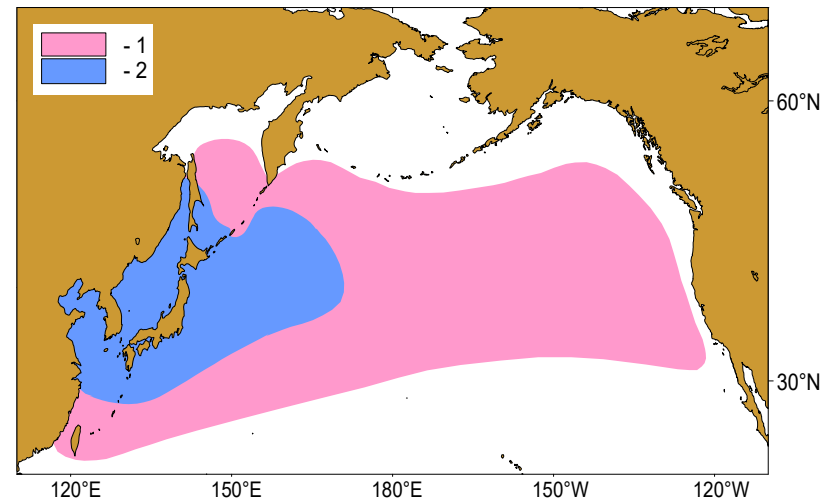


# Актуальность работы

- Целью работ является сокращение непроизводительных затрат промыслового флота на поиски скоплений косяков рыб, что будет способствовать повышению эффективности лова, увеличению объемов вылова и улучшению качественного состава улова.
- Известно, что, работая без поискового обеспечения даже в освоенных районах рыболовства, промысловые суда при кошельковом лове тратят на обнаружение рыбы до 80%, а при траловом до 20% всего времени нахождения судна в море.

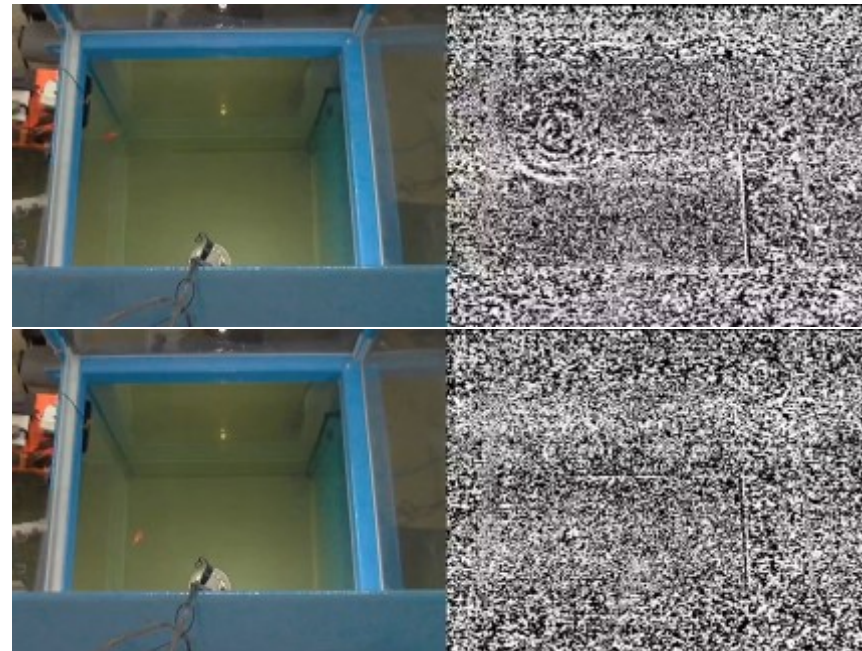


# Актуальность работы



# ИПМех РАН

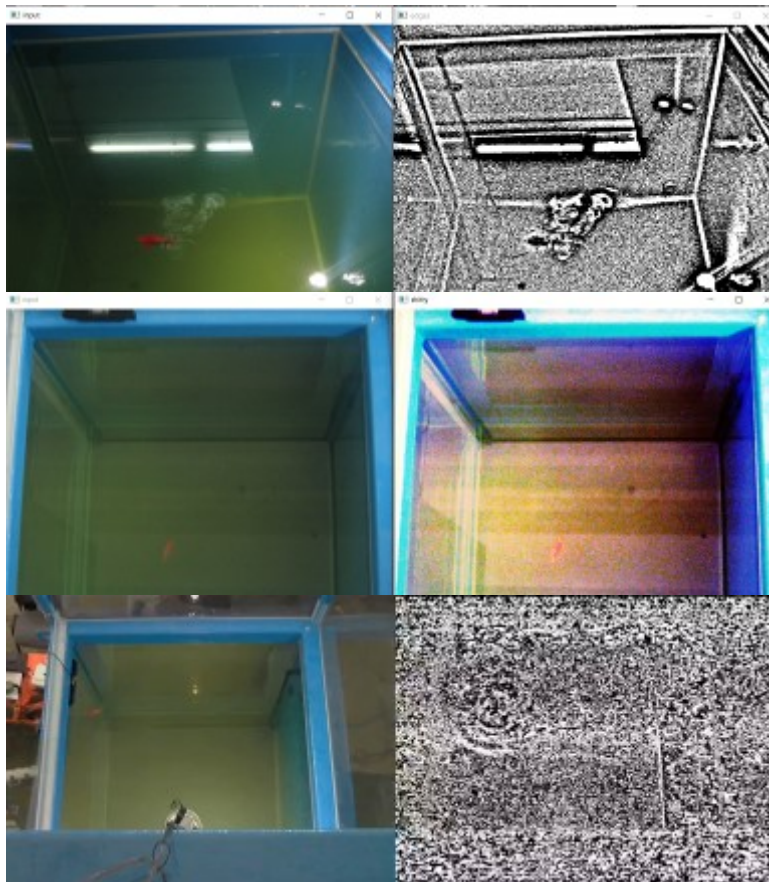
## Обнаружение объектов в водяной толще



Применение алгоритма распознавания движения на поверхности  
оптическим методом (на основе межкадровой разности)

# ИПМех РАН

## Обнаружение объектов в водяной толще



Сравнение  
эффективности  
алгоритмов распознавания  
движения на поверхности  
оптическим методом (на  
основе методом  
адаптивного порога,  
методом нормализации  
гистограмм, методом  
межкадровой разности)



# Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского

Специалисты лаборатории морской беспилотной авиации и морских авиационных систем в рамках данного проекта ответственны за разработку алгоритмов автоматического взлета и посадки на борт движущегося судна, а также согласованного движения группы БПЛА для получения информации об искажениях морской поверхности на максимально большой территории при любой погоде и делать заключения о перемещении аномалий по поверхности моря.

## Задачи в рамках проекта

### 2024 г.

1. Выбор типа и параметров БПЛА, которые могут быть использованы для получения информации о движении скоплений рыб.
2. Разработка метода автоматического возвращения БПЛА на борт движущегося судна.

### 2025 г.

1. Разработка метода стабилизации БПЛА с учетом типа и параметров приборов, с помощью которых осуществляется зондирование морской поверхности.
2. Оценка влияния внешних возмущений и траектории полета на достоверность получаемой информации о поверхности.

### 2026 г.

1. Разработка алгоритмов взаимодействия и обмена информацией между БПЛА в группе.
2. Построение траекторий движения группы БПЛА с целью зондирования заданной области поверхности океана.

### 2027 г.

1. Оптимизация времени и энергетических затрат в группе БПЛА при получении необходимой информации о движении скоплений рыб в заданной области поверхности океана.
2. Проведение экспериментальных исследований.



# Носители полезной нагрузки



**Платформа квадрокоптерно-самолётного типа «Нарвал»**

Время полета	до 1,5 часов
Скорость полета	70-110 км/ч
Тип силовой установки	электрический
Компоновка винто-моторной группы	вертикальная -заднемоторная
Дальность действия КТ-радиолинии	до 150 км
Максимальная дальность полета	до 100 км
Взлетный вес	до 12 кг
Полезная нагрузка	до 1,5 кг
Размеры	2,5 x 2,0 м
Рабочая высота полета	100-3000 м
Ветер	до 15 м/с
Температура окружающего воздуха	-40°C / +50°C
Взлёт / посадка	вертикальная



**Платформа квадрокоптерно-самолётного типа «ГрАНТ-М-ВВП»**

Время полета	до 3 часов
Скорость полета	70-110 км/ч
Тип силовой установки	комбинированный: бензиновый -электрический
Компоновка винто-моторной группы	вертикальная -переднемоторная
Дальность действия КТ-радиолинии	до 150 км
Максимальная дальность полета	до 500 км
Взлетный вес	до 28 кг
Полезная нагрузка	до 3,5 кг
Размеры	3,0 x 2,5 м
Рабочая высота полета	100-3000 м
Ветер	до 15 м/с
Температура окружающего воздуха	-40°C / +50°C
Взлёт / посадка	вертикальная

# Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии



- Анализ и обобщение опыта применения дистанционного зондирования поверхности с целью обнаружения косяков промысловых рыб.
- Анализ эффективности работы российского промыслового флота в Дальневосточном бассейне. Определение наиболее проблемных промысловых объектов, нуждающихся в воздушных способах поиска и обнаружения скоплений косяков.
- Определение сроков и районов возможного применения беспилотной авиатехники. Определение данных о характерных движениях косяков промысловых рыб, режимах их перемещения, характерных признаках обнаружения. Разработка сценария применения БПЛА для обнаружения косяков промысловых рыб.
- Определение размеров участков зондирования морской поверхности, времени зондирования, оптимальные для обнаружения с помощью беспилотных летательных аппаратов.
- Анализ влияния погодных факторов, способных оказать влияние на возможность обнаружения скоплений промысловых рыб и их перемещений.
- Проведение пробного эксперимента (экспедиции) по проверке возможности обнаружения скоплений промысловых рыб с помощью беспилотных летательных аппаратов в условиях промысла в течение 1-2 недель. Получение и обработка результатов применения авиатехники на промысловом судне. Сопряжение данных авианаблюдений с результатами работы промысловой экспедиции и океанологическими спутниковыми данными, находящимися в открытом доступе.
- Проведение уточняющего эксперимента (экспедиции) по проверке возможности обнаружения скоплений промысловых рыб с помощью беспилотных летательных аппаратов в условиях промысла в течение 2-3 недель. Оценка результатов и разработка рекомендаций для дальнейшего развития промысловой беспилотной авиаразведки.
- Передача итоговых результатов капитану(руководителю промысловой флотилии), уточнение формы и согласование режима их представления.
- Подготовка предложений для предприятий рыболовной отрасли по применению БПЛА для обнаружения косяков промысловых рыб.
- Определение перечня информации необходимой для оценки промысловой обстановки. Разработка и обоснование схемы взаимодействия рыбодобывающих судов и флотилий с группой управления беспилотной авиатехникой в части информационных коммуникаций. Разработка форм итоговых документов, визуализирующих итоги наблюдений.



## Выводы:

- Целесообразно более широко рассматривать виды и области применения морской робототехники.
- В частности, морские технологические роботы могут эффективно решать ряд актуальных задач по инспекции и техническому обслуживанию как непосредственно судов, так и объектов подводной инфраструктуры.