

УДК 629.122

DOI: 10.37890/jwt.v68.212

## **Обзор импортозамещения на рынке хаусботов и предложение по выбору силового агрегата с применением гидроприводов**

**И.Ю. Гордлеева<sup>1</sup>**

**С.Д. Гордлеев<sup>1</sup>**

*ORCID: 0000-0003-0053-0506*

**И.В. Никитаев<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия*

**Аннотация.** Проведено исследование по возможности и необходимости эксплуатации хаусботов в акваториях России на основе концепции освоения водоемов и малых рек, разрабатываемой в настоящее время государством в рамках национальных программ. Выполнен обзор по эксплуатационным, габаритным, водоизмещающим характеристикам хаусботов с рассмотрением различных вариантов судовых энергетических установок, подходящих для класса плавсредств с регистрацией в ГИМС. Предложено использование стационарного двигателя на базе ВАЗ в компоновке с гидроприводом и поворотной колонкой. Произведены расчеты сопротивления корпуса платформы хаусбота по нескольким методикам. Предложен механизм выбора движителей с использованием свободного программного продукта по эмпирическим методикам. Выбрана схема альтернативного привода, построена подробная модель рабочего процесса гидропривода хаусбота, приведена математическая модель его работы.

**Ключевые слова:** хаусбот, плавдом, плавучий объект, силовые агрегаты, подвесной лодочный мотор, гидропривод, импортозамещение, гидродинамическое сопротивление, математическое моделирование.

## **Overview of import substitution in the houseboat market and a proposal for choosing a power unit using hydraulic drives**

**Irina. Y. Gordleeva<sup>1</sup>**

**Sergey. D. Gordleev<sup>1</sup>**

*ORCID: 0000-0003-0053-0506*

**Igor. V. Nikitaev<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia*

**Abstract.** A study was carried out on the possibility and necessity of operating houseboats in the water areas of Russia on the basis of the concept of the development of reservoirs and small rivers, which is currently being developed by the state within the framework of national programs. A review of the operational, overall, displacement characteristics of houseboats was carried out with consideration of various options for ship power plants, suitable for the class of floating craft with registration in the State Inspection of Small Vessels. The use of a stationary engine (JSC AvtoVAZ) in a configuration with a hydraulic drive and a swing-out column is proposed. Calculations of the resistance of the houseboat platform hull were made using several methods. A mechanism for the choice of propellers using a free software product according to empirical methods is proposed. An alternative drive scheme is selected, a detailed model of the working process of a houseboat's hydraulic drive is selected, and a mathematical model of its operation is presented.

**Keywords:** houseboat, floating house, floating object, power units, outboard motor, hydraulic drive, import substitution, hydrodynamic resistance, mathematical modeling.

### **Введение**

Одной из рассматриваемых задач в рамках национальных проектов России является освоение водоемов и малых рек. В ведении государства находятся такие направления, как обеспечение грузовых и пассажирских перевозок, развитие прибрежной инфраструктуры с целью повышения экономических и социальных возможностей проживающего по берегам рек населения, развитие внутреннего туризма и другие актуальные и сопряженные с перечисленными направления.

К примеру, из общего числа малых рек одной только Нижегородской области 550 рек имеют длину от 10 до 50 км, 26 рек - от 51 до 100 км. Некоторые из них являются судоходными (малое судоходство), некоторые мелководными, но практически на всех имеются населенные пункты, для которых зачастую единственной дорогой сообщения служит только река. Несмотря на развитие наземных транспортных путей, до сих пор в некоторые места можно попасть только по воде.

Перечислим основные сложности эксплуатации малых акваторий нашей страны:

- у большинства судов (катера, толкачи, заправщики и др.) осадка не позволяет передвигаться по мелководным рекам;
- у большинства рек и водоемов нет оборудованных для причала судов мест;
- в большинстве случаев даже при наличии причальных стенок (понтонных, мостков) нет прибрежной инфраструктуры: электро- и топливных заправок, наличия водопровода, приема бытовых, фекальных и других отходов.

Плавсредство, рассматриваемое в данной статье, может решить ряд проблем, связанных с перечисленными трудностями освоения водоемов и малых рек. Речь идет о хаусботе (англ. Houseboat, плавучий дом, плавдача, плавучий объект). Это судно либо плавучий объект, который представляет собой специально сконструированный дом для проживания и поставленный на плавучую платформу — понтон или поплавки. Малая осадка основания (от 0.15 м до 0.6 м максимум) дает возможность «припарковаться» к любому даже необорудованному берегу. При этом габаритные размеры надстройки (50-150 кв. м) позволяют комфортабельное проживание со всеми удобствами, практически любой планировкой с необходимым в зависимости от целей эксплуатации оборудованием. Такое сочетание открывает большие горизонты для внутреннего туризма, круглогодичного проживания на воде, несение вахт в прибрежных зонах и т.д.

Чтобы понять для чего, где и при каких условиях целесообразно использование хаусботов, необходимо провести анализ зарубежного и отечественного рынков.

### **1. Краткий обзор рынка хаусботов**

Предназначение, производство и количество используемых хаусботов напрямую связано с историческими, экономическими, географическими, технологическими и другими составляющими. В США первые плавдома появились в 1905 году. Большое количество озер и водоемов, развивающийся туризм, соответствующие погодные условия привели к спросу, за ним - к увеличению популярности хаусботов, а к 1930 г. и целой отрасли.

Типичный американский хаусбот отличается небольшими габаритами (для возможности перевозить их трейлерами с озера на озеро), достаточно незатейливым дизайном, большим количеством бытовой техники, оснащен навесными или стационарными двигателями, имеет в подавляющем большинстве алюминиевый корпус с шириной до 5,5 м с деревянным каркасом, внутренней фанерной отделкой. Более-менее серьезные хаусботы стоят от 500 тысяч до 1,5 млн долларов.

Распространение хаусботов на европейском рынке в первые годы было обусловлено более дешевой альтернативой классическому жилью. Из-за высокой стоимости земли, ее нехватки в крупных городах и огромным земельным налогом европейцы переселялись на плавучие понтоны с надстройкой для проживания, переделывались баржи (Англия, Голландия), адаптировались дебаркадеры (Франция). В настоящее время европейский хаусбот — это фешенебельные гостиницы, комфортабельные частные дома, целые поселки на городских каналах и водоемах с развитой прибрежной инфраструктурой (Германия, Голландия). В отличие от американских европейские хаусботы в большинстве случаев являются самоходными, ультрасовременная надстройка стоит на плавучем бетонном основании [1].

Российский рынок по проектированию, производству и продаже плавдомов начал себя проявлять с 2007 года. Были организованы компании, занимающиеся этим направлением<sup>1</sup>. При этом добрая половина из них является дилерами зарубежных производителей, осуществляя в большей степени посредническую деятельность. До этого плавдачи, плавбани в России, а ранее в СССР изготавливались отдельными энтузиастами из подручных средств и имели малые габариты, малые мощности, неприхотливые условия проживания, являясь по сути экзотическим средством отдыха на воде.

Рынок хаусботов в России сегодня в основном ориентирован на людей с большим достатком. Хотя большинство производимых плавучих домов не приспособлены для круглогодичного проживания, интерес к данному стилю жизни изо дня в день растет. Проектируются и анонсируются целые поселки на воде, во многих яхт-клубах наряду с яхтами уже стоят хаусботы. Эксперты предсказывают этому рынку быстрый рост в ближайшие годы [1]. Систематизируя данные, собранные на специализированных сайтах сети интернет и делая выборку из международных маркетинговых отчетов [9], были получены следующие диаграммы (рис.1):

а)

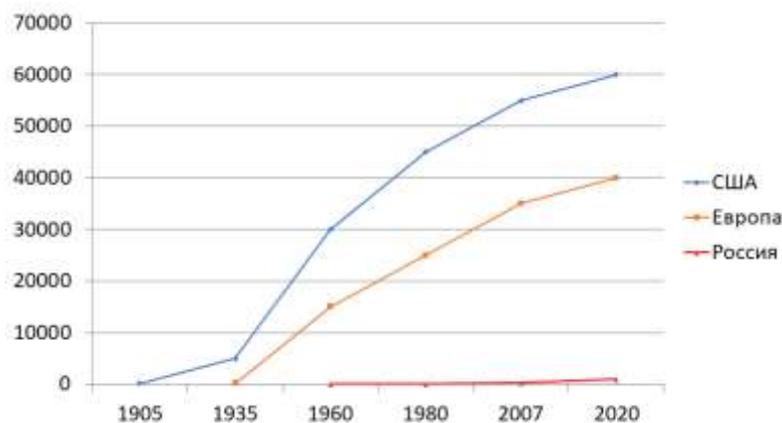


Рис. 1 а) График зависимости изменения количества хаусботов от времени

Fig. 1 a) A graph of the dependence of the change in the number of houseboats on time;

<sup>1</sup> Москва (houseboat.ru), Саратов (machogan.ru), Самара (Лодка Хаус), Санкт-Петербург (Компания АД Модуль / A&D Module) и другие.

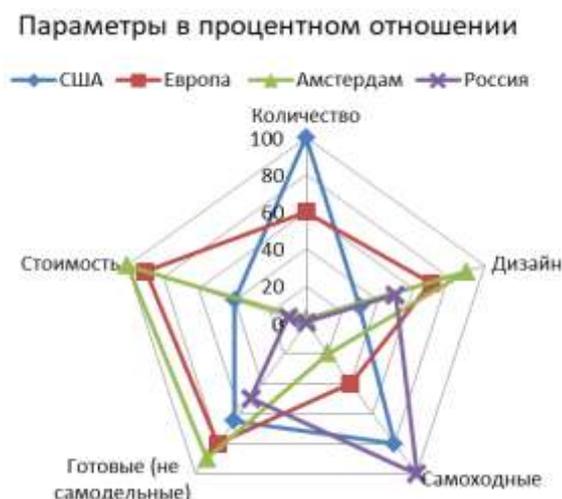


Рис. 1 б) Параметры хаусботов

Fig. 1 b) Houseboat parameters

На круговой диаграмме показаны относительные величины по 5 параметрам, где за 100% взяты наибольшие показатели. И хотя единого реестра в классификации хаусботов не существует, систематизируя рынок используемых плавдомов, их можно разделить на следующие группы:

а) по типу основания - на однокорпусные (на понтоне) и многокорпусные (на поплавках, катамараны, тримараны и т.д.);

б) по материалу основания - на стальные, алюминиевые, из пластика, полиэтилена и др.;

в) по типу передвижения - на самоходные, оснащенные двигателями и обладающие судоходной мобильностью (HouseBoat, CanalBoat, CamperBoat) и несамоходные, буксируемые, на массивном понтоне (FloatHouse, Floating House, дебаркадер и др).

Плавдома также классифицируются по габаритам, водоизмещению, скоростному режиму и мощности двигателя, по системам управления, энергосбережения, жизнеобеспечения, комфортабельности и т.д. Все зависит от целей, поставленных перед эксплуатируемым плавсредством и его назначением.

## 2. Методы, обоснование и ресурсы для создания конкурирующей технологии хаусботов

Целью исследования является сравнительная оценка технико-экономических показателей при выборе силового агрегата для передвижения и - ориентируясь на отечественное производство - обоснование целесообразности выбранного механизма. Также исследование сориентировано на хаусбот с параметрами, подпадающими под регистрацию в ГИМС (Государственная инспекция по маломерным судам). В соответствии с техническим регламентом Таможенного союза (ТР ТС 026/2012) "О безопасности маломерных судов", маломерное судно - судно, длиной не более 20 метров и допустимым количеством людей на борту не более 12 человек.

Согласно правилам ГИМС регистрации подлежат суда весом более 200 кг или имеющие двигатель с рабочей мощностью выше 8 квт.

Стремление соответствовать техническим регламентам Таможенного союза открывает возможность покрыть рынки РФ, СНГ и т.д. Для расчета технических характеристик хаусбота были выбраны следующие базовые параметры: длина – 15 м,

ширина -7 м, мощность двигателя – 72 л.с/52 кВт, водоизмещение - до 20 тонн, количество человек – до 12.

Подавляющее большинство силовых агрегатов, устанавливаемых на хаусботах – это подвесные лодочные моторы (ПЛМ или outboard). Очевидные достоинства ПЛМ:

- компактность – сочетание двигателя (мотоголовы) и движителя (дейдвуда с редуктором, или «ногой») в одном кожухе;
- широкий выбор гребных винтов;
- возможность использования редуктора или водомётной насадки – «улитки»;
- возможность быстрой замены или ремонта, наличие запчастей в магазинах;
- подводная часть полностью поднимается над водой.

Выбор в пользу ПЛМ у яхтсменов также связан с наличием на рынке сбыта большого количества производителей, вариативностью модельного ряда по мощности, габаритам, комплектации в зависимости от эксплуатационных требований заказчика<sup>2</sup>. Для малогабаритных хаусботов менее 5-7 м в длину такой выбор оправдан, не имеет смысла ставить стационарный двигатель, занимающий добрую часть пространства кокпита судна.

Преимущества стационарного двигателя (inboard) начинают проявляться с длины плавсредства от 19 футов (от 6 м) и увеличиваются с ростом габаритов. Оптимальная длина хаусбота варьируется от 7 до 20 м; цель эксплуатации не предполагает скоростной режим и выход на глиссирование, зато предполагает круглогодичное использование при возможном вмерзании в лед на наших широтах и путешествие на дальние расстояния с желательной меньшей топливной прожорливостью, так как зачастую нет возможности дозаправиться. При этих условиях, как показывают исследования специализированных форумов и сайтов, предпочтение отдают стационару. К сожалению, обоснованных экспериментальных или теоретических расчетных данных не существует либо они локализованы у отдельных производителей двигателей для внутреннего пользования. На основе собранной информации можно выделить следующие преимущества стационара перед подвесным мотором:

- гораздо меньший расход топлива при одинаковых мощностях, и чем больше л.с., тем больше разница;
- лучшее распределение веса по корпусу, так как двигатель устанавливается гораздо ближе к миделю (центральной части корпуса); ниже центр тяжести, что лучше сказывается на мореходных качествах и грузоподъемности;
- возможность установки генераторов, компрессоров климатических установок и других энергозатратных систем жизнеобеспечения при длительном или круглогодичном использовании;
- меньший шум и вибрация при грамотной установке внутри корпуса с соответствующей системой демпферов в отличие от крепления ПЛМ на транце в открытом виде;
- безопасность при обслуживании и ремонте (не будет опасности упасть в воду или потерять инструменты и детали);

Не беря в расчет мало применяемые или экзотические СЭУ (судовые энергетические установки), например, паровой котел с колесным движителем, рассмотрим стандартные силовые агрегаты (рис.2):

---

<sup>2</sup>Популярные марки ПЛМ в России Yamaha, Suzuki, Mercury, Honda и другие. Подробнее о рейтинге за 2021 год на сайте <https://vyborexperta.ru/otdyh-i-hobbi/luchshie-lodochnye-motory>.

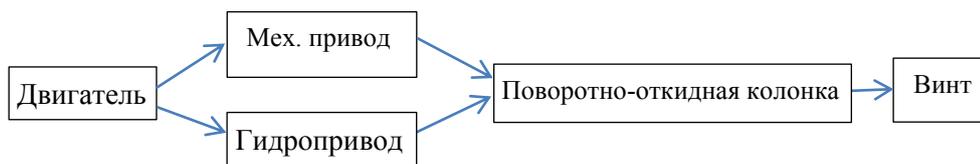


Рис.2 Блок-схема стандартного силового агрегата

Fig. 2 Block diagram of a standard power unit

Двигатели с реверс-редуктором (на катерах с валовым приводом) комплектуются поворотной-откидной колонкой (ПОК) или водомётном (ВД). Из основных производителей таких стационаров – подразделения «Вольво» и «Меркури». Бензиновые MerCruiser(L) и дизельные Volvo-Penta (D) агрегируются своими колонками [2].

Для сравнения цены приведем данные для подвесных бензиновых 4х-тактных моторов ведущих производителей из 2 каталогов (см.табл.1)<sup>3</sup>.

Таблица 1

Модель	Мощность, л.с.	Цена, руб
Yamaha F70AETL	70	545 000
Mercury F80ELPT EFI	80	650 000
Honda BF 90 DK4 LRTU	90	700 948.00
Mercury F100ELPT EFI	100	675 000
Mercury F150L PRO XS EFI	150	960 000
Suzuki DF 150 TX	150	974 000.00
Suzuki DF 175 TX	175	1 078 000.00
Mercury ME F 200 CXL Verado	200	980 000
Yamaha F200CETX	200	1 302 000.00
Yamaha FL350AETX	350	1 849 000

Видно, что ПЛМ усредненно при одной и той же мощности стоят меньше комплекта стационарного двигателя примерно в 1.2 – 2 раза. Если брать отдельно стационарный, не агрегированный поворотной-откидной колонкой или гребным валом, то он будет по цене гораздо ниже подвесного мотора (разница в 1.5–2.5 раза).

Если за критерий взять расход топлива, то преимущества стационарного двигателя очевидны. К примеру, теоретический расчет потребления топлива двигателем Volvo Penta 75 л.с. составляет от 2 л/ч при 1200 об/мин до 18 л/ч при 3000 об/мин, а у подвесного 4-х тактного Mercury ME - 75 л/с от 18 до 27 л/ч при тех же оборотах.

Можно сформулировать промежуточные выводы: на тихоходном (до 10-15 км/ч) хаусботе с размерами 10-20 м, водоизмещением 5-20 тонн целесообразнее, по мнению авторов статьи, установка стационарного двигателя.

Одной из главных целей авторов статьи является поиск возможности в рамках отечественного производства подобрать силовой агрегат, удовлетворяющий вышеперечисленным характеристикам хаусбота и выбрать оптимальный вариант компоновки стационарной силовой энергетической установки.

<sup>3</sup><https://www.e-katalog.ru/k370.htm>, [https://globaldrive.ru/nizhniy-novgorod/motory/?features\\_hash](https://globaldrive.ru/nizhniy-novgorod/motory/?features_hash)

Вместе с этим на слуху еще остаются некоторые советские ПЛМ, производившиеся в большом количестве с начала 60-х годов прошлого столетия в СССР. Это – «Нептун» (снят с производства в 2009), «Вихрь» (снят с производства в 2010), «Ветерок» (производство закрыто в 2008), «Салют», «Нара», «Бийск», «Зиф», «Кама», «Москва» (давно не производятся). Сегодня можно найти «Парус» с линейкой до 60 л.с, производимый в Китае и вполне конкурентный по сравнению с импортными «Impulse» (90-135 л.с.), выпускаемый с 2012 года. В отношении отечественного производства судовых энергоустановок можно назвать компании: "Восточная верфь". "Ленинградский судостроительный завод Пелла", "Судостроительная фирма АЛМАЗ", "Судостроительный завод "Вымпел", "Волжский дизель имени Маминых", "Коломенский завод", "Звезда", "Ярославский судостроительный завод", "Кингисеппский машиностроительный завод". Но эти гиганты сориентированы на государственные заказы в основном для новых кораблей российского ВМФ и тяжелого промышленного судостроения [3].

В настоящее время найти российское производство стационарных лодочных двигателей, не выходя за рамки маломерного флота, к сожалению, достаточно проблематично. Хотя в советское время они выпускались, но не в модельном ряду, а сразу на определенный катер. В качестве примера можно привести прогулочно-туристский катер "Амур-Д" (авиационный завод им. Ю.А.Гагарина, Комсомольск-на-Амуре) [4].

В рамках ряда работ авторам удалось найти российское производство конвертированных двигателей. Компания ООО «ДМ Технолоджи», производитель российских современных водометов, занимается конвертацией (адаптацией) автомобильных бензиновых и дизельных двигателей ВА321124 и ВА321126 под водометы для условий эксплуатации в составе водометной установки. [5]. Двигатели четырехтактные, с распределенным впрыском топлива, 16-ти клапанные; размещение цилиндров в блоке - однорядное, распределительный вал - в верхней части ДВС. Конвертированные двигатели ВАЗ оборудованы охлаждаемым выхлопным коллектором, охлаждаемым выхлопным патрубком, теплообменником, корпусом маховика, узлами амортизационного крепления.

В данной статье рассматривается силовой агрегат с ПОК (преимущества водометов проявили себя в достаточно узком диапазоне эксплуатационных условий, в основном, на каменистых реках с перекатами), поэтому для дальнейших расчетов авторы ориентировались только на сам двигатель ВАЗ с выходной мощностью 72-90 л.с. Судовые конвертируемые двигатели мощностью от 90 до 320 л.с в настоящее время выпускает также Богородский машзавод (БМЗ, Нижегородская область) [6]. В основном это дизельные ЯМЗ (236ср2,5, 236ср2, 238М2рр), но они не комплектуются ПОК.

Было решено произвести теоретический расчет, ориентируясь на вполне конкретные параметры хаусбота, отечественный двигатель ВАЗ мощностью 72 л.с. в компоновке с гидравлическим, а не механическим приводом (как наиболее целесообразным на наш взгляд), ПОК+винт. Расчет гидродинамического сопротивления реализован в программном комплексе Freeship. Для моделирования системы управления гидроприводом использован программный комплекс MATLAB, в котором была произведена проверка работы гидропривода и его отдельных компонентов.

### **3. Выбор платформы хаусбота, расчет сопротивления движению, подбор параметров гребных винтов**

Выбрана усредненная по длине ( $L=15$  м.) модель корпуса хаусбота катамаранного типа с наиболее технологичными обводами, в виде разворачиваемых на плоскость листов. Данная конструкция может быть изготовлена из различных материалов

(металл, композит, фанера, пластик) с использованием различных технологий. Планы теоретического корпуса показаны на рис. 3. Ширина наибольшая – 6 м, водоизмещение 12.5 тонн при осадке в 0.5 метров. При использовании свободно распространяемого программного обеспечения FreeShip версии 3.5 были получены гидростатические характеристики и буксировочные кривые.

Ввиду того, что для многокорпусных судов сопротивление движению можно рассчитывать разными методиками, было взято за основу две наиболее подходящих, исходя из относительных параметров формы корпуса и чисел Фруда.

По методике Дубровского для катамаранов взят диапазон расчетных скоростей 8, 12, 18 узлов - минимальная, расчетная и максимальная соответственно. Кривые полного сопротивления движению и буксировочной мощности показаны на рис. 4,5.

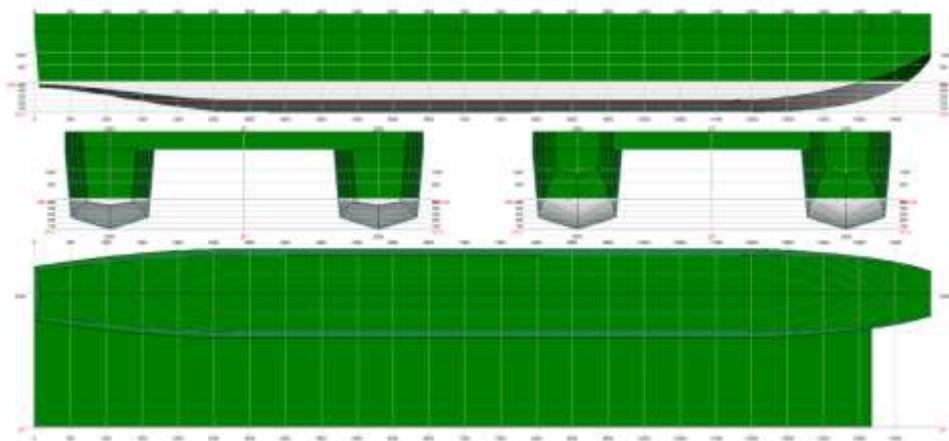


Рис.3 Теоретический чертеж платформы катамаранного корпуса хаусбота

Fig. 3 Theoretical drawing of a houseboat catamaran hull platform

По методике для остроскулых катамаранов (hard-chine) диапазон расчетных скоростей отличается ограниченной начальной – 9.38 узлов. Результаты расчета приведены в табл. 2. Очевидно, что диапазон расчетных скоростей при переводе в международную систему измерений будет составлять для обеих методик 13-33км/ч. На таких скоростях и имеет место выбор оптимальных силовых агрегатов. В таблице ниже показаны сравнения значений полного сопротивления ( $R_{T-e}$ ) и буксировочной мощности ( $P_{e-e}$ ) для двух расчетных случаев.



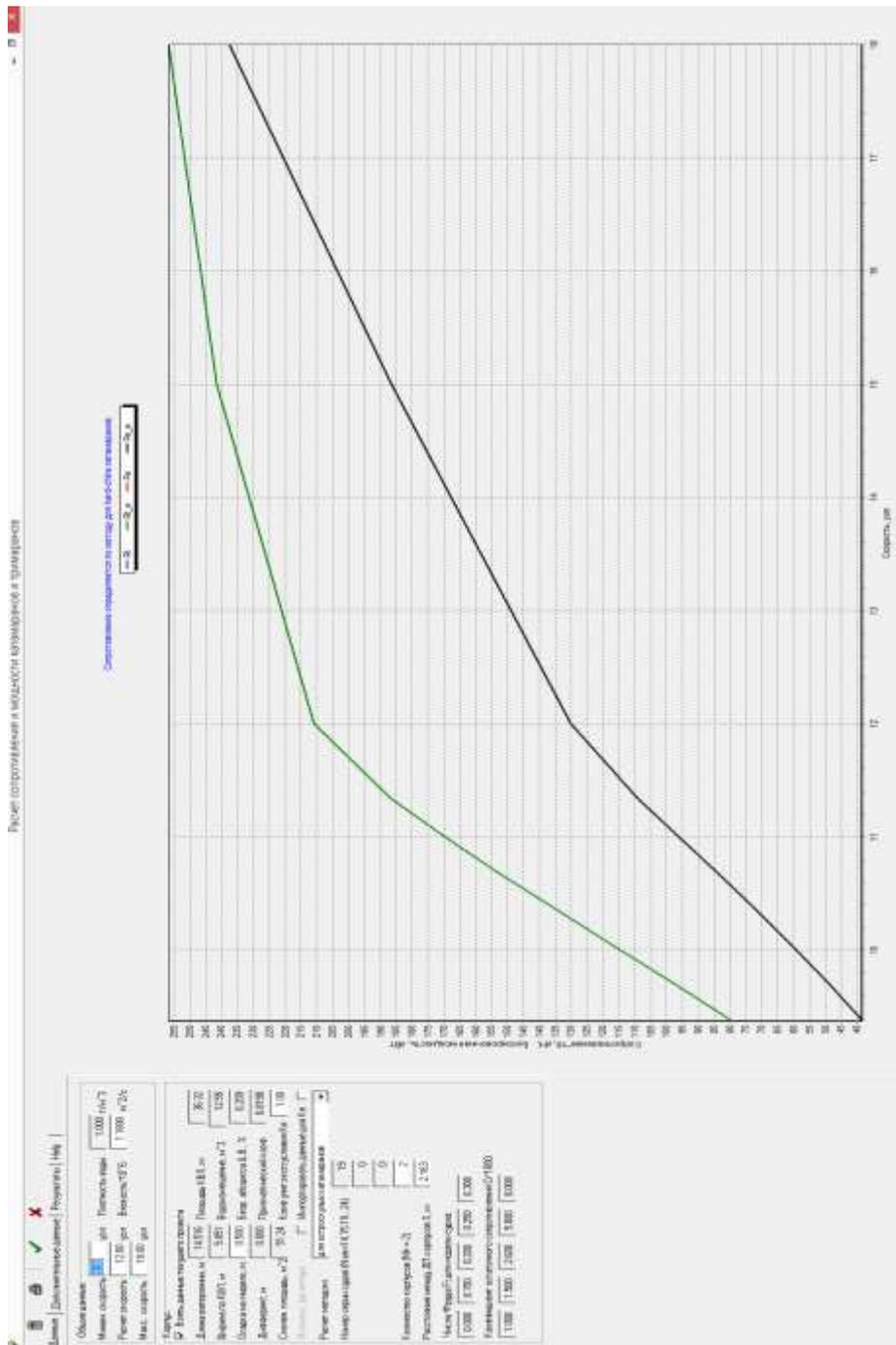


Рис.5 Расчет сопротивления движению и буксировочной мощности по методике для остроскулых катамаранов (hard-chine)

Fig. 5 Calculation of resistance to movement and towing power according to the method for sharp-chine catamarans (hard-chine)

Таблица 2

По методике Дубровского			По методике hard-chine		
V, км/ч	R <sub>T_e</sub> , кН	Pe <sub>e</sub> , кВт	V, км/ч	R <sub>T_e</sub> , кН	Pe <sub>e</sub> , кВт
13,93	4,2	16,3	17,37	8	38,4
14,96	5,1	21	17,98	9,8	48,9
16,00	5,6	25,1	18,58	11,6	60,1
17,04	6,4	30,1	19,19	13,5	72
18,08	7,4	37,1	19,80	15,3	84,2
19,11	8,9	47,1	20,41	17,1	96,6
20,15	10,7	59,6	21,02	18,7	109,1
22,22	14,8	91,2	22,22	21,1	130,1
27,78	26	200,5	27,78	24,2	186,4
33,34	33,6	311,2	33,34	25,7	237,7

Сравнение полученных результатов показывает, что для подбора силового агрегата можно использовать верхнюю границу скоростей по первой методике и нижнюю - по второй. Данная выборка даст при подборе ошибку в безопасную сторону. Таким образом, для скорости 17 км/ч буксировочная мощность составит 38,4 кВт (52,23 л.с. суммарно), соответственно для 33км/ч – 311,2кВт. (423 л.с.). При этом описанная выше расчетная скорость на тихоходном режиме составляет 10-15 км/ч, что в целом соответствует значению мощности в 52.23 л.с. с запасом. Как показано в [8-11], мощность силовой установки может быть задана подбором оптимального гребного винта (рис. 6).

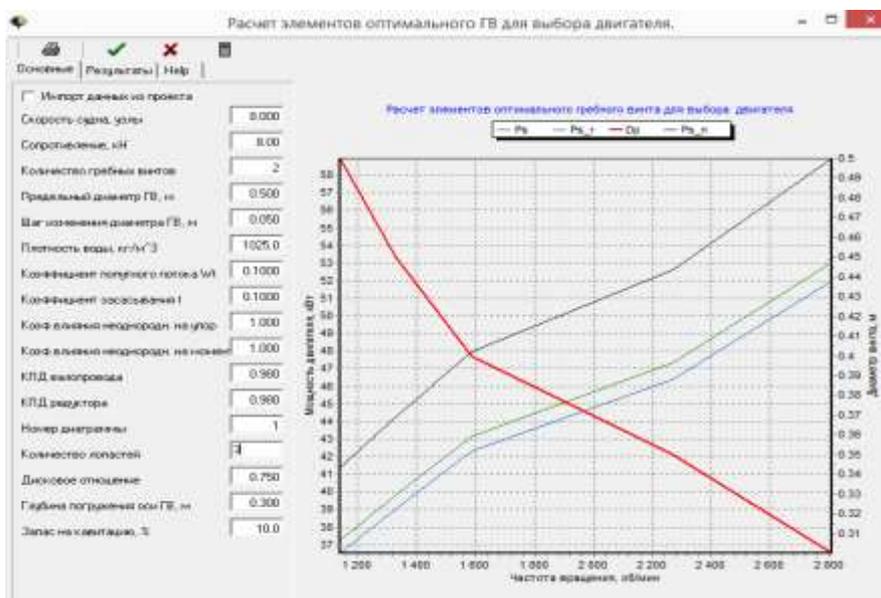


Рис.6 - Расчет элементов оптимального гребного винта сопротивления движению и буксировочной мощности по методике для остроскулых катамаранов (hard-chine)

Fig. 6 Calculation of the elements of the optimal propeller, motion resistance and towing power according to the method for sharp-chine catamarans (hard-chine)

#### 4. Выбор схемы альтернативного привода, построение подробной модель рабочего процесса гидропривода хаусбота

На основании проведенного анализа для передвижения и управления хаусботом был выбран гидравлический привод с объемным регулированием [12]. Принципиальная схема привода, которая была промоделирована в программной среде MATLAB включает в себя аксиально-поршневой регулируемый насос, гидромотор, два гидроцилиндра подъема гребного винта и поворота, а также трубопроводы, вспомогательную и измерительную аппаратуру. По сравнению с механическим приводом преимущества гидравлического заключаются в свободе компоновки, компактности, экономичности, ремонтпригодности.

Будем рассматривать схему гидравлического привода, в котором в качестве гидромашин, сообщающей энергию жидкости, установлен аксиально-поршневой насос с регулируемой подачей жидкости. В данном насосе регулирование подачи жидкости происходит посредством изменения угла наклона пластины, который напрямую влияет на объем рабочих камер насоса. В качестве исполнительного двигателя установлен двигатель внутреннего сгорания мощностью 72 л.с. В качестве гидродвигателей передвижения и управления скоростью движения хаусботом используются два аксиально-поршневых нерегулируемых гидромотора, которые установлены в кормовой части хаусбота. Для подъема и опускания движителей в гидравлической схеме предусмотрены гидроцилиндры двухстороннего действия с односторонним штоком.

Авторами предпринята попытка провести моделирование работы насосной установки (НУ) при максимальных сопротивлениях движению хаусбота с максимальной скоростью движения. Схема разработанной модели системы управления НУ представлена на рис. 7. Она составлена из стандартных блоков библиотек. Определенный блок выполняет заданную функцию схемы управления.

Предварительно рассмотрим имеющиеся математические модели отдельных узлов системы.

##### **Насосная станция:**

Блок насоса переменного рабочего объема с компенсацией давления представляет собой насос любого типа с регулируемым рабочим объемом и компенсацией давления в виде модели на основе технических данных. Ключевыми параметрами, необходимыми для параметризации блока, являются максимальный рабочий объем насоса, диапазон регулирования, объемный и общий КПД, номинальное давление и угловая скорость. Все эти параметры обычно указаны в технических паспортах или каталогах [15].

Насос переменного рабочего объема с компенсацией давления представлен следующими уравнениями:

$$q = D \cdot \omega - k_{leak} \cdot p$$

$$T = D \cdot p / \eta_{mech}$$

$$D = \begin{cases} D_{max} & \text{для } p \leq p_{set} \\ D_{max} - K(p - p_{set}) & p_{set} < p < p_{max} \\ 0 & \text{для } p \geq p_{max} \end{cases}$$

$$p_{max} = p_{set} + p_{reg}$$

$$K = D_{max} / (p_{max} - p_{set})$$

где  $q$  - подача насоса;  $p$  - перепад давления на насосе;  $D$  - мгновенный рабочий объем насоса;  $D_{\max}$  - максимальный рабочий объем насоса;  $P_{\text{set}}$  – давление настройки насоса;  $p_{\text{max}}$  - максимальное давление, при котором рабочий объем насоса равен нулю;  $T$  – крутящий момент на приводном валу насоса;  $\omega$  - угловая скорость насоса;  $k_{\text{leak}}$  - коэффициент утечки;  $\eta_{\text{mech}}$  - механический КПД насоса.

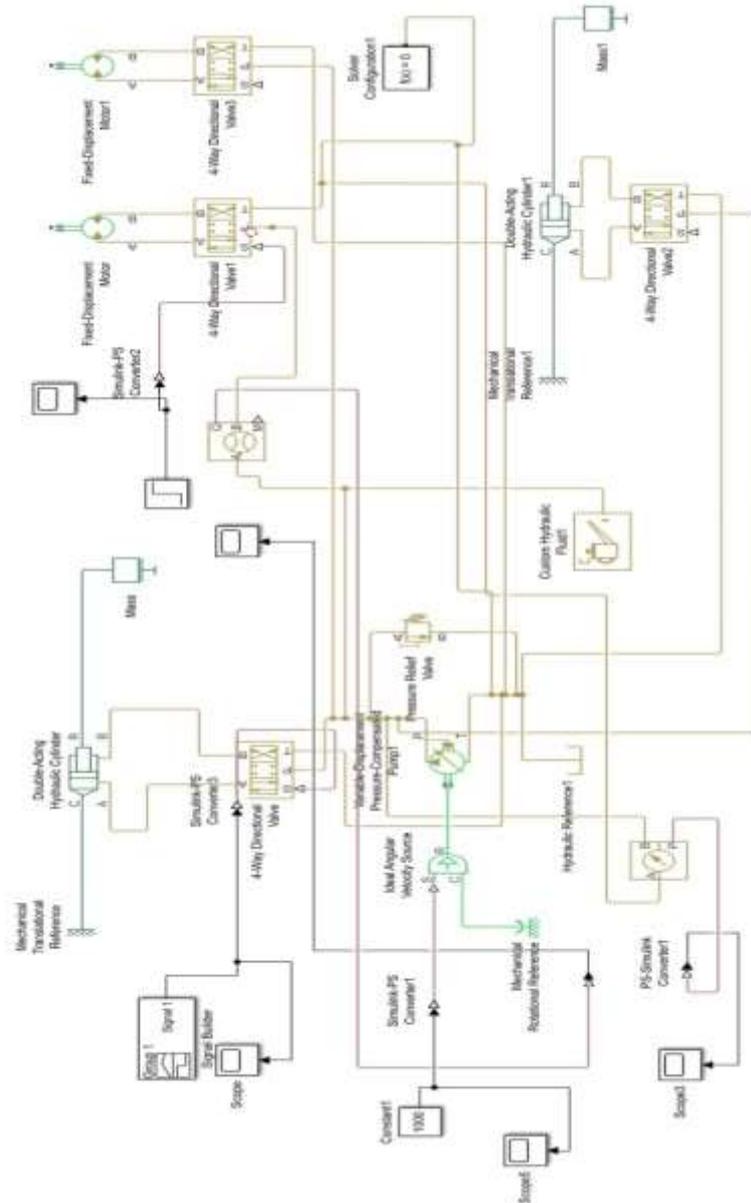


Рис. Рис.7. Принципиальная схема гидравлического привода хаусбота в программной среде MATLAB

Fig. 7. Schematic diagram of the houseboat hydraulic drive in the MATLAB software environment

Поток утечки определяется на основе предположения, что он линейно пропорционален перепаду давления на насосе и может быть вычислен с использованием формулы Хагена-Пуазейля.

$$p = \frac{128\mu l}{\pi d^4} Q_{leak}$$

где  $Q_{leak}$  - утечка потока;  $d, l$  – геометрические параметры пути утечки;  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости жидкости.

Механический КПД насоса обычно не приводится в технических паспортах, поэтому он определяется исходя из общего и объемного КПД в предположении, что гидравлический КПД пренебрежимо мал.

$$\eta_{mech} = \eta_{total} / \eta_v$$

Положительное направление блока - от порта Т к каналу Р. Это означает, что насос перекачивает жидкость от Т к Р при условии, что вал S вращается в положительном направлении. Перепад давления на насосе определяется как  $p = p_p - p_T$ .

В отличие от дроссельного регулирования, объемное регулирование позволяет повысить КПД работы гидравлического привода за счет уменьшения сопротивления при движении рабочей жидкости [15].

**Трубопровод:**

В данной модели используется блок Hydraulic Resistive Tube [16], который моделирует гидравлические трубопроводы с круглым и некруглым поперечным сечением.

Потери давления на трение вычисляются с помощью уравнения Дарси. Коэффициент трения в турбулентном режиме определяется в приближении Хааланда [17]. Коэффициент трения при переходе от ламинарного режима к турбулентному определяется с помощью линейной интерполяции между крайними точками режимов. В результате этих предположений труба моделируется в соответствии со следующими уравнениями:

$$p = f \frac{(L+L_{eq}) \rho}{D_H} \frac{1}{2A^2} q|q|$$

$$f = \begin{cases} \frac{K_S}{Re} & \text{при } Re \leq Re_L \\ f_L + \frac{f_T - f_L}{Re_T - Re_L} (Re - Re_L) & \text{при } Re_L < Re < Re_T \\ \frac{1}{\left( -1.8 \log_{10} \left( \frac{6.9}{Re} + \left( \frac{R/D_H}{3.7} \right)^{1.11} \right) \right)^2} & \text{при } Re \geq Re_T \end{cases}$$

$$Re = \frac{qD_H}{Av}$$

где  $p$  – потери давления по трубе из-за трения;  $q$  – расход по трубе;  $Re_L$  – максимальное число Рейнольдса при ламинарном потоке;  $Re_T$  – минимальное число Рейнольдса при турбулентном потоке;  $K_S$  – коэффициент формы, характеризующий поперечное сечение трубы;  $f_L$  – коэффициент трения на ламинарной границе;  $f_T$  – коэффициент трения на турбулентной границе;  $A$  – площадь поперечного сечения

трубы;  $D_H$  – гидравлический диаметр трубы;  $L$  - геометрическая длина трубы;  $L_{eq}$  – суммарная эквивалентная длина местных сопротивлений;  $g$  – высота шероховатости внутренней поверхности трубы;  $\nu$  – кинематическая вязкость жидкости.

**Гидрораспределители:**

Блок 4-ходового направленного клапана представляет собой гидрораспределитель с четырьмя портами и тремя положениями или путями потока. Порты подключаются к гидравлическому насосу (порт P), накопительному баку (порт T) и приводу двойного действия (порты A и B). Жидкость может течь от насоса к приводу по пути P-A или P-B и от привода к резервуару по пути A-T или B-T - в зависимости от рабочей стороны привода.

Блок представляет собой составной компонент с четырьмя блоками переменной диафрагмы, управляемыми одним физическим сигналом. Блоки с регулируемым отверстием P-A и регулируемым отверстием P-B представляют пути потока P-A и P-B. Блоки Переменное отверстие A-T и Регулируемое отверстие B-T представляют пути потока A-T и B-T. Физический сигнал указывается через блок порта подключения S.

Параметры блока ориентации отверстия устанавливаются так, что положительный сигнал действует для открытия регулируемого отверстия P-A и регулируемого отверстия B-T, при закрытии регулируемого отверстия A-T и регулируемого отверстия P-B. Отрицательный сигнал имеет противоположный эффект - он действует, открывая регулируемое отверстие A-T и регулируемое отверстие P-B, при этом закрывая регулируемое отверстие P-A и регулируемое отверстие B-T. Структурная схема клапана приведена на рис. 8

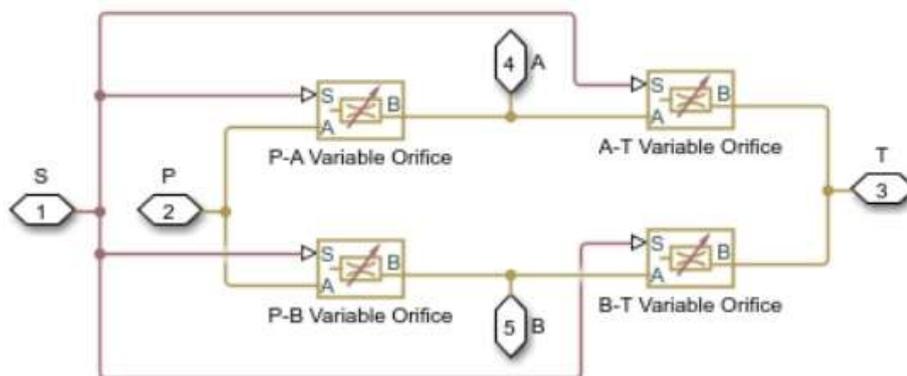


Рис.8 Структурная схема клапана

Fig.8 Block diagram of the valve

**Гидромоторы:**

Блок двигателя с фиксированным рабочим объемом представляет собой устройство, которое извлекает мощность из гидравлической (изотермической) жидкости сети и передает ее в механическую сеть вращения. Смещение двигателя фиксируется на постоянном значении, которое указывается с помощью параметра смещения.

Порты A и B представляют собой вход и выход двигателя соответственно. Порт S представляет собой приводной вал двигателя. Во время нормальной работы угловая скорость на канале S положительна, если падение давления от порта A к каналу B также положительное.

Объемный расход, необходимый для питания двигателя, равен:

$$q = q_{\text{Ideal}} + q_{\text{Leak}}$$

где:  $q$  - чистый объемный расход;  $q_{\text{Ideal}}$  - идеальный объемный расход;  $q_{\text{Leak}}$  - объемный расход внутренней утечки.

Крутящий момент, создаваемый в двигателе, равен

$$\tau = \tau_{\text{Ideal}} - \tau_{\text{Friction}}$$

$\tau$  – общий крутящий момент;  $\tau_{\text{Ideal}}$  - идеальный крутящий момент;

$\tau_{\text{Friction}}$  - момент трения.

Идеальный объемный расход:

$$q_{\text{Ideal}} = D\omega,$$

идеальный создаваемый крутящий момент равен:

$$\tau_{\text{Ideal}} = D\Delta p.$$

Жидкость при проходе через отверстие гидрораспределителя при любом потоке находится в турбулентном режиме. Тогда можно описать расход от потерь давления эмпирической формулой для локального сопротивления при турбулентном режиме [18]:

$$Q = \mu A \sqrt{\frac{2p}{\rho}}$$

где  $\mu \approx 0,72$  – коэффициент дросселирования постоянен, при учете, что число Рейнольдса всегда больше 500.

**Гидроцилиндры:**

Блок гидравлических цилиндров двойного действия моделирует устройство, которое преобразует гидравлическую энергию в механическую энергию в форме поступательного движения [19]. Модель цилиндра построена из блоков библиотеки. Принципиальная схема модели представлена ниже.

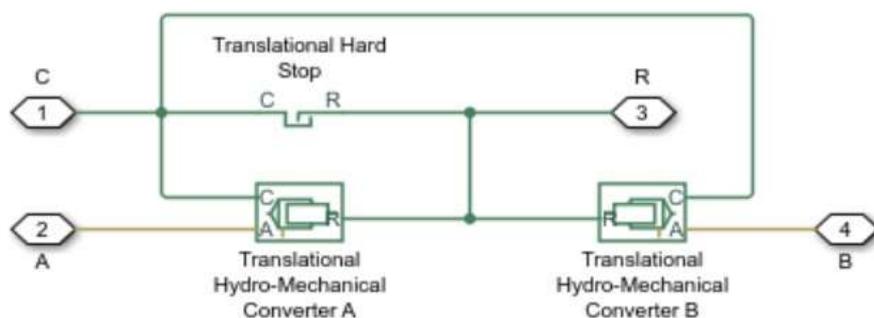


Рис.9 - Принципиальная схема модели

Fig.9 - Schematic diagram of the model

Соединения R и C представляют собой каналы для сохранения механического поступательного движения, соответствующие штоку цилиндра и зажимной конструкции цилиндра, соответственно. Соединения A и B являются гидравлическими портами для консервации. Порт A подключен к преобразователю A, а порт B подключен к преобразователю B.

Энергия через гидравлический порт A или B направляется в соответствующий блок поступательного гидромеханического преобразователя. Конвертер преобразует гидравлическую энергию в механическую и учитывает сжимаемость жидкости в камере цилиндра. Движение штока ограничено механическим блоком Translational Hard Stop таким образом, что шток может перемещаться только между крышками цилиндров.

Направление блока можно регулировать и им можно управлять с помощью параметра ориентации цилиндра.

### **Заключение**

В результате анализа растущего рынка хаусботов была сделана оценка использования отечественных двигателей в комплексе с гидроприводом. Данное решение позволяет рассмотреть возможность альтернативных решений для модульного проектирования платформ для хаусботов. Также проведены расчеты сопротивления движению катамаранной платформы и обосновано использование отечественных конвертированных двигателей. Сделана подробная модель рабочего процесса гидропривода хаусбота (рис.7), что дало возможность исследовать блочные динамические системы. Модель создается из стандартных функциональных графических блоков.

### **Список литературы**

- 1.Официальный сайт компании Houseboat // Про хаусботы, [Электронный ресурс]. — URL: <https://houseboat.ru/pro-hosebot/> (дата обращения: 11.06.2021).
- 2.Официальный сайт компании proboating.ru // Выбираем судовой двигатель, [Электронный ресурс]. — URL: <http://proboating.ru/articles/howto/choosing-marine-engine/> (дата обращения: 18.06.2021).
- 3.Волковик К. Двигателестроительные заводы России могут удовлетворить все потребности наших флотов, [Электронный ресурс]. — URL: [www.korabel.ru/news/comments/dvigatelistroitelnye\\_zavody\\_rossii\\_mogut\\_udovletvorit\\_vse\\_potrebnosti\\_nashih\\_flotov.html](http://www.korabel.ru/news/comments/dvigatelistroitelnye_zavody_rossii_mogut_udovletvorit_vse_potrebnosti_nashih_flotov.html) (дата обращения: 21.06.2021).
- 4.Официальный сайт компании motorka.org // Катер Амур-Д, [Электронный ресурс]. — URL: <https://motorka.org/katera/1304-kater-amur-d.html> (дата обращения: 23.06.2021).
- 5.Официальный сайт компании ООО "ДМ Технолоджи" // ВАЗ 21124 конвертированный двигатель. [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.jetmarine.ru/dvigateli/vaz-21124-konvertirovannyy-dvigatel.html> (дата обращения: 23.06.2021).
- 6.Официальный сайт ОАО Богородского машиностроительного завода // Продукция, [Электронный ресурс]. — URL: <https://bogorodskmash.n4.biz/products> (дата обращения: 23.06.2021)
- 7.Официальный сайт компании SPARK // Houseboats Market | Global Opportunity, Growth Analysis And Outlook Report upto 2027 [Электронный ресурс]. — URL: <https://spark.ru/user/135072/blog/77297/houseboats-market-global-opportunity-growth-analysis-and-outlook-report-upto-2027> (дата обращения: 28.06.2021)
- 8.Yun L., High Speed Catamarans and Multihulls / L. Yun, A. Bliault, H. Zong Rong. - Springer, 2019. – 783 p. DOI:10.1007/978-1-4939-7891-5
- 9.Слижевский Н.Б., Король Ю.М., Соколик М.Г., Тимошенко В.Ф. Расчет ходкости надводных водоизмещающих судов: Учебное пособие. Под общ. ред. проф. Н.Б.Слижевского. -Николаев, НУК, 2004.-192с.

10. Nazarov A. Small Catamarans: Design Approaches and Case Studies // International Journal of Small Craft Technology, - The Transactions of Royal Institution of Naval Architects - Part B1 2015. – P. 11-22 DOI:10.3940/rina.ijsc.2015.b2.164
11. Демина К.С., Ковпей Н.В., Латина С.В. Дома на воде // Международный студенческий научный вестник. – 2016. № 5-3.
12. Гойдо М. Е., Проектирование объемных гидроприводов. — Москва : Машиностроение, 2009. — 304 с. — ISBN 978-5-94275-427-3. — Текст электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/729> (дата обращения: 10.03.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
13. Руппель А.А., Сагандыков А.А., Корытов М.С. Моделирование гидравлических систем в MATLAB: учебное пособие. – Омск: СибАДИ, 2009. – 172с.
14. Ивановский Ю. К., Моргунов К. П. Основы теории гидропривода. — Санкт-Петербург : Лань, 2018. — 200 с. — ISBN 978-5-8114-2955-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/102590> (дата обращения: 10.03.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
15. Емельянов Р.Т., Прокопьев А.П., Климов А.С. Моделирование рабочего процесса гидропривода с дроссельным регулированием // Строительные и дорожные машины. – 2009. – № 11. – С. 62–64.
16. SimHydraulics. – Access mode: <http://matlab.ru/products/simhydraulics>.
17. Transdisciplinarity: Stimulating Synergies, Integrating Knowledge Division of Philosophy and Ethics UNESCO, 1998, pp. 37–38.
18. Gellerstedt S. Operation of the Single-Grip Harvester: Motor-Sensory and Cognitive Work // Journal. of Forest Engineering. 2002. Vol. 13, no. 2. P. 45–47.
19. Combinative Control Method of Centrifugal Pump Based on Variable Frequency Drive and Auto Back Flow Control Valve / W.G. Zhang, W.D. Yang, F.X. Dou, L.J. Wang // Petrochemical Equipment. – 2016. – Vol. 45. – № 6. – P. 73–76. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7466.2016.06.016

#### References

1. The official website of the Housebot company // Pro khausboty [About housebots], [Electronic resource]. - URL: <https://houseboat.ru/pro-hosebot/> (accessed: 06.11.2021).
2. The official website of the company proboating.ru // Vybiraiem sudovoi dvigatel' [Choosing a ship engine], [Electronic resource]. - URL: <http://proboating.ru/articles/howto/choosing-marine-engine/> (accessed: 18.06.2021).
3. Volkovik K. // Dvigatellestroitel'nye zavody Rossii mogut udovletvorit' vse potrebnosti nashikh flotov [Engine-building plants of Russia can satisfy all the needs of our fleets], [Electronic resource]. - URL: [www.korabel.ru/news/comments/dvigatellestroitelnye\\_zavody\\_rossii\\_mogut\\_udovletvorit\\_vse\\_potrebnosti\\_nashih\\_flotov.html](http://www.korabel.ru/news/comments/dvigatellestroitelnye_zavody_rossii_mogut_udovletvorit_vse_potrebnosti_nashih_flotov.html) (accessed: 21.06.2021).
4. The official website of the company motorka.org // Kater Amur-D [Boat Amur-D], [Electronic resource]. - URL: <https://motorka.org/katera/1304-kater-amur-d.html> (accessed: 23.06.2021).
5. Official site of the company "DM Technology" LLC // VAZ 21124 konvertirovannyi dvigatel' [VAZ 21124 converted engine]. [Electronic resource]. - URL: <http://www.jetmarine.ru/dvigateli/vaz-21124-konvertirovannyi-dvigatel.html> (accessed: 23.06.2021).
6. Official site of JSC Bogorodsky machine-building plant // Production, [Electronic resource]. - URL: <https://bogorodskmash.n4.biz/products> (accessed: 23.06.2021).
7. Official site of the SPARK company // Houseboats Market | Global Opportunity, Growth Analysis And Outlook Report upto 2027 [Electronic resource]. - URL: <https://spark.ru/user/135072/blog/77297/houseboats-market-global-opportunity-growth-analysis-and-outlook-report-upto-2027> (accessed: 28.06.2021)
8. Yun L., High Speed Catamarans and Multihulls / L. Yun, A. Bliault, H. Zong Rong. - Springer, 2019. – 783 p. DOI:10.1007/978-1-4939-7891-5
9. Slizhevsky N.B., King Yu.M., Sokolik M.G., Timoshenko V.F. Raschet khodkosti nadvodnykh vodoizmeshchayushchikh sudov [Calculation of the speed of surface displacement vessels]: Textbook. Under ed. prof. N.B.Slizhevsky.-Nikolaev, NUK, 2004.-192 p. (in Russ)
10. Nazarov A. Small Catamarans: Design Approaches and Case Studies // International Journal of Small Craft Technology, - The Transactions of Royal Institution of Naval Architects - Part B1 2015. – P. 11-22 DOI:10.3940/rina.ijsc.2015.b2.164
11. Demina K.S., Kovpey N.V., Latina S.V. Doma na vode [Houses on the Water] // International Student Scientific Bulletin. - 2016. - No. 5-3. (in Russ)

12. Goido, M.E., Proektirovanie ob"emnykh gidroprivodov [Design of volumetric hydraulic drives] / ME Goido. - Moscow: Mechanical Engineering, 2009. -- 304 p. - ISBN 978-5-94275-427-3. - Text: electronic // Lan: electronic library system. - URL: <https://e.lanbook.com/book/729> (accessed: 10.03.2021). - Access mode: for authorization users.
13. Ruppel A.A., Sagandykov A.A., Korytov M.S. Modelirovanie gidravlicheskih sistem v MATLAB [Modeling Hydraulic Systems in MATLAB]: A Tutorial. - Omsk: SibADI, 2009. -- 172p. (in Russ)
14. Ivanovskiy, Yu.K. Osnovy teorii gidroprivoda [Fundamentals of the theory of hydraulic drive] / Yu. K. Ivanovskiy, KP Morgunov. - St. Petersburg: Lan, 2018. -- 200 p. - ISBN 978-5-8114-2955-4. - Text: electronic // Lan: electronic library system. - URL: <https://e.lanbook.com/book/102590> (accessed: 03.10.2021). - Access mode: for authorization users. (in Russ)
15. Emelyanov R.T., Prokopiev A.P., Klimov A.S. Modelirovanie rabocheho protsessa gidroprivoda s drossel'nym regulirovaniem [Modeling the working process of a hydraulic drive with throttle control] // Construction and road machines. - 2009. - No. 11. - P. 62–64.
16. SimHydraulics. – Access mode: <http://matlab.ru/products/simhydraulics>.
17. Transdisciplinarity: Stimulating Synergies, Integrating Knowledge Division of Philosophy and Ethics UNESCO, 1998, pp. 37–38.
18. Gellerstedt S. Operation of the Single-Grip Harvester: Motor-Sensory and Cognitive Work // Journal. of Forest Engineering. 2002. Vol. 13, no. 2. P. 45–47.
19. Combinative Control Method of Centrifugal Pump Based on Variable Frequency Drive and Auto Back Flow Control Valve / W.G. Zhang, W.D. Yang, F.X. Dou, L.J. Wang // Petrochemical Equipment. – 2016. – Vol. 45. – № 6. – P. 73–76. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7466.2016.06.016

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Гордлеева Ирина Юрьевна**, к.ф.-м.н., доцент, доцент Кафедры подъемно-транспортных машин и машиноремонта, Волжский государственный университет водного транспорта, 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: [vishkind@rambler.ru](mailto:vishkind@rambler.ru)

**Irina Y. Gordleeva**, Ph.D. in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Hoisting-and-Transport Machines and Machine Repair, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951, e-mail: [vishkind@rambler.ru](mailto:vishkind@rambler.ru)

**Гордлеев Сергей Дмитриевич**, Начальник УННИД, Волжский государственный университет водного транспорта, 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: [gordleev@vsawt.com](mailto:gordleev@vsawt.com)

**Sergey D. Gordleev**, Head of UNNID, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951, e-mail: [gordleev@vsawt.com](mailto:gordleev@vsawt.com)

**Никитаев Игорь Владимирович**, к.т.н., доцент, Кафедры подъемно-транспортных машин и машиноремонта, Волжский государственный университет водного транспорта, 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: [inikitaev@bk.ru](mailto:inikitaev@bk.ru)

**Igor V. Nikitaev**, Ph.D., associate professor of the Department of Hoisting-and-Transport Machines and Machine Repair, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951, e-mail: [inikitaev@bk.ru](mailto:inikitaev@bk.ru)