

СУДОВОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

SHIP POWER EQUIPMENT

УДК 629.5.037

DOI: 10.37890/jwt.vi80.512

Оценка потребляемой мощности главного двигателя мореходного транспортного средства на воздухоопорных гусеницах

А.А. Панасенко

ORCID: 0000-0003-2067-884X

С.В. Петрашёв

ORCID: 0000-0003-3183-5150

О.В. Москаленко

ORCID: 0000-0003-3121-5234

Р.К. Фокин

Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского, Владивосток, Россия

Аннотация: Комплексное освоение Дальневосточного и Арктического побережья России требует развития всех видов транспорта. Одним из перспективных видов транспорта оказывает минимальное воздействие на, легко разрушаемый в летний период, грунт тундры. Грузоподъемность данного типа мореходных вездеходов может достигать 150 тонн. Конструкция воздухоопорных гусениц включает высокопрочную бесконечную эластичную ленту со смонтированными по наружной поверхности низконапорными пневматическими плицами. Вместо механической системы подвески применяется воздушная подушка. Использование низконапорных пневматических плиц обеспечивает большую площадь «пятна контакта» с грунтом, что позволяет передвигаться по его поверхности, не повреждая дерна тундры. Важной задачей при разработке этого вида транспорта является проектирование энергетической установки. Для оценки необходимой мощности энергоустановки были использованы результаты серийных натурных экспериментов и аналитические зависимости. Математическому моделированию и результатам определения потребляемой мощности при сонаправленном движении воды и контактирующей с ней поверхности гусеницы посвящена данная статья.

Ключевые слова: амфибийный морской транспорт, воздухоопорная гусеница, относительная длина воздухоопорной гусеницы, избыточное давление воздушной подушки, удельное буксировочное сопротивление, нагрузка на грунт, тундровый грунт, разрушение дерна, пневматическая плица (пневмоплица).

Estimation of power consumption of the main engine of a seaworthy vehicle on air-supported tracks

Andrey A. Panasenko

ORCID: 0000-0003-2067-884X

Sergey V. Petrashev

ORCID: 0000-0003-3183-5150

Oleg V. Moskalenko

ORCID: 0000-0003-3121-5234

Roman K. Fokin

Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoi, Vladivostok, Russia

Abstract. The integrated development of the Far Eastern and Arctic coasts of Russia requires the development of all types of transport. One of the promising types is seaworthy vehicles on air-supported tracks. This type of transport has a minimal impact on the tundra soil, which is easily destroyed in summer. The load-bearing capacity of this type of seaworthy all-terrain vehicles can reach 150 tons. The design of the air-supported tracks includes a high-strength endless elastic belt with low-pressure pneumatic tiles mounted on the outer surface. An air cushion is used instead of a mechanical suspension system. The use of low-pressure pneumatic tiles provides a large area of the "contact patch" with the soil, which allows moving along its surface without damaging the tundra turf. An important task in developing this type of transport is the design of the power plant. The results of serial full-scale experiments and analytical dependencies were used to estimate the required power of the power plant. This article considers mathematical modeling and the results of determining power consumption during the co-directed movement of water and the caterpillar surface in contact with it.

Keywords: amphibious sea transport, air-supported caterpillar, relative length of the air-supported caterpillar, specific towing resistance, soil load, tundra soil, turf destruction.

Введение

Настоятельная необходимость комплексного освоения Арктической зоны и Дальневосточного побережья нашей страны нашла подтверждение в Указе Президента Российской Федерации от 26.10.2020 № 645 "О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года".

Для качественной бесперебойной работы Северного морского пути и его портовой инфраструктуры предусматривается развитие всех видов транспорта, как наземного, воздушного, так и морского. Одним из перспективных направлений развития, транспортной составляющей обеспечения выполнения указанной Стратегии является развитие амфибийного морского транспорта, позволяющего осуществлять весь технологический комплекс погрузо-разгрузочных работ на необорудованное побережье. Исследования Морского государственного университета им. адм. Г.И. Невельского в области мореходных транспортных средств на воздухоопорных гусеницах (ТСВГ) показали их перспективность и целый ряд серьезных преимуществ над гусеничной и колесной техникой, а также над судами на воздушной подушке:

- более высокая экологическая безопасность – при движении ТСВГ не образуется колея, размывающая тундру;
- высокая проходимость - обеспечивает ход по пескам любой сыпучести, снегам любой глубины и рыхлости, болотам любой категории, по пням лесосеки, а также по битому и сплошному льду;
- снижение энергозатрат - за счет движения смоченной поверхности по направлению потока воды сопротивление снижается в два и более раз в сравнении с судном на воздушной подушке (СВП);
- КПД - примерно в полтора раза больше КПД воздушного винта СВП;
- движение на волнении - до 4-х и 5-ти баллов включительно, в том числе и в прибойной полосе;
- способность преодолевать уклоны до 20°;
- скорость – до 30-40 км/час на бездорожье и до 20-25 узлов на воде;

- технологическая мобильность – при грузовых операциях на необорудованном побережье, нет необходимости перегружать с морского на сухопутный вид транспорта.

Указанные преимущества были подтверждены при испытаниях крупномасштабного макета. Также было установлено, что воздухоопорные гусеницы являются амфибийным движителем, плавучесть которого соизмерима с опорной реакцией на грунт; транспортное средство надежно работает в битом льду с обеспечением выхода из воды на лед; не имеет крена при ходе одной гусеницей по льду другой по воде; надежно работает на боковом уклоне; обладает высокой плавностью хода на валунах, кочках и мелких торосах [1, 7, 8, 9, 10].

Воздухоопорная гусеница сочетает в себе преимущества воздушной подушки и гусеницы. Такая уникальная универсальность ходовых качеств позволяет одним транспортным средством (рис. 1) выполнить широчайший круг спасательных, промысловых и транспортно-технологических задач.

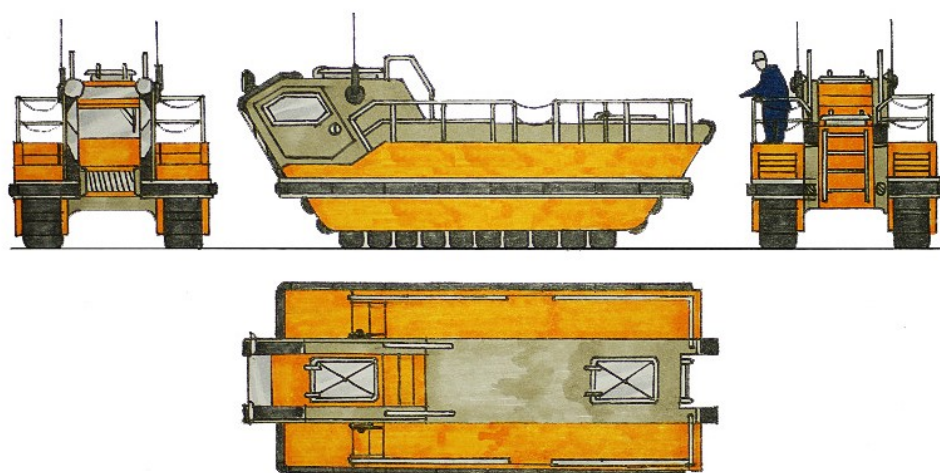


Рис.1. Эскиз транспортного средства на воздухоопорных гусеницах

Конструкция воздухоопорной гусеницы (ВГ) представлена на совмещенной схеме (рис. 2) [2]. Гусеница изготавливается из широкой высокопрочной воздухонепроницаемой ленты, на внешней стороне которой расположены надувные грунтозацепы (пневмоплицы). В носовой и кормовой оконечностях гусеницы располагаются ведущий и ведомый барабаны большого диаметра. Во внутреннем пространстве, между верхней и нижней частями гусеницы расположен несущий понтон, перекрывающий все пространство между ведущим и ведомым барабанами. Внутри понтона, так же размещается различное механическое оборудование: нагнетатель воздуха с приводом, главный двигатель, трансмиссия, и т.д.

Подобная организация рабочего пространства понтона позволила организовать в нижней части полость, в которую нагнетается воздух и создается воздушная подушка. Последняя ограничена нижней стороной гусеничного полотна, ведущим и ведомым валами, понтоном, а также боковыми скегами (внутренним и наружным). Равномерное распределение давления позволяет обеспечить минимальное воздействие на грунт. Наличие пневмоплиц, с объемом равным водоизмещению морского вездехода, обеспечивает мореходность на открытой воде, а также в сплошном и битом ледяном поле.

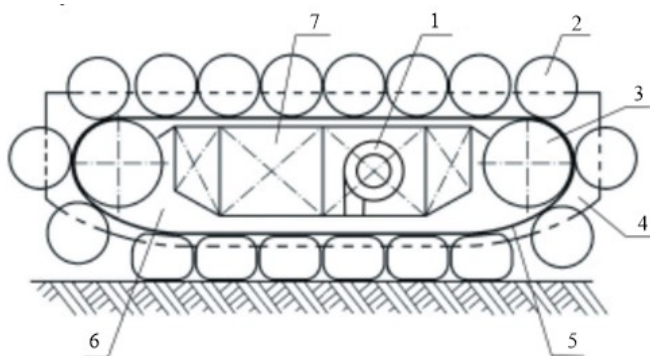


Рис.2. Схема размещения элементов воздухоопорной гусеницы
1- воздушный нагнетатель, 2- пневмоплицы, 3- барабан, 4- бортовые скеги,
5- гусеничная лента, 6- воздушная подушка, 7- понтон

Движение смоченной поверхности по направлению потока воды значительно снижает сопротивление движению ТСВГ [3]. Данный способ организации движения по воде является прорывной технологией в проектировании амфибийного мореходного транспорта [4]. Результаты испытаний действующего макета ТСВГ в масштабе 1:4 на выставке «Спецтран» получили признание, как новый принцип движения и отмечены золотой медалью. За научную работу в конкурсе «Молодые ученые транспортной отрасли» исследователь из МГУ им. адм. Г.И. Невельского в 2016 году награжден Министром транспорта Российской Федерации Соколовым М.Ю. знаком Победителя конкурса Министерства транспорта Российской Федерации.

Цель статьи

Одной из актуальных задач проектирования ТСВГ является определение зависимости необходимой мощности главного двигателя от скорости, водоизмещения, давления в воздушной подушке, площади «пятна контакта» ВГ с грунтом и конструктивных соотношений размеров воздухоопорной гусеницы. Описание одного из вариантов решения указанной задачи является целью данной статьи.

Методы

В работе получены зависимости мощности главного двигателя для привода ТСВГ в зависимости от скорости, водоизмещения и относительной длины воздухоопорных гусениц при заданном значении избыточного давления воздушной подушки в ней. Данные результаты получены в результате математического моделирования с использованием результатов натуральных экспериментов.

Моделирование работы энергоустановки

Алгоритм расчета необходимой мощности главного двигателя от различных факторов включает следующее:

Ввод исходных данных – водоизмещение Δ , тонн (5, 50, 100, 150); скорость хода v , узлы (от 0 до 25); относительная длина воздухоопорной гусеницы L/Vc (от 2 до 5); избыточное давление воздушной подушки p (величина ограничена условием предотвращения срыва дерна на переувлажнённом грунте и отсутствием размыва колеи в тундре - 18 кПа).

1. Расчет основных параметров ВГ – площадь «пятна контакта» ВГ с грунтом (опорной поверхности) S_p в зависимости от величины избыточного давления воздушной подушки p и водоизмещения ТСВГ Δ , длина L , ширина B_c .

Длина:

$$L = \sqrt{\frac{(L/B_c) \cdot S_p}{2}}, \text{ м,}$$

где L/B_c – относительная длина воздухоопорной гусеницы;

S_p – площадь опорной поверхности ВГ

Ширина:

$$B_c = \frac{L}{L/B_c}, \text{ м,}$$

2. Расчет относительной скорости

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gL}}$$

3. Определение относительного буксировочного сопротивления R/Δ по зависимости последнего от числа Фруда $R/\Delta = f(Fr)$. График получен на основе обработки систематических экспериментальных исследований и представлен американским научным центром «Naval ship research and development center» [5].

4. Расчет абсолютной величины эффективной мощности главного двигателя с учетом КПД ВГ. Согласно данным представленным в работе Азовцева А.И. [3], КПД гибкой ленты движущейся сонаправлено с потоком жидкости, как движителя, составляет $\eta = 50 \%$. В соответствии с методическим подходом по расчету эффективной мощности двигателя, представленным Центром исследования и усовершенствования судов David W. Taylor (DTNSRDC) зависимость имеет вид:

$$Ne = \frac{R}{\Delta} \cdot \Delta \cdot \frac{v}{102 \cdot \eta}, \text{ кВт}$$

Для определения удельного буксировочного сопротивления использована известная зависимость [5, 6], представленная на рисунке 3.

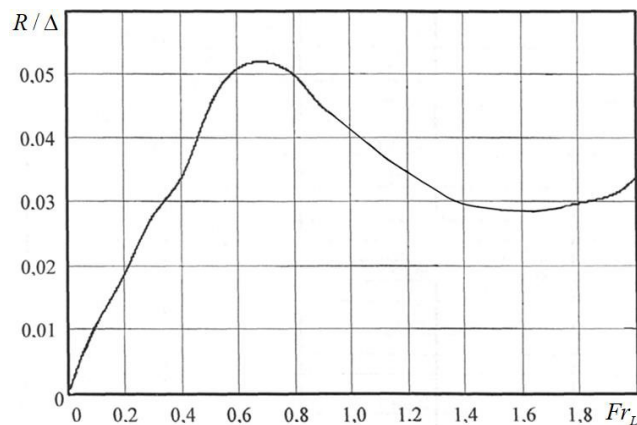


Рис.3. Зависимость удельного буксировочного сопротивления от числа Фруда

Указанная зависимость представлена в графической форме. Для представления последней в аналитическом виде возникла необходимость ее аппроксимации. Единой непрерывной функцией это сделать, с достаточной точностью, не удалось. Данная графическая зависимость была аппроксимирована дискретной функцией для двух участков: начального – от 0 до вершины горба сопротивления (числа Фруда от 0 до 0,678) и конечного – от вершины горба сопротивления до окончания графика (числа Фруда от 0,678 до 2,0). Результат аппроксимации представлен на рисунке 4. Начальный участок (для чисел Фруда от 0 до 0,678), с достоверностью аппроксимации $R^2 = 0,9987$, аппроксимирован полиномом четвертой степени:

$$R/\Delta = -0,881Fr^4 + 1,1249Fr^3 - 0,4651Fr^2 + 0,1498Fr - 0,0001$$

Конечный участок графика (числа Фруда от 0,678 до 2,0) аппроксимирован полиномом шестой степени, достоверность аппроксимации $R^2 = 0,9973$

:

$$R/\Delta = -0,0326Fr^6 + 0,29Fr^5 - 1,0722Fr^4 + 2,1063Fr^3 - 2,2833Fr^2 + 1,2414Fr - 0,2082$$

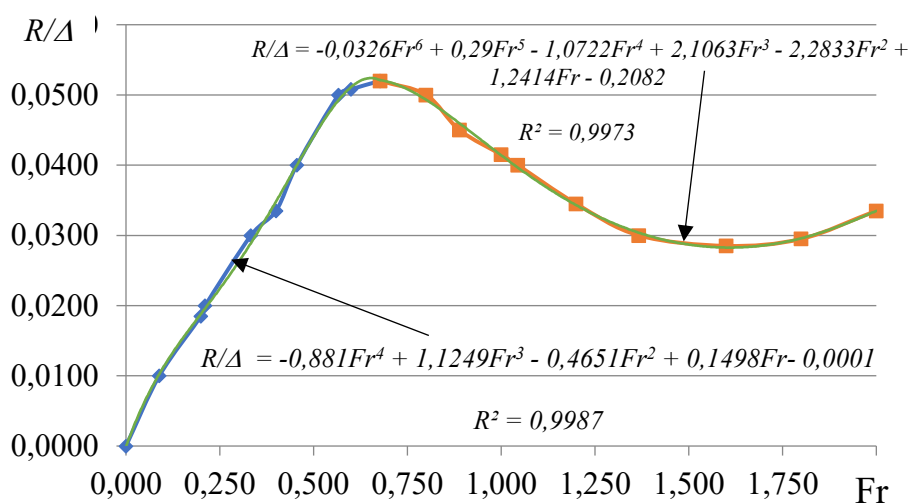


Рис.4. Результат аппроксимации зависимости удельного сопротивления от числа Fr

В результате математического моделирования, в соответствии с представленным выше алгоритмом, потребляемой мощности главным двигателем ТСВГ водоизмещением 5, 50, 100 и 150 тонн, при относительной длине ВГ от 2 до 5 и скорости до 25 узлов были получены расчетные зависимости, которые представлены в виде графиков на рисунках 5 и 6. На рисунке 5 представлены зависимости потребляемой мощности главным двигателем ТСВГ от числа Фруда, а на рисунке 6 от абсолютной скорости (диапазон – от 0 до 25 узлов).

Анализ результатов расчетов показал, что при одинаковом водоизмещении увеличение относительной длины воздухоопорной гусеницы приводит к уменьшению величины числа Фруда при той же скорости движения. При равном значении абсолютной скорости ТСВГ меньшего водоизмещения движутся при больших значениях относительной скорости (при больших числах Fr). Так для конструкции водоизмещением 5 тонн абсолютной скорости в 25 узлов соответствует число Фруда 3,194 (при $L/Bc = 2$). Для конструкции водоизмещением 150 тонн и той же абсолютной скорости соответствует число Фруда 1,365 (при $L/Bc = 2$).

Математическое моделирование потребляемой мощности главным двигателем ТСВГ проведено в наиболее широком диапазоне чисел Фруда (от 0 до 3,19) для аппарата водоизмещением 5 тонн, при различной относительной длине ВГ и скорости

хода до 25 узлов. Для прочих конструкций характерны числа Фруда значительно меньшего значения – не более 2.

Анализ полученных данных показывает, что потребляемая мощность для привода воздухоопорных гусениц меньшей относительной длины ниже, чем у гусениц с большим отношением L/Bc .

Математическое моделирование потребляемой мощности главным двигателем ТСВГ проведено в наиболее широком диапазоне чисел Фруда (от 0 до 3,19) для аппарата водоизмещением 5 тонн, при различной относительной длине ВГ и скорости хода до 25 узлов. Для прочих конструкций характерны числа Фруда значительно меньшего значения – не более 2.

Анализ полученных данных показывает, что потребляемая мощность для привода воздухоопорных гусениц меньшей относительной длины ниже, чем у гусениц с большим отношением L/Bc .

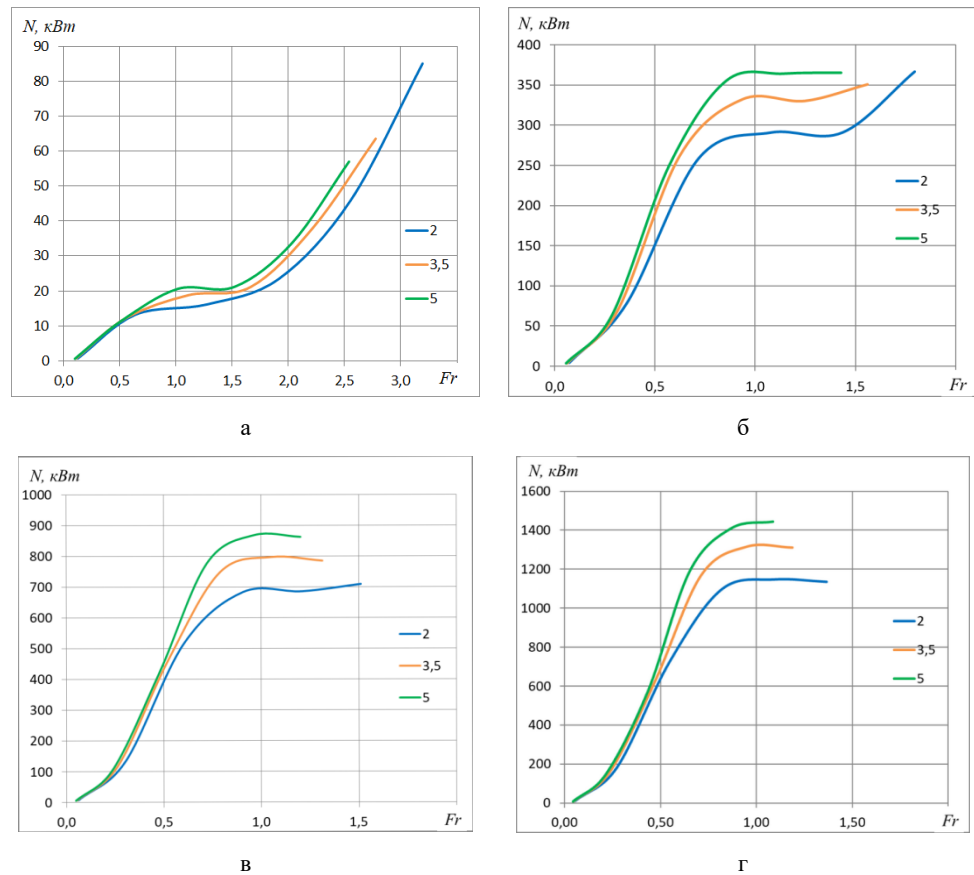


Рис.5. Зависимость потребляемой мощности главным двигателем от числа Fr при относительной длине ВГ 2; 3,5; 5
 а – $\Delta = 5$ т, б – $\Delta = 50$ т, в – $\Delta = 100$ т, г – $\Delta = 150$ т;

— $L/Bc = 2$; — $L/Bc = 3,5$; — $L/Bc = 5$

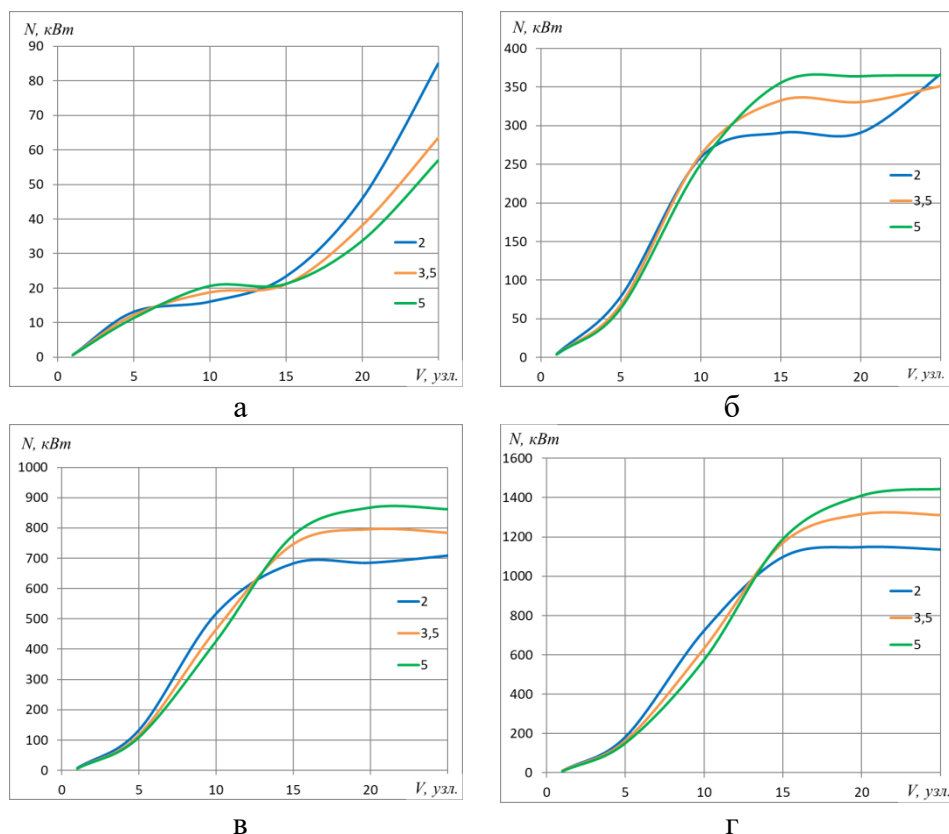


Рис. 6. Зависимость потребляемой мощности главным двигателем от скорости при относительной длине ВГ 2; 3,5; 5

а – $\Delta = 5$ т, б – $\Delta = 50$ т, в – $\Delta = 100$ т, г – $\Delta = 150$ т;

— $L/Vс = 2$; — $L/Vс = 3,5$; — $L/Vс = 5$

На графике прослеживается несколько характерных участков:

1. На начальном участке, при числах Фруда от 0 до 0,7, наблюдается интенсивный рост потребляемой мощности.
2. При числах Фруда ориентировочно от 0,7 до 1,3 – 1,5 имеется участок, на котором изменение мощности незначительно.
3. При числах Фруда от 1,3 - 1,5 наблюдается зона интенсивного роста мощности. Тут необходимо отметить, что результат определения удельного буксировочного сопротивления надежно аппроксимируется только для чисел Фруда от 0 до 2. При больших величинах F_r , значения R/Δ получаются экстраполяцией экспериментальных данных (рис. 3).

Потребляемая мощности главным двигателем ТСВГ водоизмещением 50, 100 и 150 тонн рассчитывалась в диапазоне от 0 до 25 узлов. Максимальная относительная скорость для водоизмещений 50, 100 и 150 т составила соответственно – 1,79, 1,51 и 1,36 при $L/Vс=2$. В указанном диапазоне чисел F_r только ТСВГ водоизмещением 50 т приблизилось к границе участка интенсивного роста мощности (при $L/Vс=2$). Расчет параметров остальных аппаратов ограничен скоростью в 25 узлов и остановлен на участке незначительного изменения мощности.

Анализ графиков зависимости потребляемой мощности от абсолютной величины скорости показывает, что для ТСВГ водоизмещением 5 тонн до скорости примерно 7 узлов необходимая мощность при больших значениях L/Vc наименьшая. В диапазоне от 7 до 13,5 – 14 узлов наименьшая потребляемая мощность у конструкций с L/Vc малой величины. При абсолютных скоростях выше 13,5 – 14 узлов вновь наиболее выгодным с энергетической точки зрения становятся ТСВГ с L/Vc с наибольшим значением. Такое распределение наиболее предпочтительных сочетаний L/Vc в зависимости от абсолютной скорости объясняется тем, что при одинаковом водоизмещении и скорости, но увеличении относительной длины гусеницы – уменьшается число Фруда. И на участке зависимости относительного буксировочного сопротивления от числа Фруда $R/\Delta = f(Fr)$ (см. рис. 3) от 0 до вершины горба сопротивления приводит к смещению величины с меньшим значением R/Δ . На участке от горба сопротивления до его минимальной величины уменьшение Fr приводит к увеличению относительного сопротивления. После прохождения минимума (при $Fr = 1,6$) увеличение относительной длины вновь становится предпочтительным, т.к. смещает значение Fr в меньшую сторону, а это, в свою очередь, приводит к меньшему удельному сопротивлению и необходимой мощности по сравнению с гусеницей с малым значением L/Vc .

Описанные закономерности проявляются для конструкций водоизмещением 5 тонн. У ТСВГ водоизмещением 50 тонн относительной скорости более $Fr = 1,6$ достигает только аппарат с $L/Vc = 2$. Для ТСВГ водоизмещением 50 тонн при скорости около 25 узлов становится более выгодным использование воздухоопорных гусениц большей относительной длины. Прочие конструкции, особенно более тяжелые, за предел указанного диапазона не выходят, соответственно при скоростях от 11 (для $\Delta = 100$ т) – 13,5 (для $\Delta = 150$ т) до 25 узлов применение воздухоопорных гусениц с L/Vc малых значений предпочтительно.

Заключение

Проведенное математическое моделирование в зависимости от скорости, водоизмещения и относительной длины воздухоопорной гусеницы, с учетом избыточного давления в воздушной подушке, позволило выявить зависимости потребляемой мощности главного двигателя транспортного средства на воздухоопорных гусеницах в диапазоне абсолютных скоростей от 0 до 25 узлов. В дальнейшем планируется установить аналогичные зависимости от других конструктивных параметров, а также расширить диапазон скорости.

Список литературы

1. Азовцев А.И., Москаленко О.В. Крупномасштабная модель для исследования мореходности вездехода на воздухоопорных гусеницах // Транспортное дело России. 2015. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/krupnomasshtabnaya-model-dlya-issledovaniya-morehodnosti-vezdehoda-na-vozduhoopornyh-gusenitsah> (дата обращения: 28.04.2024).
2. Азовцев А.И., Огай С.А., Москаленко О.В. Метод DTNSRDC в прогнозировании мощности мореходного вездехода на воздухоопорных гусеницах грузоподъемностью 100 тонн на начальных стадиях проектирования/ Морские интеллектуальные технологии 3(37) Т.2 2017 С.88-92.
3. Азовцев А.И. Особенности и проблематика проектирования мореходных транспортных средств на воздухоопорных гусеницах: диссертация доктора технических наук : 05.08.03. - Владивосток, 1995.
4. Азовцев А.И., Огай С.А., Москаленко О.В. Прорыв в области внедорожного амфибийного транспорта // Наука и транспорт. Морской и речной транспорт. Транспорт Российской Федерации. 2011. С. 48-50.

5. Wilson R.A., Wales S.M., Khober Ch.E. The determining of power of hovercraft based on model test results (DTNSRDC). David W. Taylor Naval ship research and development center. USA.5. Bunch J. Rose D (Eds.) Sparse matrix computations. – New York – San Francisco –London: Akademik Press. 1976.
6. А.И. Азовцев, С.А. Огай, М.В. Войлошников, В.А. Петров, О.В. Москаленко. Амфибийные вездеходы на воздухоопорных гусеницах для освоения арктических шельфовых побережий. Морские интеллектуальные технологии, № 1, том 2, 2020 С. 33-43.
7. Азовцев А.И., Войлошников М.В. Амфибийный транспорт для реализации стратегии развития арктической зоны российской федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года/ Транспортное дело России. 2015. № 6. С. 245-246.
8. Азовцев А.И., Огай С.А., Карпушин И.С. Мореходные вездеходы для комплексного освоения шельфа и побережья стран АТР/ Asia-Pacific Journal of Marine Science & Education. 2012. Т. 2. № 1. С. 47-52.
9. Азовцев А.И., Огай С.А., Карпушин И.С. Облик мореходного вездехода на воздухоопорных гусеницах ограниченной грузоподъемности для арктического побережья/ Морские интеллектуальные технологии. 2022. № 4-1 (58). С. 46-51.
10. Азовцев А.И., Кулеш В.А., Огай А.С., Петров В.А. Развитие судов для условий грузовых операций на необорудованных берегах арктических и субарктических морей, Полярная механика. 2016. № 3. С. 450-460.

References

1. A.I. Azovtsev, O.V. Moskalenko. Large-scale model for research of seaworthiness of the allterrain vehicle on air-supported tracks// TRANSPORT BUSINESS IN RUSSIA, 2015, №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/krupnomasshtabnaya-model-dlya-issledovaniya-morehodnosti-vezdehoda-na-vozdhuoopornyh-gusenitsah> (date: 28.04.2024).
2. A.I. Azovtsev, S.A. Ogai, O.V. Moskalenko. The DTNSRDC method in forecasting at the initial projecting stages the capacity of a seaworthy all-terrain vehicle on air-supported tracks with carrying capacity of 100 tons/ Marine intellectual technologies 3(37) part.2 2017 p.88-92.
3. A.I. Azovtsev. Features and problems of designing seaworthy vehicles on air-supported tracks: dissertation of the Doctor of Technical Sciences: 05.08.03. - Vladivostok, 1995.
4. A.I. Azovtsev, S.A. Ogai, O.V. Moskalenko. A breakthrough in off-road amphibious transport // Since fnd transport. Sea and river transport. Transport of Russian Feeration. 2011. С. 48-50.
5. Wilson R.A., Wales S.M., Khober Ch.E. The determining of power of hovercraft based on model test results (DTNSRDC). David W. Taylor Naval ship research and development center. USA.5. Bunch J. Rose D (Eds.) Sparse matrix computations. – New York – San Francisco –London: Akademik Press. 1976.
6. A.I. Azovtsev, S.A. Ogai, M.V. Voyloshnikov, V.A. Petrov, O.V. Moskalenko. Amphibious all-terrain vehicles with the air-cushion caterpillars for the operation on the Arctic waterfronts, Marine intellectual technologies № 1, part 2, 2020 p. 33-43.
7. A.I. Azovtsev, M.V. Voyloshnikov. Amphibian transport for putting into practice the strategy of development of the arctic zone of the russian federation and for ensuring security for the period up to 2020/ TRANSPORT BUSINESS IN RUSSIA, 2015, №6.
8. Азовцев А.И., Огай С.А., Карпушин И.С. Мореходные вездеходы для комплексного освоения шельфа и побережья стран АТР/ Asia-Pacific Journal of Marine Science & Education. 2012. Т. 2. № 1. С. 47-52.
9. Anatoli I. Azovtsev, Sergey A. Ogai, Ivan S. Karpushin The layout seagoing all-terrain vehicle on air-cushion caterpillars a smaller cargo carrying capacity for arctic shore, Marine intellectual technologies № 4 part 1, 2022.
10. Azovtsev A., Kulesh V., Ogay A., Petrov V. Ship's Construction Development for Cargo Operations in Condition of the Unimproved Port Facilities in Arctic and Subarctic Coast. Polar Mechanics. № 3. 2016, Vladivostok, Russia, p. 450-460.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Панасенко Андрей Александрович, к.т.н., доцент, доцент кафедры эксплуатации автоматизированных судовых энергетических установок, МГУ им. адм. Г.И. Невельского, ул. Верхнепортовая, д. 50а, г. Владивосток, Россия, 690003, e-mail: AAPanasenko@msun.ru,

Andrey A. Panasenko, PhD in Engineering Science, Associate Professor of Ship's Power Plants Automation Department, Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoi. 690003, 50a, Verkhneportovaya St., Vladivostok, Russia. e-mail: AAPanasenko@msun.ru,

Петрашѐв Сергей Владимирович, к.т.н., доцент, профессор кафедры теории и устройства судна, МГУ им. адм. Г.И. Невельского, ул. Верхнепортовая, д. 50а, г. Владивосток, Россия, 690003. e-mail: petrashov@msun.ru

Sergey V. Petrashev, PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Theory and Vessel Construction Department, Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoi. 690003, 50a, Verkhneportovaya St., Vladivostok, Russia. e-mail: petrashov@msun.ru

Москаленко Олег Владимирович, аспирант кафедры судовых двигателей внутреннего сгорания, МГУ им. адм. Г.И. Невельского, e-mail: Oleg151080@yandex.ru

Oleg V. Moskalenko, postgraduate of Ship's Internal Combustion Engines Department, Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoi, e-mail: Oleg151080@yandex.ru

Фокин Роман Константинович, аспирант кафедры судовых двигателей внутреннего сгорания, МГУ им. адм. Г.И. Невельского, e-mail: fokin.99.roman@mail.ru

Roman K. Fokin, postgraduate of Ship's Internal Combustion Engines Department Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoi, e-mail: fokin.99.roman@mail.ru

Статья поступила в редакцию 17.06.2024; опубликована онлайн 20.09.2024.
Received 17.06.2024; published online 20.09.2024.