

УДК 629.124.791

Зуев Валерий Андреевич, д.т.н., профессор, зав. кафедрой
«Кораблестроение и авиационная техника» ФГБОУ ВО «НГТУ»,
e-mail: ship@nntu.ru

Калинина Надежда Викторовна, к.т.н., доцент кафедры
«Кораблестроение и авиационная техника» ФГБОУ ВО «НГТУ»,
e-mail: nvk5133@mail.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Нижегородский государственный технический
университет им. Р.Е. Алексеева» (ФГБОУ ВО «НГТУ»)
603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24.

Прокофьев Сергей Александрович, инженер АО КБ «Вымпел»,
e-mail: sergey.prokofev.18@mail.ru

Акционерное общество конструкторское бюро по проектированию
судов «Вымпел» (АО КБ «Вымпел»)
603104, г. Нижний Новгород, ул. Нартова, 6, кор. 6.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РОТОРНО-ВИНТОВОГО ДВИЖИТЕЛЯ ДЛЯ САМОХОДНОЙ ЛЕДОКОЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ

Ключевые слова: ледокольная платформа на воздушной подушке, роторно-винтовой движитель, поиск оптимального движителя, прокладка ледового канала, кривая ледопроеходимости, эффективность прокладки канала в сплошном льду.

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы продления навигации на морских и внутренних водных путях Российской Федерации. Для проведения ледокольных работ в портах необходим не только мощный ледокольный флот, но и другие вспомогательные средства. Целью работы является проектирование самоходной ледокольной платформы на воздушной подушке (ЛПВП) как эффективного технического средства для разрушения ледяного покрова, прокладки ледового канала, а также выбор универсального движителя, пригодного для движения по грунту со слабой несущей способностью, к которым относятся снег и лёд. Описаны архитектурно-конструктивный тип и основные характеристики ЛПВП. Предложен роторно-винтовой движитель (РВД), опускаемый с платформы посредством П-образного механизма. Приведены концепция выбора движительно-рулевого комплекса для ЛПВП, результаты 3D моделирования РВД и его параметры. Построены кривые ледопроеходимости платформы при движении с РВД, а также в сечении с ледоколом проекта 1108 «Капитан Измайлов» и буксиром проекта ПЕ65. Показано, что ЛПВП с РВД является более экономичной, чем любые другие транспортные средства для продления навигации на морских и внутренних водных путях, а также на мелководных участках арктического шельфа, где применение обычных ледоколов затруднительно.

Введение

Большинство морских и внутренних водных путей Российской Федерации длительное время покрыты льдом, что затрудняет их круглогодичное использование. В связи с этим большое внимание уделяется мероприятиям, направленным на продление навигации.

Для проведения ледокольных работ необходим не только мощный ледокольный флот, но и вспомогательные средства, обеспечивающие его эффективную работу, работу портов, гидротехнических сооружений, шлюзов, акваторий заводов [1]. Достаточно острой остается задача борьбы с ледовыми заторами и связанными с ними разрушительными

наводнениями. Добыча нефти и газа в северных районах и расширение работ на шельфе Арктических морей привели к поиску новых эффективных средств проводки судов и продления навигации [2].

Применение ледокольных платформ на воздушной подушке (ЛПВП) позволяет существенно расширить возможности ледокольных средств и решать задачи по увеличению объемов перевозок народно-хозяйственных грузов в северные районы [3]. Использование ЛПВП является эффективным техническим средством для разрушения ледяного покрова, прокладки ледового канала для прохода судов и вывода судов из «ледового плена». Такие платформы могут работать на мелководных участках, где ледоколы работать не могут. При этом снижаются энергетические и эксплуатационные расходы при выполнении ледокольных работ [4].

Технико-экономический анализ спроектированных ледокольных платформ на воздушной подушке показал [4], что применение состава из буксира с ледовыми усилениями и ЛПВП наиболее целесообразно как с технической, так и с экономической точки зрения.

Обеспечение автономной работы платформы в любых условиях без использования вспомогательных толкающих средств несомненно является преимуществом при эксплуатации ЛПВП. Поэтому наличие собственного двигателя обеспечит самоподвижность платформы, самостоятельный выход на необорудованный берег, расширяя тем самым диапазон решаемых задач. Но использование в этом случае воздушного винта не обеспечивает требуемой маневренности ЛПВП, особенно при движении в тяжелых ледовых условиях при наличии неровной торосистой поверхности [3], а также на низких скоростях движения коэффициент полезного действия (КПД) данного двигателя мал. Поэтому проектирование самоходной ледокольной платформы на воздушной подушке и поиск оптимального двигателя является актуальным.

1. Основные характеристики ледокольной платформы на воздушной подушке

В Нижегородском государственном техническом университете им. Р.Е. Алексева разработаны принципы проектирования ЛПВП, на основании которых можно определить их оптимальные с точки зрения разрушения льда элементы и характеристики при минимальных суммарных затратах [4]. Разработан ряд проектов самоходных платформ, в том числе имеются и построенные образцы проектов 102 ЛП и 107 ЛП.

С учетом многолетнего накопленного опыта [5] спроектирована самоходная ледокольная платформа на воздушной подушке.

Судно предназначено для:

- разрушения льда способом давления и продления навигации в акватории морского порта Санкт-Петербург;
- создания ледового канала шириной до 44,0 м в сплошном льду толщиной до 0,8 м при отрицательных температурах воздуха до -40 °С при проводке водоизмещающих судов;
- для перевозки крупногабаритных грузов, в том числе с судов, стоящих на рейде за 10...15 км от берега, до места складирования на берегу;
- транспортировки грузов от места складирования до пунктов назначения;
- доставки грузов на объекты в прибрежной морской зоне.

ЛПВП спроектирована применительно к классу Морского Регистра судоходства КМ ☉ ¹ R3 «Э» с обеспечением мореходных и эксплуатационных качеств. Автономность плавания по запасам топлива – трое суток. Экипаж – четыре человека. Архитектурно-конструктивный тип – самоходная однопалубная платформа на воздушной подушке амфибийного типа с гибким ограждением (ГО) по периметру

судна, с двумя надстройками по бортам, кормовой аппарелью для погрузки самоходной техники, стрелой в носовой части, приводимой в движение гидроприводом, для спуска и подъема движительного комплекса (рис. 1).

Основные характеристики ЛПВП:

- длина габаритная – 19,0 м;
- длина расчетная – 16,0 м;
- ширина расчетная – 44,0 м;
- высота борта – 2,9 м;
- высота гибкого ограждения – 1,45 м;
- мощность двигателя – 4×630 кВт;
- давление в воздушной подушке – 12,4 кПа;
- расход воздуха из ВП – $130 \text{ м}^3/\text{с}$;
- дедвейт – 98 т;
- полное водоизмещение 580 т при осадке 1,025 м (в водоизмещающем режиме).

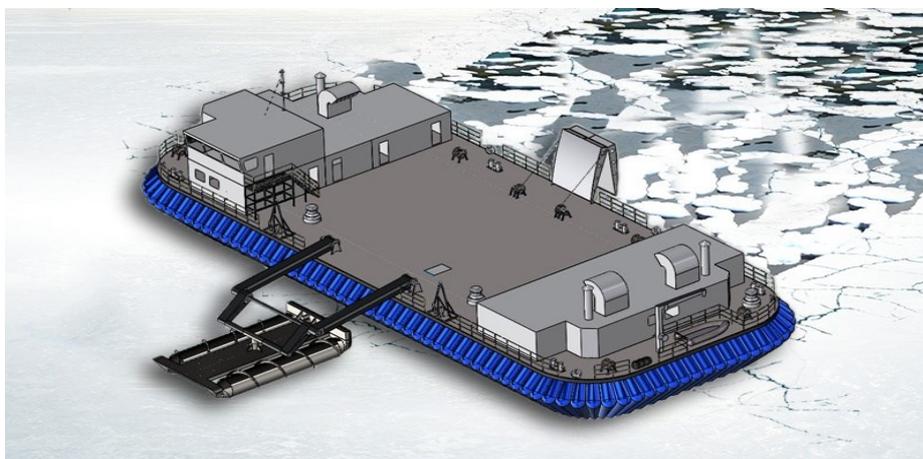


Рис. 1. Архитектурно-конструктивный тип ледокольной платформы на воздушной подушке

Характеристики энергетической установки:

- для привода нагнетателей: три дизеля MAN 12ЧН12,8/14,2 мощностью по 633 кВт с частотой вращения вала 1500 об/мин.;
 - для работы движительно-рулевого комплекса: дизель-электростанция Амперос АД 900-Т400 мощностью 2×900 кВт;
 - дизель-генератор ДГА-50-М2-ЭР (основной и аварийный) мощностью 2×50 кВт.
- В качестве движительно-рулевого комплекса (ДРК) использован роторно-винтовой движитель (РВД).

2. Концепция выбора движительно-рулевого комплекса

Одним из наиболее перспективных движителей для вездеходных машин-амфибий является роторно-винтовой движитель [6]. Обладая относительно простой конструкцией, движитель обеспечивает высокую проходимость транспортного средства на заснеженных и обледенелых поверхностях, заболоченных грунтах и воде [7, 8].

Исследования [9] показали высокие тяговые и экономические качества РВД. Их универсальность состоит в том, что они сочетают в себе качества гидравлического и сухопутного движителей, могут с достаточной эффективностью работать на сильно переувлажненных грунтах, снегу, льду, воде [10]. Используют РВД на машинах

различного назначения: дорожно-строительных, сельскохозяйственных, военных. Принцип движения транспортных средств с РВД имеет много достоинств, и можно считать, что машины с РВД являются универсальным средством передвижения в труднопроходимых районах [11].

Водные испытания роторно-винтовых машин показали, что они обладают более высокими ходовыми качествами, чем гусеничные и колесные плавающие машины [7]. В частности, для достижения большей скорости на гусеничных и колесных плавающих вездеходах приходится ставить специальные гидравлические движители – гребной винт или водомет, что связано с увеличением приводных мощностей, увеличением массы, конструктивными трудностями. Для амфибий, выбирая соответствующие параметры РВД, можно добиться нужных ходовых качеств машины на воде [7].

Редкое использование роторно-винтового движителя связано с некоторыми недостатками и особенностями его применения, а также с невозможностью изменения конструктивных параметров движителя в процессе движения [9].

Анализ эксплуатации различных типов движителей показал, что целесообразно использовать роторно-винтовой движитель для самоходной ледокольной платформы, который совмещает в себе свойства гидравлического и сухопутного движителя и является универсальным при движении по грунту со слабой несущей способностью, к которым относятся снег и лёд.

3. Принцип движения ЛПВП с роторно-винтовым движителем

На ЛПВП предусмотрен роторно-винтовой движитель (рис. 2), состоящий из двух шнеков, смонтированных в одном корпусе и приводимых во вращение приводом. РВД поднимается и опускается посредством П-образного механизма с платформы.

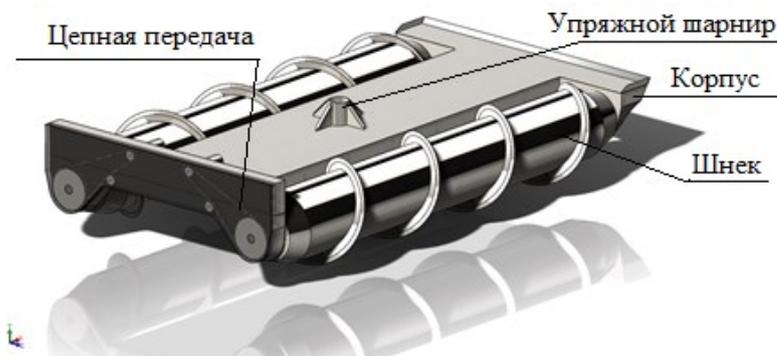


Рис. 2. Модель движительно-рулевого комплекса

Движение судна 1 осуществляется следующим образом (рис. 3). Конструкция движителя, состоящая из корпуса 2 и двух роторно-винтовых шнеков 3, опускается с ЛПВП 1 при помощи спускоподъемного устройства 4, для крепления которого предусмотрен упряжной шарнир в центре корпуса движителя (рис. 2), приводимого в движение поворотным гидродвигателем 5. При опущенной стреле шнеки совершают вращательное движение от двух гидромоторов 6. Передача вращающего момента от гидромоторов 6 к шнекам 3 осуществляется посредством цепной передачи.

Движитель контактирует с опорной поверхностью 7, обеспечивая тяговое усилие. ЛПВП давлением воздуха в воздушной подушке вытесняет из-под льда воду, создавая тем самым воздушную полость 8, за счет которой равновесие ледяного покрова нарушается, и происходит разрушение под действием собственных сил

тяжести. Судно перемещается вперед, оставляя за собой канал с обломками битого льда 9.

При перемещении платформы по чистой воде роторно-винтовой движитель обеспечивает тяговое усилие, заменяя толкающее судно, а также позволяет двигаться платформе в условиях мелководья и выходить на берег, расширяя, таким образом, диапазон использования и обеспечивая амфибийность.

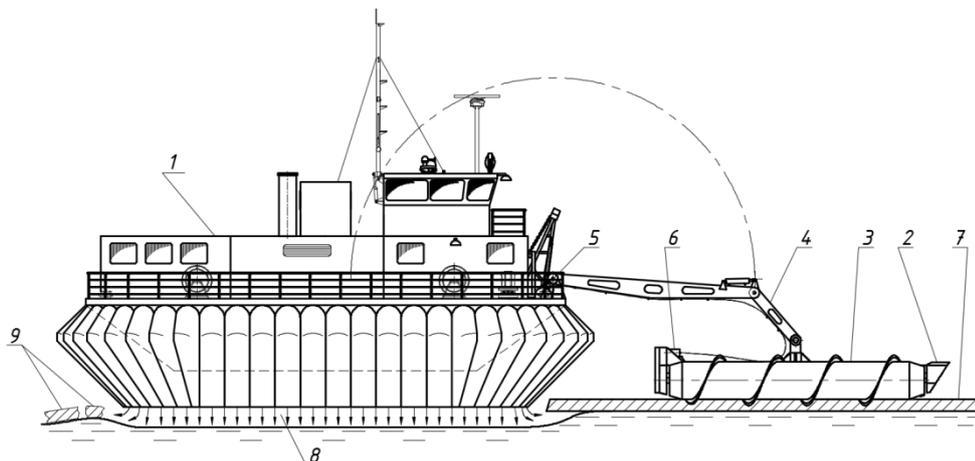


Рис. 3. Схема движения ЛППВ с роторно-винтовым движителем

4. Основные параметры роторно-винтового движителя

При проектировании роторно-винтового движителя был использован существующий подход [12].

Модель роторно-винтового движителя выполнена в САПР SolidWorks и приведена на рис. 3.

Выбор основных элементов РВД выполнен по методике А.П. Куляшова [7, 13], а расчеты прочности по алгоритму Г.Б. Крыжевича [14, 15].

Шнеки (рис. 4) представляют собой полые цилиндры с навитыми лопастями. Подобная конструкция придает необходимую плавучесть. Для повышения плавучести цилиндры заполняются пенопластом или вспененным полиуретаном.



Рис. 4. Модель шнека

Основные параметры шнеков (рис. 5):

- длина цилиндра $L = 9,0$ м;
- диаметр цилиндра $d = 1,5$ м;
- угол подъема винтовой линии $\beta = 20^\circ$;
- высота лопасти $h = 0,25$ м;

- шаг винтовой лопасти $t = 2\pi R \tan \beta = 2,29$ м;
- наружный радиус шнека $R = d/2 + h = 1$ м;
- нагрузка на движитель G ;
- сила сопротивления движению $P_f = 175$ кН;
- величина тягового усилия P_k .

Материал шнека: низколегированная сталь 10ХСНД с пределом текучести 400 МПа. Материал корпуса движителя – сталь категории D с пределом текучести 235 МПа. Прочность шнеков обеспечена.

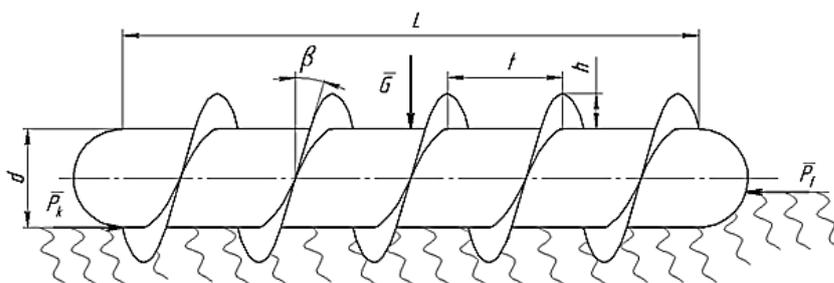


Рис. 5. Основные параметры шнека

5. Ходовые качества ЛПВП с РВД

Расчет ходовых качеств движителя выполнен с использованием 3D пакета САПР SolidWorks с дополнением Motion Analysis.

При выполнении расчетов приняты следующие допущения:

- принцип движения роторно-винтового движителя представляем в виде винта в неподвижной гайке;
- роторно-винтовой движитель представляет собой винт, резьба (винтовая лопасть) которого намотана на полый цилиндр;
- в качестве гайки в этом случае служит опорная поверхность – ледяная пластина, по которой происходит движение.

Величина охвата грунтом (льдом и снегом) движителя зависит от погружения его в опорную поверхность, а погружение, в свою очередь, определяется свойствами грунта – в основном сопротивляемостью его вертикальному сжатию. Горизонтальное перемещение движителя при движении по грунту не равно величине шага за один оборот в отличие от винта в жесткой металлической гайке [6].

Опорная поверхность (лёд и снег), под действием роторно-винтового движителя деформируется – сминается и сдвигается. Величина этой деформации грунта зависит от сопротивления его горизонтальному смятию и сдвигу. Таким образом, чем больше горизонтальная деформация грунта, тем меньше перемещение движителя вперед за один его оборот, присутствует буксование или скольжение [6].

Учет сопротивления движению в расчетах был задан при помощи постоянной действующей силы P_f , равной 175 кН на каждый шнек и направленной против движения (рис. 5). Мощность на ведущем валу одного шнека 560 кВт, частота вращения 375 об/мин, вращающий момент 15,0 кНм.

Тяга T и кривые сопротивления R самоходной ЛПВП, выполненные по методике [16], в зависимости от толщины преодолеваемого льда h и скорости движения v представлены на рис. 5.

6. Техничко-экономическая эффективность ЛПВП

Для оценки технико-экономических показателей ЛПВП с РВД были выполнены расчеты ледопроходимости, показателей экономической и технической

эффективности для трех вариантов движения ледокольной платформы на воздушной подушке:

- самоходной ЛПВП с РВД;
- состав ЛПВП и ледокол проекта 1108 «Капитан Измайлов»;
- состав ЛПВП и буксир проекта ПЕ65.

Основные характеристики толкающих платформ судов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные характеристики судов, толкающих ЛПВП

Характеристики	Ледокол проекта 1108 «Капитан Измайлов»	Буксир проекта ПЕ65
Класс Морского Регистра	КМ ⚙ ЛЛ4 [1] R1 AUT1	КМ ⚙ Arc 4 R1 AUT1 FF3 Escort Tug
Длина по КВЛ, м	53,98	33,5
Ширина, м	16,03	12,1
Осадка по КВЛ, м	4,2	5,2
Водоизмещение, т	2047	-
Мощность, кВт	2500	2×1840
Скорость на чистой воде, уз.	13	13,5
Тяга на швартовах, кН	364	650
Ледопроездимость, м	0,6	0,8

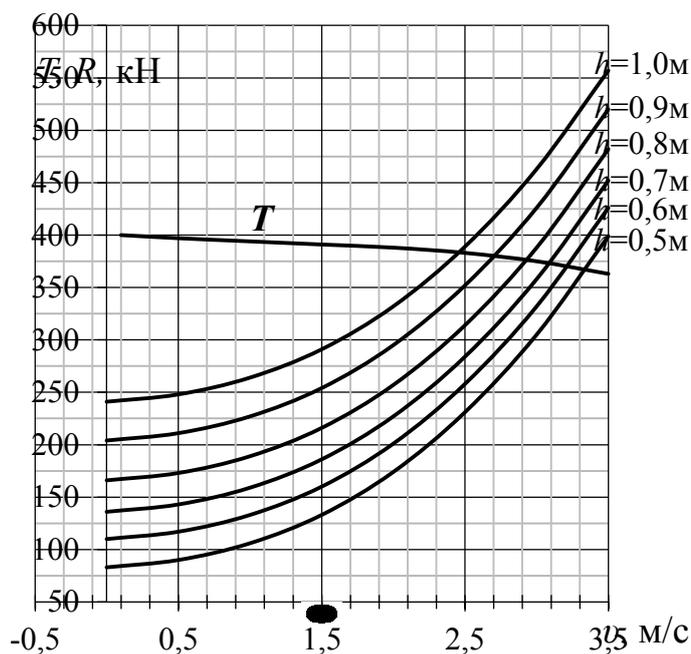


Рис. 5. Кривые сопротивления самоходной ЛПВП и тяги РВД

Диаграммы ледопроездимости приведены на рис. 6, показатели технической и экономической эффективности ЛПВП – на рис. 7 и 8.

При разрушении расчетной толщины льда $h = 0,8$ м со скоростью $v=3,0$ м/с, сопротивление ЛПВП составляет $R_{лпвп}=350$ кН.

Показатель экономической эффективности K_e , руб/м³, характеризует денежные затраты на разрушение и прокладку 1 м³ ледового канала.

Показатель технической эффективности K_T , кДж/м³, показывает затраты энергии на разрушение 1 м³ льда.

Из анализа рис. 6, 7, 8 видно, что применение роторно-винтового движителя в составе с ЛПВП в ледовых операциях является наиболее эффективным как с технических, так и с экономических позиций, что в свою очередь доказывает целесообразность и перспективность использования РВД на ледокольных платформах на воздушной подушке.

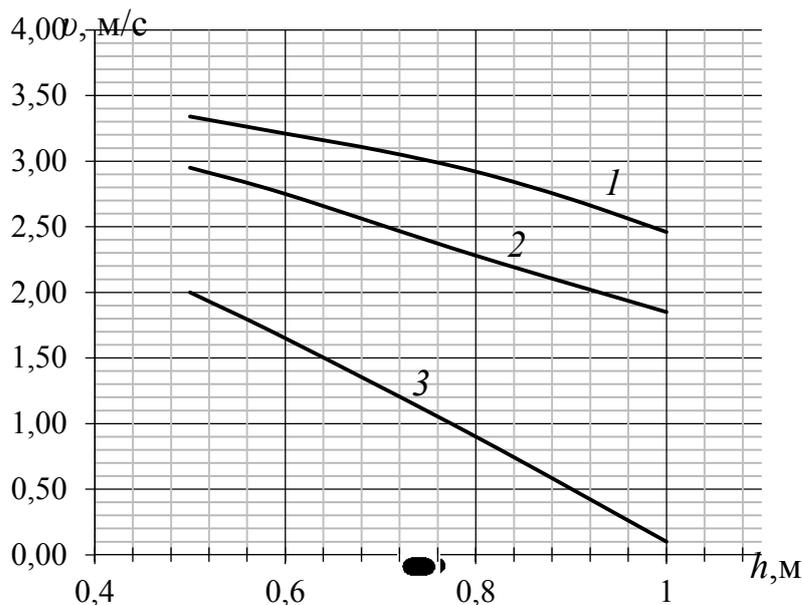


Рис. 6. Диаграммы ледопроеходимости:
 1 – ЛПВП с РВД; 2 – состав ЛПВП и буксир проекта ПЕ65;
 3 – состав ЛПВП и ледокол «Капитан Измайлов»

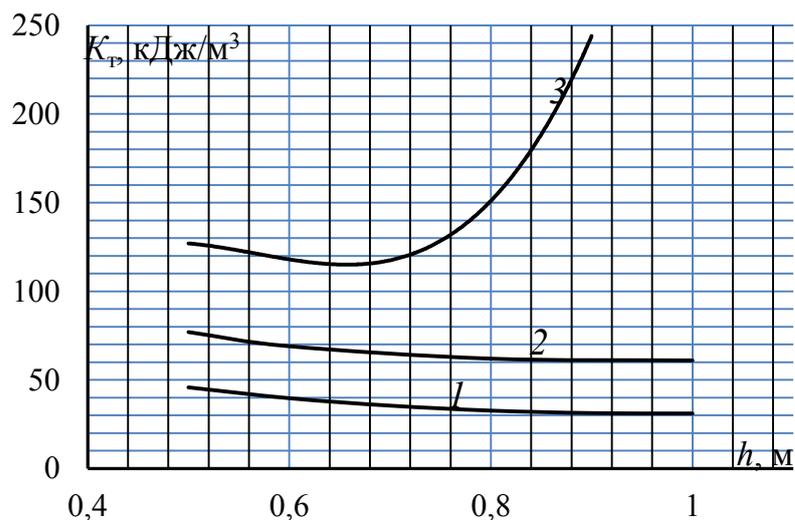


Рис. 7. Техническая эффективность прокладки ледового канала:

- 1 – ЛПВП с РВД; 2 – состав ЛПВП и буксир проекта ПЕ65;
3 – состав ЛПВП и ледокол «Капитан Измайлов»

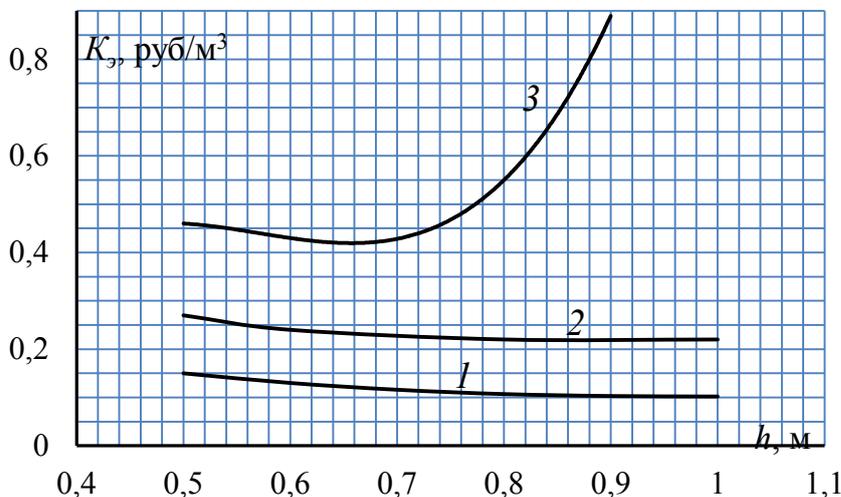


Рис. 8. Экономическая эффективность прокладки ледового канала:

- 1 – ЛПВП с РВД; 2 – состав ЛПВП и буксир проекта ПЕ65;
3 – состав ЛПВП и ледокол «Капитан Измайлов»

Заключение

Благодаря своим уникальным свойствам ЛПВП с РВД оказывается более экономичной, чем любые другие транспортные средства. Она позволяет успешно продлять навигацию на морских и внутренних водных путях в период ледохода или ледостава, а также на мелководных участках арктического шельфа, где применение обычных ледоколов затруднительно.

Работа выполнена при поддержке Федерального центра фундаментальных научных исследований, № проекта 19-08-00820.

Список литературы:

- [1] Ионов Б.П., Грамузов Е.М. Ледовая ходкость судов.: -СПб.: Судостроение, 2001. – 512 с.
[2] Козин В.М., Земляк В.Л., Радионов С.В., Ипатов К.И. Повышение эффективности разрушения льда резонансным методом судном на воздушной подушке в различных ледовых условиях // Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема. 2019. № 1 (34). С. 52–59.
[3] Козин В.М. Зависимость проходимости СВП над затороженными участками ледяного покрова от разрушаемой резонансным методом его предельной толщины // Морские интеллектуальные технологии. 2019. № 2-2 (44). С. 16-20.
[4] Зуев В.А. Средства продления навигации на внутренних водных путях. – Л.: Судостроение, 1986. – 208 с.
[5] Демешко Г.Ф. Проектирование судов. Амфибийные суда на воздушной подушке. Т.1. СПб.: Судостроение, 1992. – 329 с.
[6] Куляшов А.П., Шапкин В.А., Кошурина А.А., Крашенинников М.С. Актуальность создания универсального спасательного средства с роторно-винтовым двигателем // Сборник научных статей «Проблемы транспортных и технологических комплексов» III Международной научно-технической конференции, посвященной 40-летию кафедры «Строительные и дорожные машины» НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2012. С. 161–164.

- [7] Николаев А.Ф., Куляшов А.П. Роторно-винтовые амфибии. – Горький: Волго-Вятское кн. изд-во, 1973. – 47 с.
- [8] Снегоходные машины / Л.В. Барахтанов [и др.]. – Горький: Волго-Вятское кн. изд-во, 1986. – 191 с.
- [9] Котович С.В. Двигатели специальных транспортных средств. Часть I: Учебное пособие / МАДИ (ГТУ). – М., 2008 – 161 с.
- [10] Krashennnikov M., Kulashov A., Shapkin V., Koshurina A. The concept and methodology of creating the universal life-saver with rotary-screw mover // Lecture Notes in Electrical Engineering, №7, 2013. Т. 195 LNEE. С. 477-490.
- [11] Куляшов А.П., Колотилин В.Е. Экологичность двигателей транспортно-технологических машин. – М.: Машиностроение, 1993. – 228 с.
- [12] Вахидов У.Ш., Согин А.В., Шапкин В.А., Шапкина Ю.В., Липин А.А. Автоматизированный подход к проектированию транспортно-технологических машин с роторно-винтовым двигателем // Транспортные системы, № 1, 2016. С. 17–23.
- [13] Карасева С.А. Расчет основных параметров двигателя шнекороторной амфибии // Электронный научный журнал «Автомобиль. Дорога. Инфраструктура», № 2(2), декабрь 2014. https://www.adi-madi.ru/madi/article/viewFile/88/pdf_34
- [14] Крыжевич Г.Б. Прочность и конструирование шнекового двигателя амфибийного транспортного средства // Судостроение №3, 2001. С. 9–11.
- [15] Koshurina A.A., Krashennnikov M.S., Dorofeev R.A. Strength calculation and analysis of equalizer beam embodiments for the operated equalizing beam suspension of the universal rotor-screw rescue vehicle for the arctic // Procedia Engineering, 2016. С. 1263–1269.
- [16] Зуев В.А., Москвичева Ю.А. Прогнозирование сопротивления окружающей среды при проектировании ледокольных платформ на воздушной подушке. Судостроение №4, СПб, 2017. С. 11–13.

USE OF A ROTARY-SCREW PROPULSION UNIT FOR A SELF-PROPELLED HOVERCRAFT ICE-BREAKING PLATFORM

Zuev Valeriy A., Doctor of technical sciences, Professor, Head of Department
«Shipbuilding and aircraft engineering»

Nizhny Novgorod State Technical University, named after R.E. Alekseyev,
Kalinina Nadezhda V., Candidate of technical sciences, associate professor
of the department «Shipbuilding and aircraft engineering»

Nizhny Novgorod State Technical University, named after R.E. Alekseyev,
24, Minin st., Nizhny Novgorod, 603950

Prokofev Sergey A., engineer of Joint-stock company design office
for shipbuilding «Vympel» (JSC DO «Vympel»),
6, buil. 6., Nartov st., Nizhny Novgorod, 603104

Key words: hovercraft ice-breaking platform, rotary-screw propulsion unit, search for the optimal propulsion unit, ice channel laying, ice penetration curve, channel laying efficiency in solid ice.

Annotation. The article considers the extension of navigation on the sea and inland waterways of the Russian Federation. To conduct icebreaking operations in ports, not only a powerful icebreaking fleet, but also other auxiliary means are needed. The aim of the work is to the design of a self-propelled hovercraft icebreaker platform as an effective technical means for the ice cover breaking, the ice channel laying, as well as the choice of an universal propulsion system for movement on the ground with a weak load-bearing capacity, which includes snow and ice. The architectural and structural type and main characteristics of the platform are described. Rotary-screw propulsion unit, which is lowered from the platform by means of a portal mechanism, is proposed. The concept of the choice of propulsion and steering complex for the ship, the results of 3D modeling of rotary-screw propulsion unit and its parameters are given. The curves of icebreaking capability of the platform with a rotary-

screw propulsion unit, in combination with the icebreaker of project 1108 «Captain Izmailov» and in combination with the tug of project PE65 are constructed. It is shown that hovercraft icebreaking platform with rotary-screw propulsion unit is more economical than any other transport means for the navigation extension on sea and inland waterways in winter, in shallow areas of the Arctic shelf, where the use of ordinary icebreakers is difficult.

References:

- [1] Ionov B.P., Gramuzov E.M. Ledovaja hodkost' sudna.: -SPb.: Sudostroenie, 2001. – 512 s.
- [2] Kozin V.M., Zemljak V.L., Radionov S.V., Ipatov K.I. Povyshenie jeffektivnosti razrushenija l'da rezonansnym metodom sudnom na vozduhnoj podushke v razlichnyh ledovyh uslovijah // Vestnik Priamurskogo gosudarstvennogo universiteta im. Sholom-Alejhema. 2019. № 1 (34). S. 52-59.
- [3] Kozin V.M. Zavisimost' prohodimosti SVP nad zatoroshennymi uchastkami ledjanogo pokrova ot razrushaemoj rezonansnym metodom ego predel'noj tolshhiny // Morskie intellektual'nye tehnologii. 2019. № 2-2 (44). S. 16-20.
- [4] Zuev V.A. Sredstva prodlenija navigacii na vnutrennih vodnyh putjah. – L.: Sudostroenie, 1986. – 208 s.
- [5] Demeshko G.F. Proektirovanie sudov. Amfibijnye suda na vozduhnoj podushke. T.1. SPb.: Sudostroenie, 1992. – 329 s.
- [6] Kuljashov A.P., Shapkin V.A., Koshurina A.A., Krashennnikov M.S. Aktual'nost' sozdaniya universal'nogo spasatel'nogo sredstva s rotorno-vintovym dvizhitelem // Sbornik nauchnyh statej «Problemy transportnyh i tehnologicheskikh kompleksov» III Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoi konferencii, posvjashhennoj 40-letiju kafedry «Stroitel'nye i dorozhnye mashiny» NGTU im. R.E. Alekseeva, 2012. S. 161-164.
- [7] Nikolaev A.F., Kuljashov A.P. Rotorno-vintovye amfibii. – Gor'kij: Volgo-Vjatskoe kn. izd-vo, 1973 – 47 s.
- [8] Snegohodnye mashiny / L.V. Barantanov [i dr.]. – Gor'kij: Volgo-Vjatskoe kn. izd-vo, 1986. – 191 s.
- [9] Kotovich S.V. Dvizhiteli special'nyh transportnyh sredstv. Chast' I: Uchebnoe posobie / MADI (GTU). – M., 2008 – 161 s.
- [10] Krashennnikov M., Kulashov A., Shapkin V., Koshurina A. **The concept and methodology of creating the universal life-saver with rotary-screw mover // Lecture Notes in Electrical Engineering, №7, 2013. T. 195 LNEE. C. 477-490.**
- [11] Kuljashov A.P., Kolotilin V.E. Jekologichnost' dvizhitelej transportno-tehnologicheskikh mashin. – M.: Mashinostroenie, 1993 – 228 s.
- [12] Vahidov U.Sh., Sogin A.V., Shapkin V.A., Shapkina Ju.V., Lipin A.A. Avtomatizirovannyj podhod k proektirovaniju transportno-tehnologicheskikh mashin s rotorno-vintovym dvizhitelem // Transportnye sistemy, № 1, 2016. S. 17-23.
- [13] Karaseva S.A. Raschet osnovnyh parametrov dvizhitelja shnekorotornoj amfibii // Jelektronnyj nauchnyj zhurnal «Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura», № 2(2), dekabr' 2014. https://www.adimadi.ru/madi/article/viewFile/88/pdf_34
- [14] Kryzhevich G.B. Prochnost' i konstruirovanie shnekovogo dvizhitelja amfibijnogo transportnogo sredstva // Sudostroenie №3, 2001. S.9-11.
- [15] Koshurina A.A., Krashennnikov M.S., Dorofeev R.A. **Strength calculation and analysis of equalizer beam embodiments for the operated equalizing beam suspension of the universal rotor-screw rescue vehicle for the arctic // Procedia Engineering, 2016. C. 1263-1269.**
- [16] Zuev V.A., Moskvicheva Ju.A. Prognozirovanie soprotivlenija okruzhajushhej sredy pri proektirovanii ledokol'nyh platform na vozduhnoj podushke. Sudostroenie №4, SPb, 2017. S. 11 – 13.

Статья поступила в редакцию 07.11.2019 г.

