

УДК 629.1.039

РАСЧЕТ И ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ АМФИБИЙНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЫ С АЭРОДИНАМИЧЕСКИМ ДВИЖИТЕЛЕМ

Соколов Г.М., Киркин С.Ф., Коротков П.А.

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Йошкар-Ола, Россия (424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 3), e-mail: sokol_g_m@bk.ru

Проведен анализ режимов движения амфибийной транспортной машины с аэродинамическим движителем. Установлено, что процесс выхода груженой машины из воды на лед является наиболее сложным эксплуатационным режимом, определяющим основные характеристики движительной установки машины – мощность двигателя и величину максимального тягового усилия воздушного винта. Построена математическая модель процесса выхода машины в груженом состоянии из воды на лед, позволяющая оптимизировать рабочие параметры амфибии, определяющие ее топливно-энергетическую экономичность. Рассчитаны основные рабочие параметры амфибийной транспортной машины «Каспий-2» при выходе из воды на лед. Установлено, что рабочие параметры амфибии «Каспий-2» не являются оптимальными. Основные резервы по улучшению ее рабочих характеристик содержатся в оптимизации продольного профиля корпуса машины, расположения центра тяжести в сочетании с весовыми характеристиками, высоты крепления винта и рядом других факторов.

Ключевые слова: амфибии, вездеходы, аэроглиссеры, аэробоуы, аэродинамический движитель.

CALCULATION AND PERFORMANCE OPTIMIZATION AMPHIBIOUS TRANSPORT CARS WITH AERODYNAMIC PROPULSORS

Sokolov G.M., Kirkin S.F., Korotkov P.A.

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia (424000, Republic of Mari El, Yoshkar-Ola, pl. Lenina, 3), e-mail: sokol_g_m@bk.ru

The analysis of the motion modes of an amphibious vehicle with an aerodynamic propulsion device has been carried out. It has been established that the process when a loaded vehicle climbs from water onto ice is the most complex operational mode, which determines the key characteristics of the propulsion device – engine power and the maximum value of the tractive effort of a propeller. A mathematical model, describing the process when a loaded vehicle comes out of water onto ice, has been developed. The model enables optimization of the operating parameters of the amphibian which determine its fuel and energy efficiency. The key operating parameters of the amphibious vehicle Caspiy-2, climbing from water onto ice, have been calculated. It has been established that the operating parameters are not optimal. The main ways of improvement of the key performance characteristics are optimization of the longitudinal profile of the vehicle body, the position of the centre of gravity along with the weight characteristics, the propeller mounting height and a number of other factors.

Key words: amphibious ATV, airboat, aerodynamic propeller.

Введение

Поволжский государственный технологический университет по заказам ряда промышленных организаций, связанных с выполнением транспортных и транспортно-технологических работ в районах со слаборазвитой дорожной сетью (предприятия нефтяной и газовой промышленности, энергетики, рыбного хозяйства и др.) проводит работы по созданию экологически безопасных амфибийных транспортных машин, способных круглогодично эксплуатироваться в условиях бездорожья.

За последние годы в университете по заказам рыбопромышленных предприятий каспийского бассейна был разработан, изготовлен и испытан ряд моделей амфибийных машин с аэродинамическими движителями типа «Каспий». Эти машины предназначены для выполнения грузопассажирских перевозок в зимнее время на Северном Каспии и могут быть

также использованы на других замерзающих внутренних водоемах, реках, прибрежных участках морей (Белом море, озере Байкал и др.). Одна из таких моделей – транспортная амфибия с аэродинамическим двигателем «Каспий-2» была принята к серийному производству, изготавливалась в объеме установочных серий и эксплуатировалась при подледном лове рыбы и промысле тюленей на Северном Каспии.

В зимний период поверхность этого моря покрыта непрочным льдом, имеющим значительное количество трещин и промоин, характеризуется большими участками битого льда с водой и участками открытой воды, мелководьем. В таких условиях ни один из традиционных наземных или водных видов транспорта работать не может. Указанные чрезвычайно сложные условия эксплуатации обусловили большую техническую сложность создания амфибии «Каспий-2».

Цель исследования

Оптимизация рабочих параметров амфибийной транспортной машины с аэродинамическим двигателем «Каспий-2», обеспечивающих минимальные энергозатраты при эксплуатации в наиболее сложном режиме движения – выходе полностью груженой машины на лед.

Материал и методы исследования

Одним из самых характерных и наиболее сложных режимов движения амфибии «Каспий-2» является ее выход в груженом состоянии из воды на лед (рис. 1). Этим режимом фактически определяются основные характеристики аэродинамического двигателя амфибии – установленная мощность двигателя и величина максимального тягового усилия, развиваемого воздушным винтом. От указанных параметров напрямую зависит топливно-энергетическая экономичность машины.



Рис. 1. Выход амфибии «Каспий-2» из воды на лед в условиях Северного Каспия.

Характер режима выхода амфибии из воды на лед определяется рядом факторов, среди которых можно выделить следующие.

1. Постоянные факторы: вес машины, положение ее центра тяжести и тягового винта, мощность двигателя, форма контура продольного профиля и др.
2. Случайные факторы: высота ступеньки и состояние льда, величина и направление вектора скорости машины при подходе к ступеньке, погодные условия (скорость и направление ветра, высота и направление волн, температура воздуха и состояние льда), скорость движения амфибии и угол тангажа при подходе к кромке льда и др.

Многообразие указанных факторов обусловило введение следующих допущений.

1. Направление вектора скорости амфибии перпендикулярно к кромке льда.
2. Движение амфибии происходит в безветренную погоду;
3. Амфибия имеет общую вертикальную продольную плоскость геометрической и массовой симметрии, совпадающую с направлением движения.
4. Упругие деформации тела амфибии и кромки льда винта пренебрежимо малы.
5. Влияние гироскопического момента воздушного винта пренебрежимо мало.
6. Сила сопротивления скольжению в точке контакта с кромкой льда пропорциональна силе нормального давления.

Согласно этим допущениям считаем движение амфибии плоским, параллельным вертикальной продольной плоскости его геометрической и массовой симметрии.

Расчетная схема процесса выхода амфибии на лед представлена на рисунке 2.

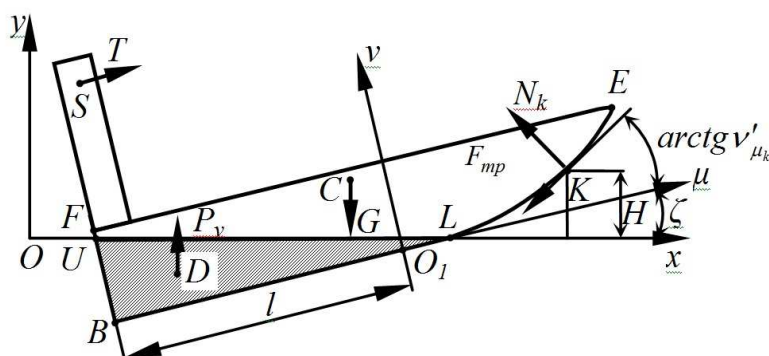


Рис. 2. Расчетная схема процесса выхода амфибии на лед.

Силы, действующие на амфибию: сила тяжести $G = mg$ (приложена в центре масс C), где m – масса амфибии, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; сила тяги винта T (приложена в точке S); нормальная реакция N_K (приложена в точке K); сила трения $F_{mp} = fN_K$, где f – коэффициент трения скольжения; выталкивающая сила $P_v = \gamma V_{погр}$, где: γ – удельный вес воды, $V_{погр} = F_{погр} b$ – объем погруженной части амфибии, $F_{погр}$ – площадь погружения, $b = \text{const}$ – ширина корпуса амфибии.

Дифференциальные уравнения движения имеют вид:

$$\begin{aligned}
m\ddot{x}_C &= T \cos \zeta - N_K \sqrt{1+f^2} \sin(\zeta+\theta), \\
m\ddot{y}_C &= T \sin \zeta - G + P_v + N_K \sqrt{1+f^2} \cos(\zeta+\theta), \\
J_C \ddot{\zeta} &= -T(v_S - v_C) + N_K [(\mu_K - \mu_C)(1 - f v'_{\mu k}) + (v_K - v_C)(v'_{\mu k} + f)] \cdot \\
&\cdot (1 + v'^2_{\mu k})^{-0.5} - P_v [(\mu_C - \mu_D) \cos \zeta + (v_C - v_D) \sin \zeta],
\end{aligned} \tag{1}$$

где угол $\theta = \arctg v'_{\mu k} + \arctg f$.

Наиболее трудным режимом представляется преодоление препятствия без начальной скорости, когда корпус амфибии проходит через ряд последовательных положений статического равновесия. Такой подход обеспечивает запас в результатах расчета, так как из-за начальной скорости машина обладает кинетической энергией, что облегчает преодоление ступеньки. Для этого случая система уравнений (1) сводится к трансцендентному уравнению (2) относительно угла ζ .

$$\begin{aligned}
& - \frac{(G - P_v) \sin(\zeta + \theta)}{\cos \theta} (v_S - v_C) + \frac{(G - P_v) \cos \zeta}{\sqrt{1+f^2} \cos \theta} \cdot \\
& \cdot [(\mu_K - \mu_C)(1 - f v'_{\mu k}) + (v_K - v_C)(v'_{\mu k} + f)] (1 + v'^2_{\mu k})^{-0.5} - \\
& - P_v [(\mu_C - \mu_D) \cos \zeta + (v_C - v_D) \sin \zeta] = 0,
\end{aligned} \tag{2}$$

где выталкивающая сила $P_v = \gamma b \int_{\mu_U}^{\mu_L} [-\mu t g \zeta - \frac{y_D}{\cos \zeta} - v_H(\mu)] d\mu$.

В качестве основных критериев проходимости амфибии были приняты следующие.

1. Максимальное значение силы тяги T_{\max} , необходимое в процессе выхода из воды на лёд.
2. Работа силы тяги, необходимая для преодоления ступеньки.

Развиваемая сила тяги $T_{\text{аа}}$ определяется мощностью двигателя, размерами, скоростью вращения и характеристиками аэродинамического движителя. Для преодоления ступеньки должно выполняться неравенство $T_{\text{аа}} \geq T_{\max}$.

Работа, необходимая для выхода на лед, определяется соотношением:

$$A_{\text{од}} = - \int_{\zeta_0}^{\zeta_1} T(v_S - v_K) d\zeta - \int_{\mu_{k0}}^{\mu_{k1}} T d\mu_K.$$

Значение работы, совершаемой силой тяги, должна превышать значение работы, требуемой для преодоления ступеньки $A_{\text{аа}} \geq A_{\text{од}}$.

Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим случай преодоления амфибией ступеньки льда при следующих исходных данных: масса амфибии $m = 500 \text{ кг}$, длина $l = 2 \text{ м}$, ширина $b = 1,2 \text{ м}$, координаты точек $\mu_C = -0,795 \text{ м}$, $v_C = 0,5 \text{ м}$; $\mu_S = -2,0 \text{ м}$, $v_S = 1,5 \text{ м}$; $\mu_E = 1,5 \text{ м}$, $v_E = 0,5 \text{ м}$; высота ступеньки

льда $H = 0,1 м$; уравнение контура на первом участке прямая RE , на втором участке $v = f_2(\mu) = 1 - \sqrt{1 - \mu^2}$ (окружность радиуса $R = 1 м$).

Результаты расчета представлены на рисунке 3.

Обращает на себя внимание, что сила тяги, необходимая для преодоления ступеньки, имеет резко выраженный скачкообразный характер, а остальные величины, за исключением работы выхода, также не отличаются плавностью изменения. Поэтому исследования проводились в направлении сглаживания этих зависимостей.

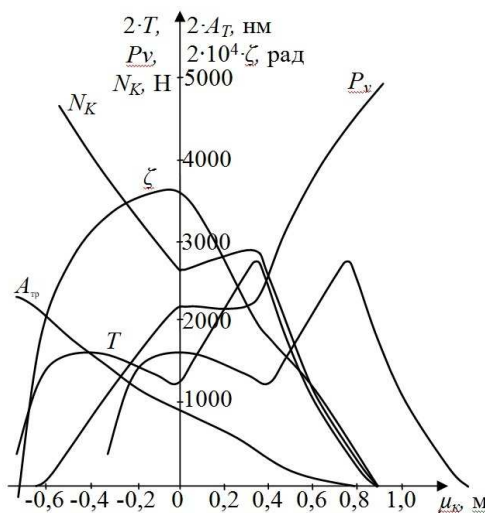


Рис. 3. Графики зависимостей сил – T, N_K, P_v , угла тангажа ζ и работы $A_{\text{в}}$ от положения точки K на корпусе амфибии.

На стадии проектирования и экспериментальной доработки велись также поиски оптимального продольного профиля конструкции амфибии, отрабатывались другие конструктивные параметры. В результате удалось добиться плавного изменения требуемой силы тяги и уменьшить ее максимальное значение в 1,67 раза. Было достигнуто «сглаживание» остальных кривых.

Выводы

1. Проведенные расчеты показали, что рабочие характеристики и параметры амфибийной транспортной машины с аэродинамическим движителем «Каспий-2» в отношении к наиболее сложному режиму эксплуатации – процессу выхода из воды на лед – не являются оптимальными.
2. Обращает на себя внимание наличие ярко выраженного (пикообразного) экстремума на графике силы T , необходимой для обеспечения преодоления препятствия в виде ступеньки льда (рис. 3).
3. Оптимальным вариантом направления дальнейших исследований является проведение исследований по совершенствованию конструкции амфибийной транспортной машины с

аэродинамическим двигателем «Каспий-2», цель которых состоит в «сглаживании» имеющегося «пика» за счет изменения параметров, определяющих значения силы T .

4. Основные резервы по улучшению рабочих характеристик и параметров амфибийной транспортной машины с аэродинамическим двигателем «Каспий-2» следует искать в направлении оптимизации продольного профиля корпуса машины, особенно ее носовой части, а также расположения центра тяжести в сочетании с весовыми характеристиками, высоты крепления винта.

Поволжский государственный технологический университет продолжает работы по совершенствованию амфибий «Каспий-2».

Список литературы

1. Киркин С.Ф. К вопросу экологической безопасности транспортных машин, эксплуатируемых на слабых почвах // Материалы научной конференции ППС, докторантов, аспирантов, студентов МарГТУ по итогам НИР за 2007 г. – Йошкар-Ола : МарГТУ, 2008. – С. 63-65.
2. Киркин С.Ф. Опыт разработки и эксплуатации новых типов экологически безопасных внедорожных транспортных машин // Всероссийская научно-практическая конференция «Инновационные разработки вузовской науки – российской экономике» (Йошкар-Ола, 11-12 декабря 2008 г.). – Йошкар-Ола : МарГТУ, 2008. – С. 49-45.
3. Киркин С.Ф. Совершенствование оценки экологического состояния линейных частей нефтепроводов на территориях с интенсивным карстообразованием // Вестник Марийского государственного технического университета. Серия «Лес. Экология. Природопользование». – 2011. – № 2. – С. 84-93.
4. Киркин С.Ф., Иванов А.Г., Охотин Ю.В. Разработка и изготовление колесно-гусеничного вездехода-амфибии с комбинированной системой управления // Наука в условиях современности : сборник статей ППС, докторантов, аспирантов и студентов по итогам научно-технической конференции МарГТУ в 2010 г. – Йошкар-Ола : МарГТУ, 2010. – С. 105-107.
5. Киркин С.Ф., Поздеев А.Г. Методика оценки экологической устойчивости функционирования автодорожной сети агропромышленного комплекса региона // Вестник Марийского государственного технического университета. Серия «Лес. Экология. Природопользование». – 2008. – № 2. – С. 72-81.

Рецензенты:

Полянин Игорь Александрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой транспортно-технологических машин, ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Министерство образования и науки Российской Федерации, г. Йошкар-Ола.

Наводнов Владимир Григорьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной математики и информационных технологий, ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Министерство образования и науки Российской Федерации, г. Йошкар-Ола.