

УДК 629.113

А. А. Долгополов, Ю. Ю. Мерзликин, В. Н. Наумов, Д. А. Чижов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И СОГЛАСОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕМЕНТОВ ПОДЪЕМНОГО И ДВИЖИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСОВ АМФИБИЙНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ И ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С ШАССИ НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Предложена методология определения параметров и согласование режимов работы элементов подъемного и движительного комплексов амфибийных транспортных средств и летательных аппаратов с шасси на воздушной подушке. Представлены результаты определения диапазонов регулирования потребных мощностей и частот вращения вентиляторов воздушной подушки, аэродинамических и контактных движителей в процессе движения, разгона и торможения для выбора силовой установки и трансмиссии.

Ключевые слова: шасси на воздушной подушке, амфибийные транспортные средства, летательные аппараты, вентиляторы, движители, режимы работы

Определение параметров и согласование режимов работы элементов подъемного и движительного комплексов амфибийных транспортных средств (ТС) и летательных аппаратов (ЛА) с шасси на воздушной подушке (ШВП) выполняются поэтапно с использованием соответствующих расчетных и экспериментальных методик под конкретное техническое задание (ТЗ) на разработку объекта с ШВП.

В ТЗ указываются условия эксплуатации объекта, основные требования к его функциональным характеристикам, а также показатели допустимого неблагоприятного воздействия объекта на внешнюю среду:

- назначение объекта;
- характер и массогабаритные параметры перевозимого груза;
- максимальные скорости движения объекта по грунтовой и водной поверхностям;
- механические и профильные показатели грунта [1]: несущая способность q , Н/см², внутреннее сцепление C_0 , Н/см², модуль деформации грунта E , Н/см², статистические характеристики профиля грунтовой поверхности;
- максимальные преодолеваемые подъемы и косогоры поверхности α , град;
- уровень развитого волнения водной поверхности;
- требования к курсовой управляемости объекта на грунтовой и водной поверхностях и управлению тягой аэродинамических и контактных движителей ТС и ЛА;
- показатели, диктуемые экологической безопасностью внешней среды: допустимая глубина колеи δ контактного движителя, предельно допустимая скорость истечения воздуха из воздушной подушки (ВП) $V_{в.п}$ по условию разрушения поверхностного слоя грунта и эрозии почвы ($V_{в.п} = \sqrt{\frac{2P_{в.п}}{\rho}}$, м/с, где $P_{в.п}$ – избыточное давление в ВП);
- допустимый уровень шума на местности и внутри объекта.

На первом этапе разработки объекта формируется его предварительный конструктивно-компоновочный облик.

Здесь выполняется исследование по выбору аэродинамической компоновки объекта как единого комплекса: для ЛА — планера, ШВП, аэродинамических движителей и контактных опор, а для ТС – корпуса, ШВП, аэродинамических и контактных движителей и опорных элементов.

Поисковые расчетные и экспериментальные исследования по определению аэродинамической схемы и параметров ШВП (схемы и параметров гибкого ограждения, нагнетателей ВП и воздухопроводов) направлены на обеспечение основных требований, предъявляемых к шасси по статической и динамической устойчивости, амортизационным свойствам, амфибийности, а для ШВП ЛА — дополнительно по поглощению энергии посадочного удара и формированию взлетно-посадочной конфигурации.

При выборе схемы и конструктивных параметров гибкого ограждения (ГО) ВП особое внимание уделяется эластичности, износостойкости, ремонтпригодности и способности элементов ГО «проходить» неровности пути с быстрым восстановлением первоначальной формы без повреждения и опасности «затягивания» (подлома) элементов ГО, а также вопросам выпуска и уборки ГО в полете ЛА.

Результаты некоторых расчетных исследований ШВП на этом этапе уточняются экспериментальными исследованиями масштабных моделей. Например, аэродинамическая схема и конструкция элементов ГО отрабатываются путем испытаний отдельных секций ГО на установках типа «плоский отсек»: на установке с подвижным экраном испытания проводятся с имитацией типовых неровностей; на установке с имитацией набегающего потока воздуха (например, в аэродинамической трубе) проводятся испытания по отработке параметров и процедур выпуска и уборки гибкого ограждения ШВП ЛА в полете. Эти испытания проводятся с соблюдением соответствующих критериев подобия.

Для исследований статической устойчивости и демпфирующих свойств ШВП по крену, тангажу и высоте применяются экспериментальные установки для испытаний действующих масштабных моделей ШВП. Испытания проводятся при колебаниях моделей над твердым экраном динамометрическим и кинематическим методами. Испытания проводятся с соблюдением подобия по коэффициенту импульса и расхода, чисел Рейнольдса Re и Струхала Sh [2].

При испытании масштабных моделей ШВП в гидроканале должно выполняться подобие по числу Фруда Fr . При испытаниях при определении гидродинамического сопротивления ШВП, выполняемых при установившихся скоростях модели достаточно выполнить подобие в соответствии с числом Фруда по расходу воздуха и давлению в ВП. При испытаниях по исследованию динамических процессов движения объектов по взволнованной водной поверхности (или при движении неровной твердой поверхности, например, при буксировке модели по борту канала) необходимо выполнять дополнительно подобие в соответствии с числом Фруда по массово-инерционным характеристикам модели.

В состав работ первого этапа входят также исследования тягового и мощностного балансов ТС и ЛА с ШВП.

По результатам тягового баланса осуществляется выбор потребной тяги, типов, конструкции и параметров аэродинамических и контактных движителей для обеспечения движения ТС и ЛА с ШВП по водной и грунтовой поверхностям с задаваемыми максимальными значениями скоростей и углов подъема. При движении по водной поверхности используются расчетные оценки и экспериментальные материалы определения гидродинамического, аэродинамического и импульсного сопротивлений объектов на скорости «горба сопротивления» и крейсерской скорости. Для случаев движения по грунтовым поверхностям учитывается контактное сопротивление ГО, характеристики грунта по сопротивлению и несущей способности, характеристика контактного движителя по сцеплению с грунтовой поверхностью при соответствующем перераспределении веса между ВП и контактными движителями или опорами.

При расчете тяги контактного движителя учитывается его совместная работа с аэродинамическим движителем, сила тяги по сцеплению $P_{\phi} = Y_{\text{движ}} \phi$, сила сопротивления в результате контакта ГО с поверхностью $P_{\text{г.о}} = f_{\text{г.о}} Y_{\text{п}}$ и сила сопротивления движению $P_{\text{движ}} = Y_{\text{движ}} f$, где $Y_{\text{движ}} = G \cos \alpha - Y_{\text{п}}$ — нормальная реакция грунта на контактный движитель, а $Y_{\text{п}}$ — подъемная сила ВП, G — вес ТС, α — угол подъема поверхности.

Условием возможности движения ТС на подъем является неравенство

$$P_{\phi} + P_{\text{винт}} > P_{\text{движ}} + P_{\text{г.о.}}$$

Расчетные оценки для случая совместной работы контактного и аэродинамического движителей показали, что при одном и том же отношении веса, приходящегося на ВП, к весу, воспринимаемому контактным движителем, угол преодолеваемого косогора по условию бокового несползания меньше, чем угол подъема по условию тяги.

В результате исследования мощностного баланса определяются диапазоны регулирования потребных мощностей и частот вращения вентиляторов ВП, аэродинамических и контактных движителей в процессе движения, разгона и торможения для выбора силовой установки (установок) и трансмиссии.

Возможны три варианта осуществления работы потребителей мощности:

- 1) все потребители приводятся во вращение от одного двигателя (в этом случае необходима сложная трансмиссия с регулированием потоков мощности на каждый из потребителей);
- 2) каждый из потребителей имеет автономный двигатель (в этом случае регулирование упрощается, оно может осуществляться изменением режима работы двигателя);
- 3) смешанный вариант: на каждую группу потребителей имеется своя силовая установка.

Каждая из схем подачи мощности потребителям имеет свои преимущества и недостатки. Во всех типах трансмиссий необходимо предусмотреть возможность запуска двигателя без нагрузки потребителей.

На втором этапе отработка ТС и ЛА с ШВП выполняется с использованием динамически подобных моделей. При этом аэрогидродинамические и амплитудно-частотные характеристики исследуются при буксировочных испытаниях моделей над ровной и взволнованной водной поверхностью с варьированием расхода воздуха ВП, центровки и угла дрейфа. Динамическая устойчивость и демпфирование посадочного удара ЛА определяются на копровых стендах.

В качестве примера приведены графики согласования работы двух вентиляторов ВП и аэродинамического движителя аппарата с ШВП ЗАО «Комвен», разработанного с участием специалистов Московского комплекса ЦАГИ. Рассматриваемый аппарат обладает единой силовой установкой. Цель согласования указанных характеристик заключается в определении передаточных отношений между валом двигателя и потребителями для обеспечения наивысшей скорости движения при заданном запасе мощности двигателя. На рис. 1, 2 представлены номограммы, связывающие характеристики сопротивления движению натурного АВП (X_{Σ}), мощности ($2N_{\text{вент}}^* / \eta_{\text{вент}}$) и расхода ($2Q$) двух вентиляторов, работающих на создание ВП, тяги двух вентиляторных движителей ($2T_{\text{движ}}$) и мощности на их привод ($2N_{\text{вент}}^* / \eta_{\text{вент}}$) в зависимости от оборотов вентиляторов $n_{\text{вент}}$ и движителей $n_{\text{движ}}$.

Исходными при построении графиков на номограммах приняты результаты буксировочных испытаний модели [3] и характеристики вентиляторов ВП и аэродинамических движителей, предусмотренных для установки на АВП. С помощью этих графиков представляется возможным согласовать режимы работы вентиляторов ВП и движителей (т. е. определить рациональное соотношение частот вращения вентиляторов и движителей $n_{\text{вент}0}^* / n_{\text{движ}0}^*$) по заданной максимальной скорости движения АВП V с определением потребной мощности $N_{\text{вент}}^*$ двигателя либо по располагаемой мощности двигателя путем нахождения максимальной скорости движения (см. рис. 1).

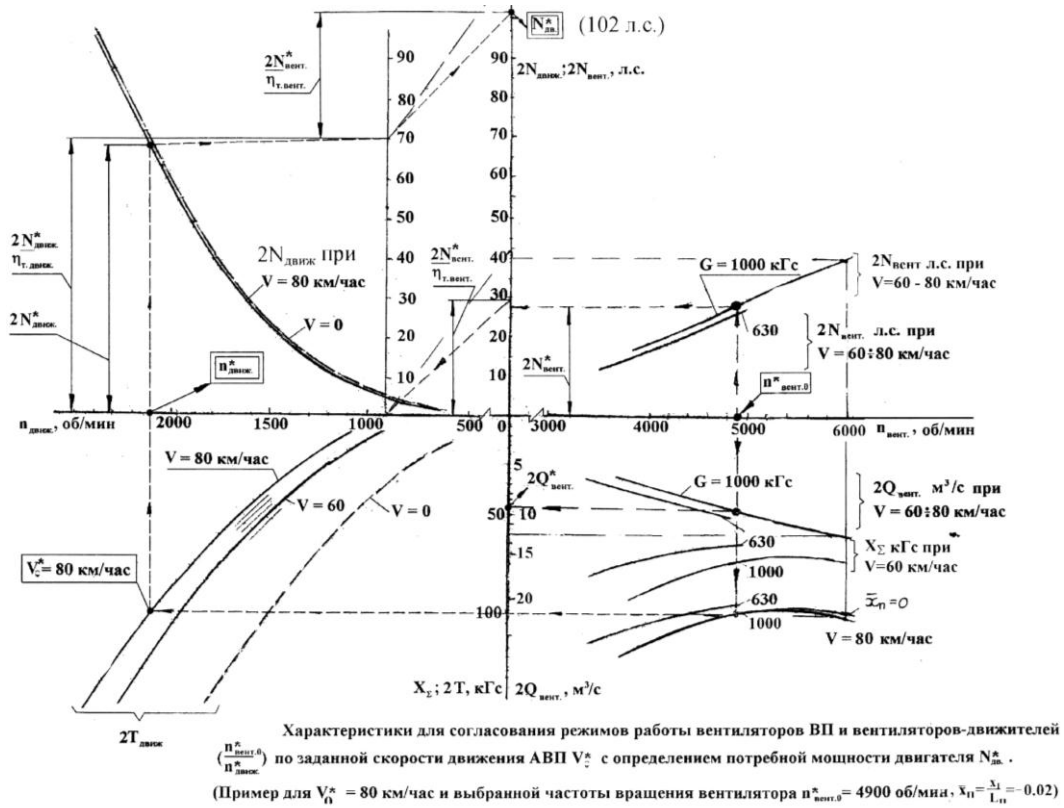


Рис. 1. Номограммы согласования работы вентиляторов ВП и аэродинамических движителей по заданной максимальной скорости АВП с определением потребной мощности двигателя

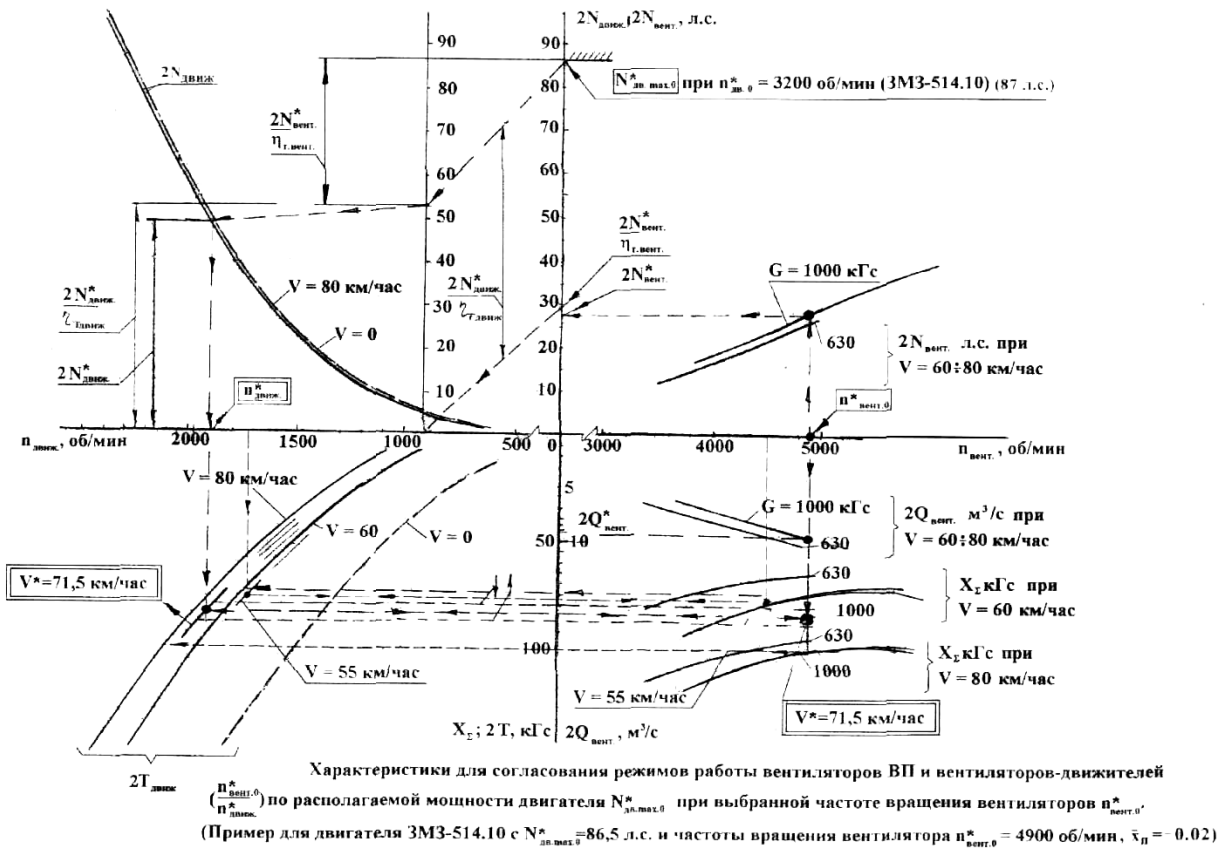


Рис. 2. Номограммы согласования работы вентиляторов ВП и аэродинамических движителей по заданной мощности двигателя с определением достижимой максимальной скорости АВП

При движении АВП по гладкой воде на крейсерской скорости можно рекомендовать поддерживать один расход вентиляторов ВП, в случае же движения по взволнованной поверхности воды для обеспечения большей скорости в этих условиях и большего уровня безопасности движения по «затягиванию» ограждения целесообразно увеличить расход воздуха вентиляторов примерно на 15%. Осуществить такое изменение режимов работы вентиляторов (в данном случае изменение частоты их вращения) можно перераспределением мощности между движителями и вентиляторами ВП, если возможно увеличение частоты вращения двигателя.

С этой целью расчетный режим работы двигателя и, соответственно, режимы работы движителей и вентиляторов должны выбираться при частоте вращения двигателя, меньшей номинальной частоты $n_{\text{дв.ном}}$.

Библиографический список

1. Агейкин, Я. С. Вездеходные колесные комбинированные движители Я. С. Агейкин. – М.: Машиностроение, 1972.
2. Долгополов, А. А. Особенности методики технических средств для экспериментального определения стационарных и нестационарных аэродинамических характеристик летательного аппарата с взлетно-посадочными устройствами на воздушной подушке / А. А. Долгополов, Г. А. Вишневецкий, Ю. Ю. Мерзликін // Сб. докладов III научной конференции по гидроавиации «Гидроавиасалон-2000». – М.: Изд. ЦАГИ, 2000.
3. Долгополов, А. А. Аэродинамические и амортизационные характеристики нового шасси на воздушной подушке с многосекционным формированием ВП / А. А. Долгополов [и др.] / Сб. докладов IV научной конференции по гидроавиации «Гидроавиасалон-2002». – М.: Изд. ЦАГИ, 2002.

*Дата поступления
в редакцию 27.05.2014*

A.A. Dolgoplov, Y.Y. Merzlikin, V.N. Naumov, D.A. Chizhov

PARAMETER DETERMINATION AND COORDINATION OF OPERATING MODES OF LIFTING EQUIPMENT AND PROPULSION ELEMENTS OF AMPHIBIOUS VEHICLES AND AIRCRAFTS WITH HOVERCRAFT

The methodology of the determination of the parameters and the coordination operating modes of lifting equipment and propulsion elements of amphibious vehicles and aircrafts with hovercraft has been proposed. The results of the regulatory ranges of the required power and rotation frequency of the fans of the hovercraft, aerodynamic and contact propulsions during the motion, acceleration and deceleration to select the engine and transmission have been presented.

Key words: hovercraft, amphibious vehicles, aircraft, fan, propulsors, operating modes.