

УДК 629.11.012

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

А. А. Долгополов, с. н. с., Ю. Ю. Мерзлякин, гл. инж. НИО-12 / НИ МК ЦАГИ  
В. Н. Наумов, д. т. н., проф., Д. А. Чижов, к. т. н., доц. / МГТУ им. Н. Э. Баумана

Определение параметров и согласование режимов работы элементов подъёмного и движительного комплексов амфибийных транспортных средств (ТС) и летательных аппаратов (ЛА) с шасси на воздушной подушке (ШВП) выполняются поэтапно с использованием соответствующих расчётных 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/см<sup>2</sup>; внутреннее сцепление  $C_0$ , Н/см<sup>2</sup>; модуль деформации грунта  $E$ , Н/см<sup>2</sup>; статистические характеристики профиля грунтовой поверхности;
- максимальные преодолеваемые подъёмы и косогоры поверхности  $\alpha$ , 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 контактного движителя;
- предельно допустимая скорость истечения воздуха из воздушной подушки (ВП)  $V_{\text{вн}}$  по условию разрушения поверхностного слоя грунта и эрозии почвы ( $V_{\text{вн}} = \sqrt{P_{\text{вн}}/\rho}$ , м/с, где  $P_{\text{вн}}$  — 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 расчётные и экспериментальные исследования по определению аэродинамической схемы и параметров ШВП (схемы и параметров гибкого ограждения, нагнетателей ВП и воздуховодов) 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 взлётно-посадочной конфигурации.

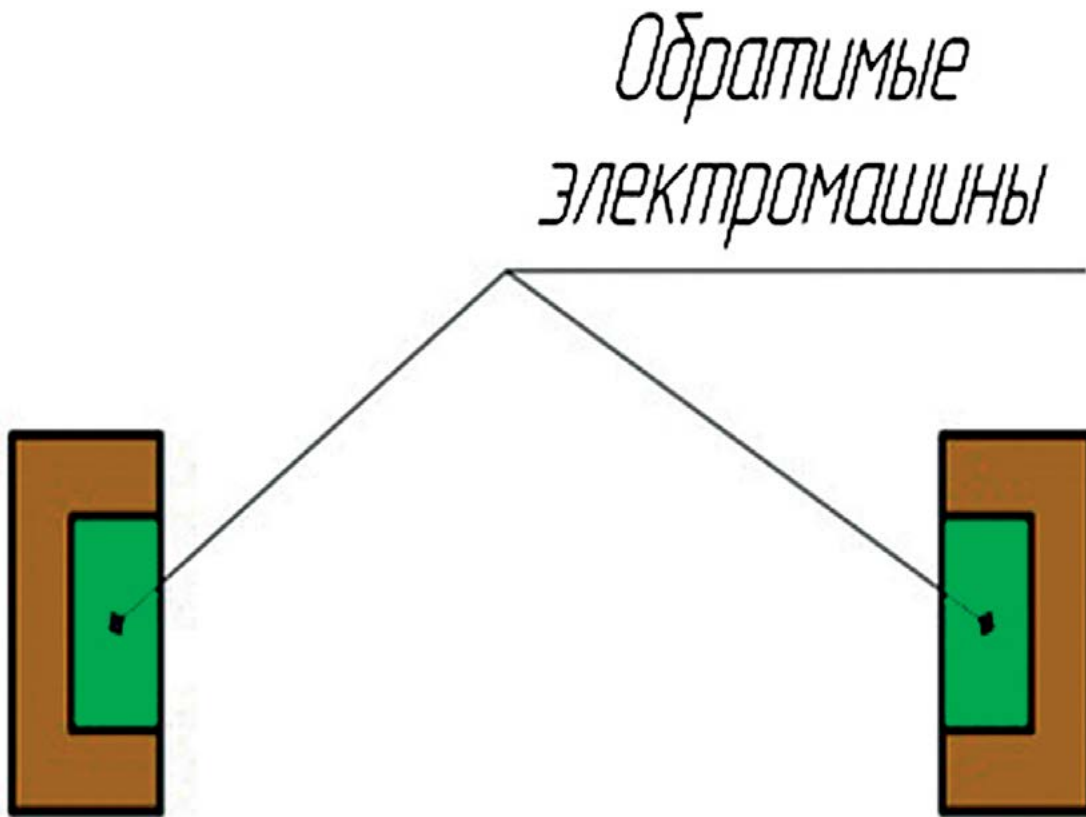
При выборе схемы и конструктивных параметров гибкого ограждения (ГО) ВП особое внимание уделяется эластичности, износостойкости, ремон-

топригодности 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 полёте ЛА.

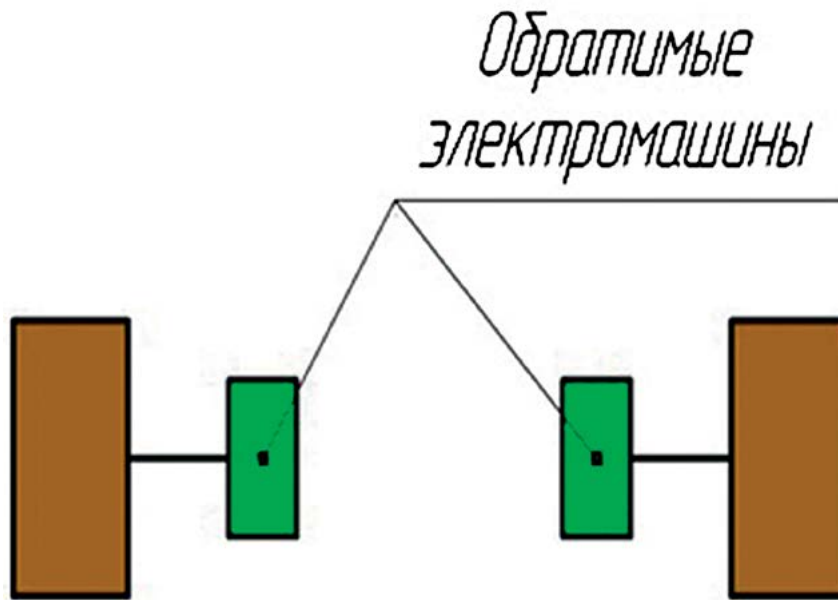
Результаты некоторых расчётных исследований ШВП на этом этапе уточняются экспериментальными исследованиями масштабных моделей. Например, аэродинамическая схема и конструкция элементов ГО отрабатываются путём испытаний отдельных секций ГО на установках типа «плоский отсек»: на установке с подвижным экраном 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 полёте. 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 твёрдым 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 по неровной твёрдой поверх-



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



*Рисунок 2.* Номаграммы согласования работы вентиляторов ВП и аэродинамических движителей по заданной мощности двигателя с определением достижимой максимальной скорости АВП

ности, 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 преодолеваемых углов подъема. При движении по водной поверхности используются расчётные оценки и экспериментальные характеристики гидродинамического, аэродинамического и импульсного сопротивлений объектов как на скорости «горба сопротивления», так и на крейсерской скорости движения. Для случаев движения ТС по грунтовым поверхностям учитываются сопротивление движению, обусловленное контактом ГО с опорной поверхностью, характеристики несущей способности грунта, характеристика контактного движителя по сцеплению с грунтовой поверхностью при соответствующем перераспределении веса между ВП и контактными движителями или опорами.

При расчёте потребной тяги контактного движителя учитывается его совместная работа с аэро-

динамическим движителем с тягой  $P_{винт}$ , сила сопротивления движению  $P_{движ} = Y_{движ} f$ , здесь  $f$  — коэффициент сопротивления движения движителя;  $Y_{движ} = G \cos \alpha - Y_n$  — нормальная реакция грунта на контактный движитель;  $Y_n$  — подъёмная сила ВП;  $G$  — вес ТС;  $\alpha$  — угол подъёма поверхности; сила тяги по сцеплению  $P\varphi = Y_{движ} \varphi$  ( $\varphi$  — коэффициент сцепления); сила сопротивления в результате контакта ГО с поверхностью  $P_{zo} = f_{zo} Y_n$ .

Условием возможности движения ТС на подъём является неравенство

$$\left( f_{zo} \frac{d\alpha}{dt} = P_{винт} \cdot \varphi_n \cdot Y_n - k_T \cdot P_{зо} \right) .$$

Расчётные 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 склона по условию бокового несползания меньше, чем угол подъёма 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 [3]. 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 и 2 представлены номограммы, связывающие характеристики сопротивления движению натурного АВП ( $X_{\Sigma}$ ), 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 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 (то есть 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  $N_{\text{двиг}}^*$  двигателя либо по располагаемой мощ-

ности двигателя путём нахождения максимальной скорости движения (см. рис. 1).

В случае движения ТС по грунтовой поверхности используется выражение потребной мощности привода контактного движителя  $N_{\text{движ}} = P_{\text{движ}} V / \eta_0$ , где  $V$  — скорость движения ТС;  $\eta_0$  — общий КПД движителя и трансмиссии.

С учётом изложенного выше 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 расчётный режим работы двигателя и, соответственно, режимы работы движителей и вентиляторов должны выбираться при частоте вращения двигателя, меньшей номинальной частоты  $n_{\text{дв. ном}}$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Агейкин Я. С. Вездеходные колёсные комбинированные движители. — М.: Машиностроение, 1972.
2. Долгополов А. А., Вишневский Г. А., Мерзликин Ю. Ю. Особенности методики технических средств для экспериментального определения стационарных и нестационарных аэродинамических характеристик летательного аппарата с взлётно-посадочными устройствами на воздушной подушке: сб. докладов III научной конференции по гидроавиации «Гидроавиасалон-2000». — М.: Изд. ЦАГИ, 2000.
3. Аэродинамические и амортизационные характеристики нового шасси на воздушной подушке с многосекционным формированием ВП: сб. докладов IV научной конференции по гидроавиации «Гидроавиасалон-2002» / А. А. Долгополов, Г. А. Вишневский, В. Н. Волостных и др. — М.: Изд. ЦАГИ, 2002.