

УДК 621.6

Т.Б. БОГАЧЕВА

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПОДЪЕМНО-ДВИЖИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА АППАРАТА НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ

В работе рассмотрена возможность получения продувок модернизированного осевого вентилятора (на основе вентилятора ЦАГИ ОВ-109) в кольце с помощью программного продукта CosmosFloWorks для оптимизации подъемно-двигательного комплекса аппарата на воздушной подушке. Приведены примеры подбора параметров вентиляторов. Показано влияние взаимного расположения вентилятора и кольца на характеристики подъемно-двигательного комплекса аппарата на выбранной частоте вращения двигателя.

Ключевые слова: вентилятор, винт в кольце, аппарат на воздушной подушке, подъемно-двигательный комплекс.

Введение

Подъемно-двигательный комплекс (ПДК) аппарата на воздушной подушке (АВП) должен выполнять две функции: нагнетать давление в воздушную подушку и создавать тягу. Традиционно на летающей технике в качестве тягового устройства используются винты, однако они не предназначены для создания статического давления, а значит, не могут успешно использоваться на АВП. Это определило возможность использования в качестве движителя осевого вентилятора, который имеет рабочее колесо с лопатками в корпусе. Корпус необходим как ограждение быстро вращающегося рабочего колеса и для получения дополнительной тяги [1].

Для движителя желателен вентилятор с минимально возможным втулочным отношением для обеспечения большей производительности. Его подбор можно осуществить с помощью типовых безразмерных аэродинамических характеристик вентиляторов [2]. Для проектируемого АВП был подобран вентилятор ЦАГИ ОВ-109, выполненный по схеме К, имеющий втулочное отношение 0,44, угол установки лопастей 25° на относительном радиусе 0,75 [3].

Данный вентилятор дает расход больший, чем требуется по аэродинамическому расчету системы образования воздушной подушки. Поэтому есть возможность с целью увеличения тяги (давления) за счет снижения расхода произвести оптимизацию ПДК.

Ранее подобные задачи решались экспериментально с использованием масштабных или натурных моделей. Масштабные модели требуют использования масштабных коэффициентов и дают лишь приближенные данные о характеристиках, а использо-

вание натурных моделей обладает другим существенным недостатком – это высокая стоимость обслуживания аэродинамической трубы для проведения эксперимента, потребность в высококвалифицированном персонале. Все это учитывается в конечной стоимости продукции. К тому же любые экспериментальные исследования требуют значительных затрат времени, необходимого на подготовку и проведение экспериментов.

1. Метод исследования

В настоящий момент появилось направление программ с реализацией решения задач CFD (Computational Fluid Dynamics – вычислительная гидрогазодинамика) [4], на пример, STAR-CD, Flow-3D, EFD.Lab, FloVision, CosmosFloWorks с визуализацией потока (рис. 1).

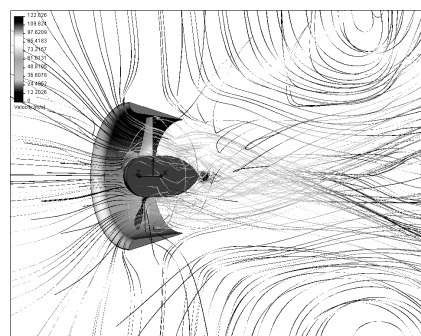


Рис. 1. Картина обтекания ПДК внешним потоком

По сравнению с традиционными CFD-пакетами, CosmosFloWorks имеет следующие принципиальные отличия:

– задание исходных данных и просмотр результатов происходит непосредственно в окне графического проектирования (SolidWorks);

– может использоваться инженером, а не CFD-специалистом;

– минимальное время на подготовку исходных данных и просмотр результатов.

Перед началом решения задачи было проведено сравнение аэродинамических характеристик вентиляторов, полученных в CosmosFloWorks, с продувками ЦАГИ, что показало возможность использования программы и получения адекватных результатов.

2. Объект и область исследования

Задача по оптимизации ПДК АВП будет решаться посредством решения следующих подзадач:

– исследование влияния количества лопаток на характеристики вентилятора (тягу производительность, потребный крутящий момент);

– определение влияния уменьшения втулочно-го отношения вентилятора (отношение диаметра втулки к диаметру вентилятора);

– исследование влияния кольца в ПДК и взаимного расположения кольца и вентилятора.

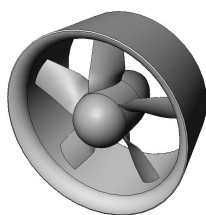


Рис. 2. Вентилятор в сборе

Для решения поставленных задач в пакете SolidWorks создаем сборку (рис. 2), состоящую из вентилятора (параметры лопатки табл. 1), области вентилятора и стенки расхода, а также сборку, состоящую из вентилятора, кольца, области вентилятора и стенки расхода.

Таблица 1

Размерные параметры лопатки вентилятора ОВ-109

Радиус r , мм	Хорда профиля, мм	Угол установки, град.	Радиус кривизны ср. линии профиля ρ , мм
750	259	17,5	398
660	276	20,5	408
570	292	25	412
480	309	31,17	399
390	329	40,5	371
300	345	56,67	330

Область вентилятора – сплошное тело вращения, полностью покрывающее собой вентилятор. Ось вращения области совпадает с осью вращения

вентилятора. Область вращения нужна для задания вращения на вентиляторе.

Стенка расхода – круглая пластина произвольной толщины, расположенная за вентилятором. Ось вращения также совпадает с осью вращения вентилятора. Диаметр пластины немного меньше диаметра вентилятора, т.к. при таком диаметре весь воздух, проходящий через вентилятор, проходит через пластину, и в то же время еще не успевает засасываться посторонний воздух, не участвующий в создании тяги. Стенка расхода нужна для определения производительности вентилятора (расхода воздуха).

Кольцо строим по следующим геометрическим параметрам: длина – 780 мм, радиус скругления на входе – 145 мм, что составляет половину длины хорды лопатки, конусность 7° .

Теперь размеры расчетной области составляют 7 м в длину (2,1 м перед вентилятором, 4,9 м за ним) и 4,6 м в высоту и в ширину.

3. Численный эксперимент

3.1. Продуваем стандартные вентиляторы ОВ-109 с 4, 5 и 6 лопатками при различной частоте вращения (от 17 до 40 об/с). Материал вентилятора – дюраль. Из трех вентиляторов выбираем показавший лучшие характеристики при заданных возможностях двигателя (крутящем моменте, частоте вращения и передаточном отношении, рис. 3 – 5).

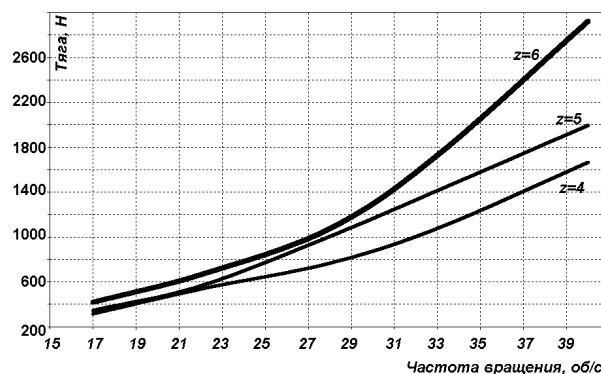


Рис. 3. График изменения тяги

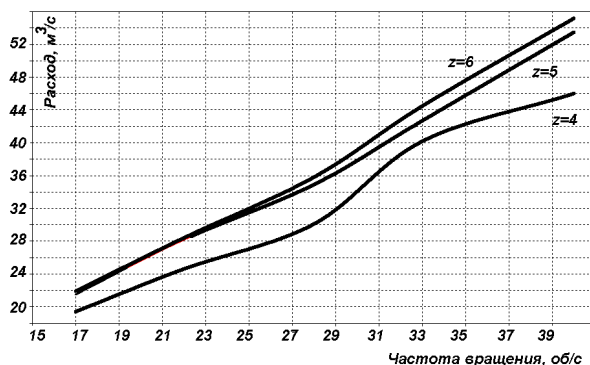


Рис. 4. График изменения расхода

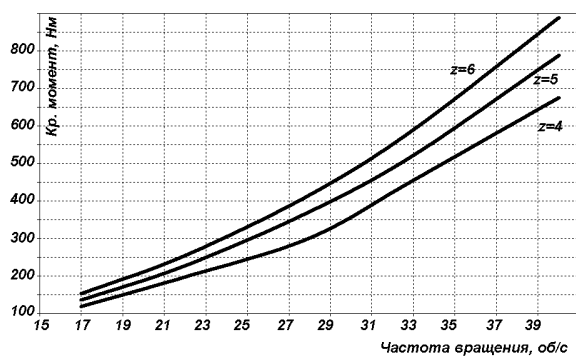


Рис. 5. График изменения крутящего момента

Максимально возможный крутящий момент на валу двигателя составляет 310 Нм при 1750... 3050 об/мин, тогда при передаточном отношении 1 : 1,5 максимально возможный крутящий момент на валу вентилятора составляет 465 Нм. По графику крутящего момента на вентиляторе определяем максимальную частоту вращения вентилятора, по этой частоте определяем тягу и расход, создаваемые вентилятором. Полученные характеристики вентиляторов сведены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики вентиляторов

К-во лопаток	Частота вращения, об/с	Тяга, Н	Расход, м ³ /с
4	33,5	1110	40,5
5	31	1250	39,5
6	29,5	1250	38,5

Из табл. 2 видно, что наиболее эффективно применение вентилятора ОВ-109 с 5 лопатками.

3.2. В выбранном варианте уменьшаем втулку, оставляя прежним диаметр вентилятора, и также продуваем его. Согласно [3], это должно дать прирост тяги. Оставляем вариант, показавший лучшие характеристики.

Изменим геометрию вентилятора ОВ-109 с 5 лопатками, продлив лопатку к оси вращения и тем самым, изменив втулочное отношение с 0,44 до 0,347.

Таблица 3

Размерные параметры лопатки вентилятора ОВ-109 с уменьшенной втулкой

Радиус г, мм	Хорда профиля, мм	Угол установки, град.	Радиус кривизны ср. линии профиля р, мм
750	259	17,5	398
660	276	20,5	408
570	292	25	412
480	309	31,17	399
390	329	40,5	371
300	345	56,67	330
220	345	60	315

Продуваем полученный вентилятор (табл. 3) при различной частоте вращения (результаты продувок на рис. 6...рис. 8).

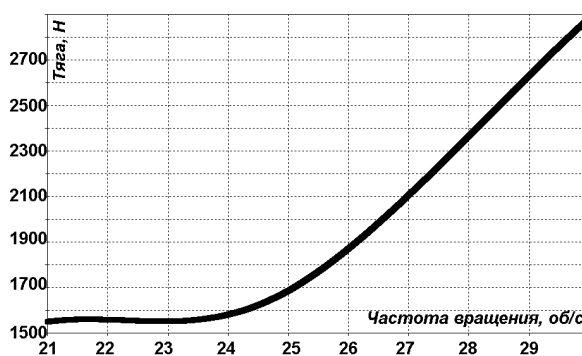


Рис. 6. График изменения тяги

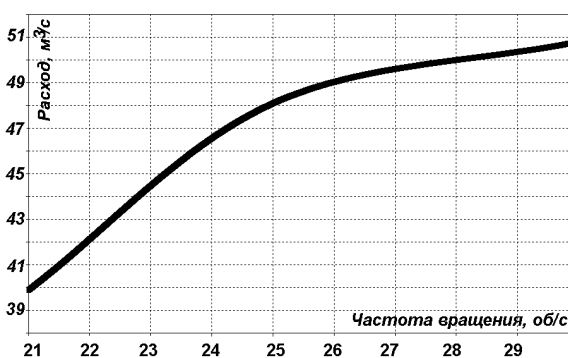


Рис. 7. График изменения расхода воздуха

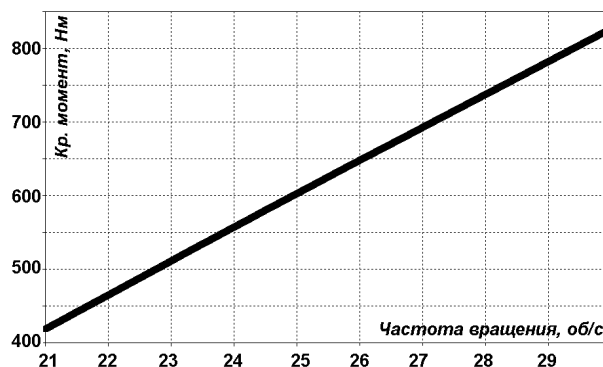


Рис. 8. График изменения крутящего момента

Максимально возможный крутящий момент на валу вентилятора составляет 465 Нм. По графику крутящего момента определяем частоту вращения вентилятора – 22 об/с (33 об/с, или 1980 об/мин на двигателе).

При такой частоте вращения вентилятора тяга составляет 1560 Н, расход – 42,2 м³/с.

Таблица 4

Сравнительные характеристики вентиляторов

Вентилятор	Частота вращения, об/с	Тяга, Н	Расход, м ³ /с
По п. 3.1	31	1250	39,5
По п. 3.2	22	1560	42,2

Из табл. 4 видно, что модернизированный вентилятор значительно выигрывает у стандартного как по тяге, так и по производительности.

3.3. Помещаем полученный в п. 3.2 вентилятор в кольцо и осуществляем продувку при разном взаимном положении кольца и вентилятора.

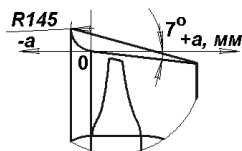


Рис. 9. Смещение кольца

Теперь попробуем выяснить влияние кольца на характеристики вентилятора (рис. 9). Продувки вентилятора в кольце при их различном взаимном положении осуществлялись при частоте вращения 26 об/с (результаты продувок на рис. 10...12).

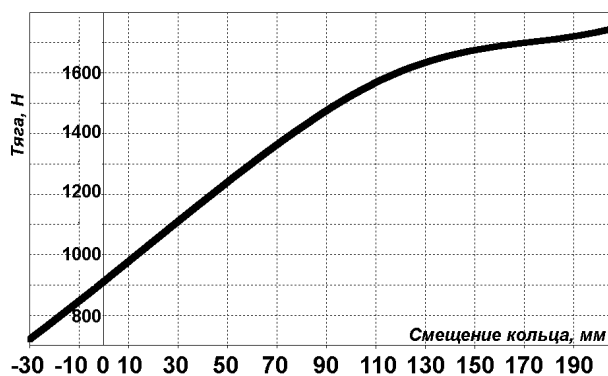


Рис. 10. График изменения тяги

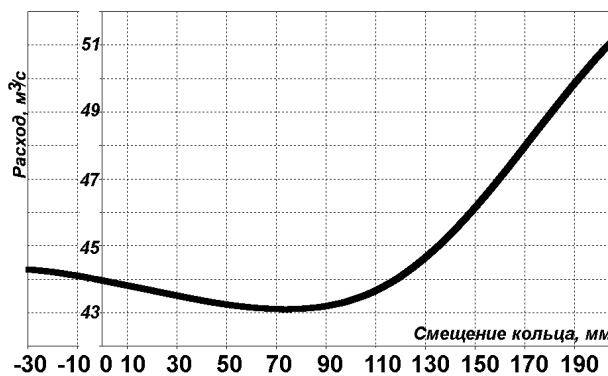


Рис. 11. График изменения расхода

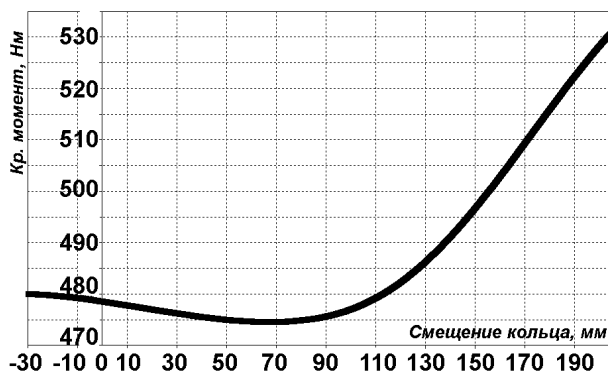


Рис. 12. График изменения крутящего момента

Как видим из табл. 5, значительная часть тяги (не сопротивления) ПДК создается на кольце. Объяснение этому в распределении давления вокруг профиля кольца (рис. 13).

Таблица 5

Характеристики ПДК

a, мм	P, Н	Q, м³/с	T, Нм	$P_{уд} = P/T$, м⁻¹	$Q_{уд} = Q/T$, м²/(Нм)
-30	720	44,3	480	1,5	0,092
105	1548	43,5	478	3,24	0,091
205	1745	51,1	531	3,29	0,096

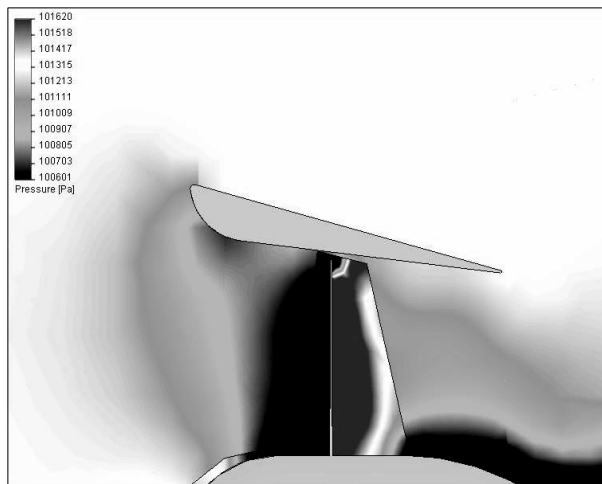


Рис. 13. Распределение давления вокруг кольца

Как видно, наилучшие характеристики при 26 об/с получены в 3-м случае. Однако теперь такую скорость вращения невозможно обеспечить при передаточном отношении 1:1,5. При передаточном отношении 1:2 максимальный крутящий момент на валу вентилятора составляет 600 Нм, а этого уже достаточно. При таком передаточном отношении частота вращения на двигателе – 52 об/с (3120 об/с). Такую частоту выбранный нами двигатель также может обеспечить.

В то же время еще нельзя утверждать, что расположение кольца и вентилятора в 3-м случае лучше, чем в остальных случаях, т.к. продувки осуществлялись на одной частоте вращения. А с изменением частоты вращения характеристики одного вентилятора (или ПДК) могут существенно измениться относительно другого, стать лучше или хуже. Поэтому для анализа различного взаимного расположения вентилятора и кольца используем понятие удельной тяги и удельного расхода, т.е. тяги и расхода, отнесенные к потребному крутящему моменту. Как видим из табл. 5, 3-й вариант расположения кольца действительно является наиболее рациональным, и можно сделать вывод, что выдвигание вентилятора вперед из кольца сказывается на его характеристиках.

Выводы

По результатам продувок модернизированный вентилятор с 5 лопатками в кольце позволил на 39,6% повысить тягу и 29,4% повысить производительность по сравнению со стандартным вентилятором ОВ-109 с 5 лопатками. К тому же эти данные хорошо согласуются с экспериментом, проводимым на масштабной модели [5].

Для завершения оптимизации ПДК рассматриваемого АВП необходимо:

- определить влияние на характеристики вентилятора изменение угла установки лопатки;
- варьировать радиусы лопатки по ее длине;
- определить влияние радиуса закругления кольца на входе;
- определить влияние длины и конусности кольца;
- совместно исследовать зазор между вентилятором и кольцом;
- желательно для повышения точности во время исследований использовать более мелкую сетку;
- экспериментально исследовать несколько полученных вариантов ПДК на шумовые характеристики.

Литература

1. Федюшкин А.М. Двигатель для малоскоростных летательных аппаратов / А.М. Федюшкин, Т.Б. Богачева // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2005. – № 4/20. – С. 25-27.
2. Богачева Т.Б. Исследования осевого вентилятора – двигателя транспортных средств / Т.Б. Богачева // *Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н.Е. Жуковского "ХАИ"*. – Х., 2003. – Вып. 34 (3). – С. 64-67.
3. Брусиловский И.В. Аэродинамические схемы и характеристики осевых вентиляторов ЦАГИ / И.В. Брусиловский. – М.: Недра, 1978. – 200 с.
4. Алямовский А.А. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А.А. Алямовский, А.А. Собачкин, Е.В. Одинцов. – СПб. ВНУ, 2005. – 800 с.
5. Богачева Т.Б. Повышение эффективности осевых вентиляторов, не предназначенных для создания статического давления / Т.Б. Богачева // *Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н.Е. Жуковского "ХАИ"*. – Х., 2002. – Вып. 29 (2). – С. 127-131.

Поступила в редакцию 15.09.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зам. директора по научной работе А.Я. Мовшович, НПО «Техоснастка», Краматорск, Украина.

МОДЕЛЮВАННЯ АЕРОГІДРОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ПІД'ЄМНО-РУШІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ АПАРАТІВ НА ПОВІТРЯНІЙ ПОДУШЦІ

Т.Б. Богачьова

В роботі розглянуто можливість одержання продувок модернізованого осевого вентилятора (на базі вентилятора ЦАГІ ОВ-109) в кільці з допомогою програмного продукту CosmosFloWorks для оптимізації під'ємно-рушійних комплексів апаратів на повітряній подушці. Наведено приклади підбору параметрів вентилятора. Показаний вплив взаємного розташування вентилятора та кільця на характеристики під'ємно-рушійного комплексу апарата на вибраній частоті обертання двигуна.

Ключові слова: вентилятор, гвинт у кільці, апарат на повітряній подушці, під'ємно-рушійний комплекс.

MODELLING OF AEROHYDRODYNAMICAL PROCESS WHEN PROJECTING OF LIFT-MOVING COMPLEX FOR AIR CUSHION VEHICLES

T.B. Bogachova

The work is looking at opportunity of reception of blowing of the modernized axial fan (is considered on the basis of fan TSAGI) in a ring with the help of software product CosmosFloWorks for optimization lift-moving complex air cushion vehicles. It gave example selection of fans parameters. It pointed out an influence on characteristics of vehicles lift-moving complex inter depending on disposition of fan and ring by selected frequency of engine.

Key words: fan, screw in a ring, lift moving complex, air cushion vehicles.

Богачева Татьяна Борисовна – научный сотрудник НИЛ ОСКБ, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: vp_oskb@khai.edu.