

УДК 534.83:629.735.45

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПЛОЩАДОК ОГРАНИЧЕННЫХ РАЗМЕРОВ НА АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕСУЩЕГО ВИНТА

Е.А. БОРИСОВ, В.А. ЛЕОНТЬЕВ, Н.Н. ТАРАСОВ

Представлен анализ влияния площадок ограниченных размеров на аэродинамические характеристики несущего винта, полученный с использованием ранее проведенных исследований и некоторых результатов современных экспериментальных исследований.

Ключевые слова: площадки ограниченных размеров, несущий винт, взаимное влияние.

Введение

В настоящее время основным транспортным средством, связывающим с материком буровые платформы, используемые для добычи нефти и газа на прибрежном шельфе морей и океанов, являются вертолеты. Для их посадки на платформы и взлета с них оборудуются расположенные на значительной высоте над уровнем моря вертопалубы ограниченных размеров, площадь которых соизмерима с площадью, ометаемой несущим винтом вертолета.

Из-за сложного аэродинамического взаимовлияния вертолета и вертопалубы, представляющей собой экран ограниченных размеров, посадка вертолета сопряжена со значительными трудностями, которые могут привести к аварийным ситуациям.

Для исследования вопросов безопасной посадки вертолета необходимы методики, позволяющие учитывать указанное взаимовлияние. По имеющимся сведениям в настоящее время в нашей стране нет таких расчетных методик. Не дают исчерпывающей картины и имеющиеся экспериментальные материалы, в которых содержатся лишь отдельные фрагменты явления.

Поэтому весьма актуальным на сегодняшний день является создание математической модели движения вертолета при определении его летных характеристик, а также в процессе отработки на пилотажном стенде техники управления при выполнении посадок на площадки ограниченных размеров. Важной составляющей этой модели должны стать результаты широкомаштабного аэродинамического эксперимента, которые позволят достоверно учитывать все особенности взаимовлияния вертолета и экрана.

1. Постановка задачи

Обеспечение безопасности полетов воздушных судов является одной из главных задач авиационной промышленности. Авиационные происшествия и катастрофы, связанные с отказами систем вертолетов, составляют приблизительно третью часть от их общего количества. Главной причиной, определяющей безопасность эксплуатации вертолетов, являются ошибки экипажа, которые связаны в первую очередь с недостаточной подготовкой членов экипажа, особенно к действиям при возникновении особых ситуаций.

Еще одним фактором, усложняющим процессы взлета и посадки вертолета и оказывающим значительное влияние на безопасность полетов, является то, что в рассматриваемом случае вертолетная площадка имеет ограниченные размеры и высоко поднята над водной поверхностью. Вследствие этого силы и моменты, действующие на вертолет, будут нелинейно зависеть от положения вертолета относительно площадки.

Висение, взлет и посадка вертолета являются наиболее сложными режимами полета. Эти режимы характеризуются непрерывным изменением скорости углового положения вертолета относительно земли, искривлением траектории центра масс и стремлением к разбалансировке, вызванной изменением подводимой к несущему винту мощности двигателей. Кроме того, значительное влияние на мощность двигателей и процессы обтекания несущего и рулевого винтов и планера вертолета оказывают ветер, физические параметры атмосферы, размеры и положение вертолетной площадки.

Для исследования безопасности полета вертолета на режимах взлета с вертопалубы и посадки на нее необходимо учитывать специфику работы несущего винта в зоне влияния экрана ограниченных размеров на его аэродинамические характеристики. Предлагается учитывать специфику работы несущего винта в зоне влияния экрана ограниченных размеров с помощью экспериментальных коэффициентов следующего вида

$$K_i = f(\beta, \bar{V}, \bar{S}_{\text{ЭК}}, \bar{h}, \bar{L}, C_t/\sigma),$$

где K_i – коэффициенты влияния экрана ограниченных размеров на три силы и три момента несущего винта; β – направление воздушной скорости (рис. 1); $\bar{V} = V/(\omega R_H)$ – относительная воздушная скорость (отношение воздушной скорости V к скорости концов лопастей несущего винта ωR_H);

$\bar{S}_{\text{ЭК}} = \frac{S_{\text{ЭК}}}{S_H}$ – относительная

площадь экрана (отношение площади экрана $S_{\text{ЭК}}$ к площади несущего винта S_H); $\bar{h} = h/R_H$ – относительная высота над экраном (отношение высоты от центра втулки несущего винта до поверхности экрана h к радиусу винта R_H);

$\bar{L} = L/(R_{\text{Э}} + R_H)$ – относительное

перекрытие экрана несущим винтом (отношение расстояния от центра экрана до центра несущего винта L к сумме радиусов экрана и несущего винта $R_{\text{Э}} + R_H$); C_t/σ – величина относительной нагрузки несущего винта (отношение коэффициента силы тяги винта C_t к его заполнению σ).

Для определения поправочных коэффициентов необходимо провести в аэродинамической трубе исследования при изменении указанных параметров в широких пределах.

Анализ имеющегося зарубежного опыта эксплуатации вертолетов на взлетно-посадочных площадках ограниченных размеров (в том числе и буровых платформах) позволяет провести статистическую оценку различных параметров как самих площадок, так и эксплуатирующихся на них вертолетов.

Высота площадок над уровнем моря $25 \text{ м} \leq H_{\text{пл}} \leq 80 \text{ м}$, диаметр площадок находится в диапазоне $23 \text{ м} \leq D_{\text{пл}} \leq 31 \text{ м}$, а диаметр несущих винтов вертолетов в диапазоне $13 \text{ м} \leq D_H \leq 22 \text{ м}$. Таким образом, величина относительной площади экрана $1 \leq \bar{S}_{\text{ЭК}} \leq 5,7$, при этом масса эксплуа-

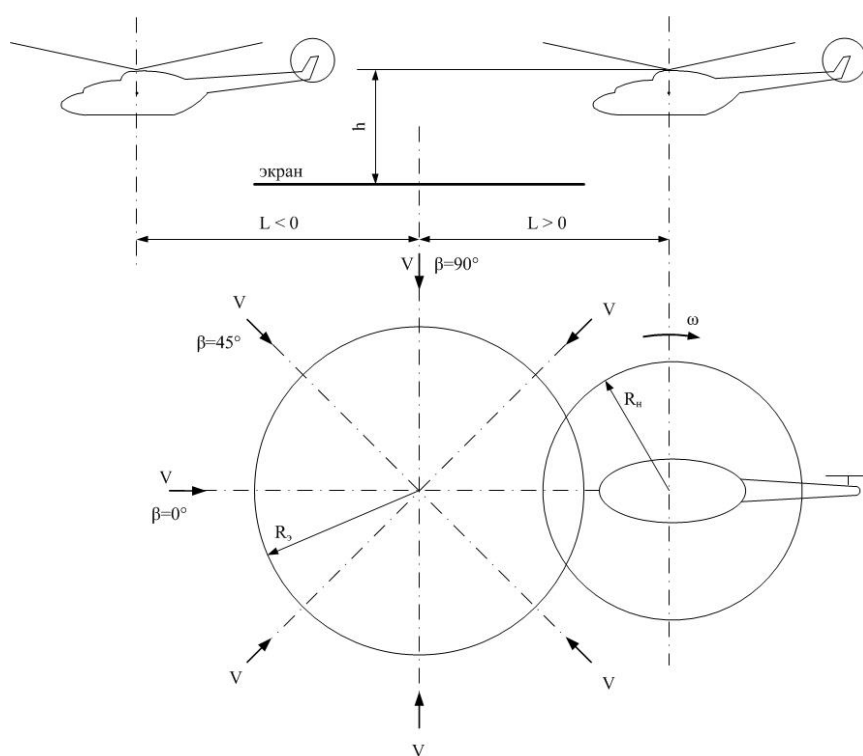


Рис. 1

тируемых вертолетов изменяется от 4,5 т до 20 т, что соответствует диапазону относительной нагрузки $0,07 \leq C_t/\sigma \leq 0,12$. Большинство отечественных вертолетов соответствует указанному диапазону масс и диаметров несущих винтов. Влияние водной поверхности из-за указанной высоты на аэродинамические характеристики винта и планера вертолета пренебрежимо мало.

Известно, что близость земли оказывает существенное влияние на аэродинамические характеристики несущего винта до высоты, примерно равной радиусу винта. Поэтому величина относительной высоты над экраном исследовалась в диапазоне $0 \leq \bar{h} \leq 1,5$.

Также на аэродинамические характеристики несущего винта, работающего в зоне влияния экрана ограниченных размеров, влияет угол атаки. На поступательных режимах с малыми скоростями углы атаки несущего винта малы. Поэтому для уменьшения объема экспериментальных исследований предлагается принять угол атаки несущего винта $\alpha = 0^\circ$.

2. Обзор экспериментальных работ

Изучению влияния близости земли и экрана на аэродинамические характеристики несущего винта были посвящены исследования Н.В. Горбунова и В.Ф. Антропова.

Так на рис. 2 приведены полученные Н.В. Горбуновым зависимости отношения коэффициента силы тяги несущего винта в присутствии экрана к коэффициенту силы тяги изолированно винта $\frac{C_t}{C_{t\infty}} = f(\bar{h})$, характеризующие влияние "воздушной подушки" (близости земли) на силу

тяги несущего винта вертолета Ми-4 на режиме висения при постоянной величине коэффициента крутящего момента несущего винта $m_k = const$.

Эти зависимости, в которых $C_{t\infty}$ – коэффициент силы тяги без учета "воздушной подушки", C_t – коэффициент силы вблизи земли, получены при двух относительных размерах экрана: конечного ($\bar{S}_3 = 1,2$) и практически бесконечного ($\bar{S}_3 = 22$).

Из представленных графиков видно, что с уменьшением расстояния от винта до экрана влияние экрана на величину коэффициента силы тяги винта увеличивается. При этом для экрана меньшей относительной площади это увеличение меньше.

На рис. 3, также полученном Н.В. Горбуновым, показано влияние на величину относительного коэффициента силы тяги $\frac{C_t}{C_{t\infty}}$ перекрытия экрана несущим винтом \bar{L} .

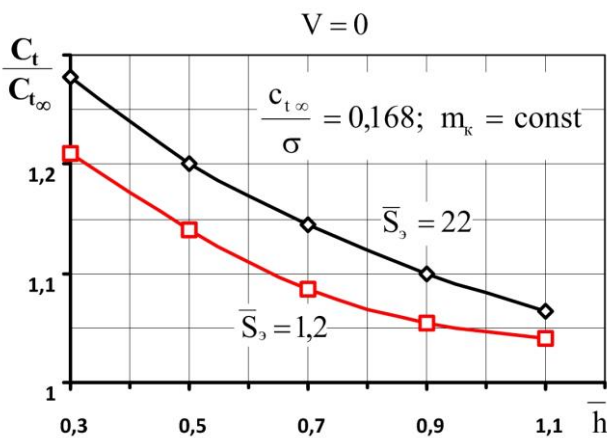


Рис. 2

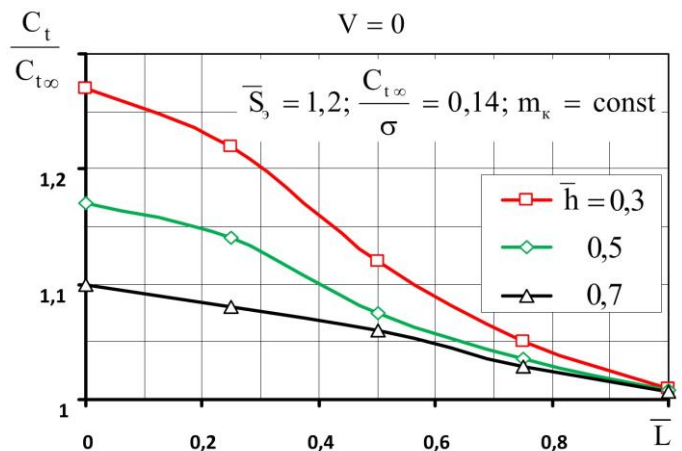


Рис. 3

Из приведенных зависимостей видно, что с уменьшением высоты винта над экраном влияние последнего на величину коэффициента силы тяги винта, как и на рис. 2, увеличивается.

По мере удаления оси несущего винта от центра экрана, то есть при увеличении параметра \bar{L} , как видно из рис. 3, величина коэффициента силы тяги винта при постоянной величине коэффициента крутящего момента уменьшается, и при $\bar{L} = 1$, когда перекрытия нет ($L = R_3 + R_H$), эффект влияния "воздушной подушки" отсутствует.

При смещении вертолета в горизонтальной плоскости относительно экрана, как видно из рис. 4, на втулке несущего винта появляется дополнительный положительный продольный момент, коэффициент которого $m_{z_{вт}}$ достигает максимума при величине $\bar{L} \approx 0,5$.

Значительное влияние на относительную величину коэффициента силы тяги $\frac{C_t}{C_{t\infty}}$ несущего винта оказывает не только относительная высота $\bar{h} = h/R_H$ над экраном, но и нагрузка на винт $\frac{C_t}{\sigma}$. Это отчетливо видно из приведенных на рис. 5 зависимостей, полученных В.Ф. Антроповым для винта с углом общего шага лопастей $\varphi_H = 9^\circ$, находящегося над центром экрана ($\bar{L} = 0$). Режим полета характеризуется величиной относительной скорости $\bar{V} = 0,048$ и углом атаки $\alpha = 0^\circ$. Все приведенные зависимости имеют существенно нелинейный характер.

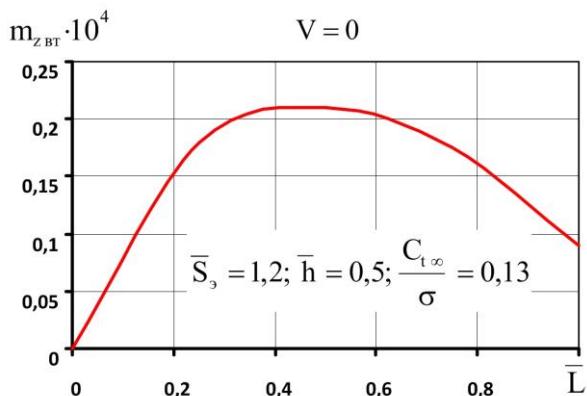


Рис. 4

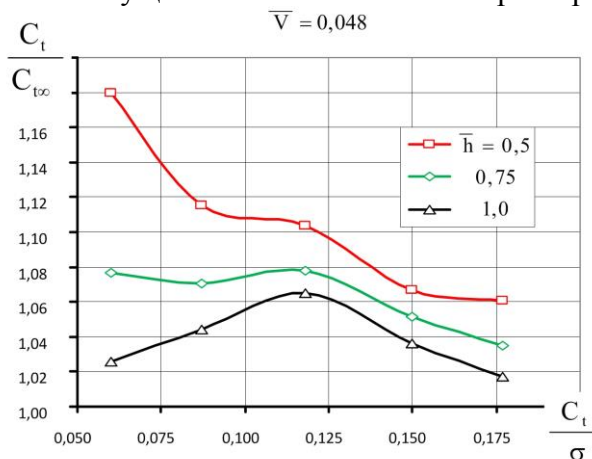


Рис. 5

Заметное влияние на относительную величину коэффициента силы тяги несущего винта, как видно из рис. 6, оказывает изменение относительной скорости полета и угла атаки винта. Особенно сильно это влияние проявляется при относительной скорости полета $\bar{V} \approx 0,1$.

Выполненные ранее эксперименты Н.В. Горбунова и В.Ф. Антропова и материалы работ [1-3] лишь частично отражают влияние экрана на аэродинамические характеристики несущего винта. В частности, они не охватывают полностью ни диапазоны возможных режимов полета, ни геометрические параметры, характеризующие относительную площадь экранов (отношение площади экрана к площади несущего винта), ни расположение вертолета относительно экрана.

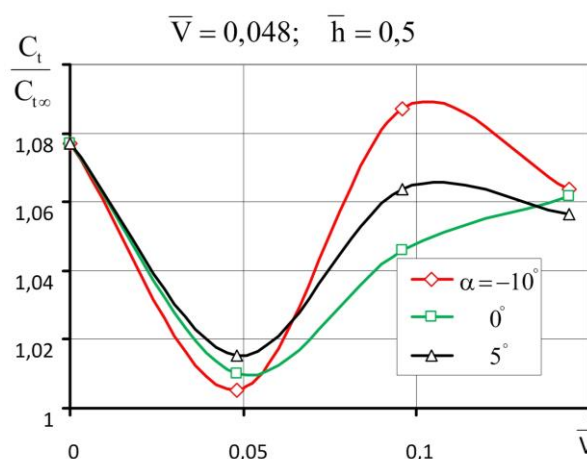


Рис. 6

Поэтому для исследования всего диапазона возможных режимов полета в ЦАГИ начат новый цикл экспериментальных исследований в этом направлении. Некоторые результаты этих исследований представлены в следующем разделе.

3. Результаты экспериментальных исследований

Испытания проводились в присутствии работающей модели несущего винта с экранами разных диаметров $\bar{S}_3 \approx 1; 1,6; 2,5; 9$ при изменении угла скольжения в диапазоне $180^\circ \geq \beta > 0^\circ$ и при различных положениях экранов $\bar{h} = 0,3; 0,6; 0,9; 1,2; 1,5$, $\bar{L} \approx -1; -0,5; 0; 0,5; 1$. Относительная скорость набегающего потока равнялась $\bar{V} = 0; 0,3; 0,6; 0,9$.

Отдельные примеры новых результатов приведены ниже.

На рис. 7 изображены зависимости $\frac{C_t}{C_{t\infty}} = f(\bar{h})$ при относительной скорости набегающего

потока $\bar{V} = 0,09$, при постоянной величине крутящего момента несущего винта $m_k = \text{const}$, когда диск находится непосредственно над экраном ограниченных размеров $\bar{L} = 0$. Из сравнения с рис. 2 видно, что кривые имеют тот же самый характер, с уменьшением расстояния от винта до экрана влияние экрана на величину коэффициента силы тяги винта увеличивается. При этом для экрана большей относительной площади это увеличение больше.

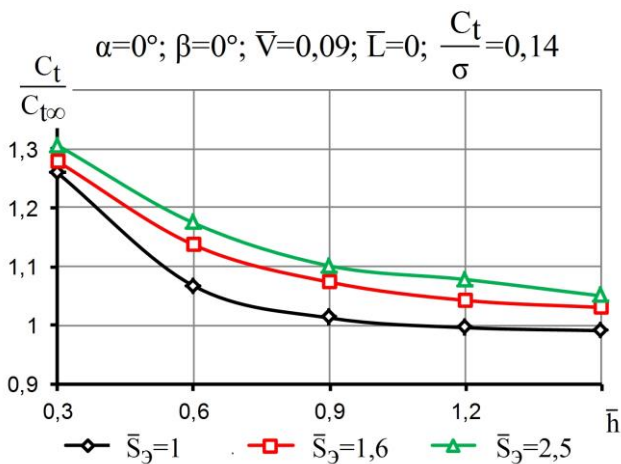


Рис. 7

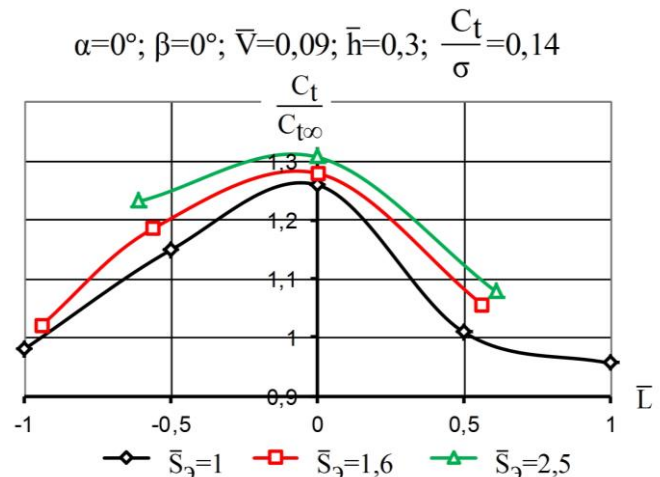


Рис. 8

Зависимости $\frac{C_t}{C_{t\infty}} = f(\bar{L})$ при той же относительной скорости набегающего потока представлены на рис. 8. Видно, что при увеличении площади экрана увеличивается и влияние экрана на величину $\frac{C_t}{C_{t\infty}}$. Необходимо отметить несимметричность влияния экрана на относительный

коэффициент подъемной силы. Так при "сходе" несущего винта с экрана ($\bar{L} = -0,5$) величина $\frac{C_t}{C_{t\infty}}$ больше, чем при "наезде" несущего винта на экран ($\bar{L} = 0,5$). Такое влияние экрана можно

объяснить тем, что при "наезде" несущего винта на экран "вихревой цилиндр" индуктивной скорости наклонен относительно оси вращения несущего винта в противоположную сторону от экрана. В случае "схода" несущего винта с экрана "вихревой цилиндр" наклонен в сторону экрана, создавая, таким образом, дополнительное приращение силы тяги несущего винта.

Рассмотрим влияние относительной нагрузки несущего винта на величину $\frac{C_t}{C_{t\infty}}$ (рис. 9) при движении несущего винта с $\bar{V} = 0,9$ над центром площадки ограниченных размеров $\bar{L} = 0$ на относительной высоте $\bar{h} = 0,3$. Видно, что при увеличении нагрузки несущего винта примерно до величины $\frac{C_t}{C_{t\infty}} = 0,1$ растет и величина $\frac{C_t}{C_{t\infty}}$. При дальнейшем увеличении нагрузки несущего винта величина $\frac{C_t}{C_{t\infty}}$ для экрана на $\bar{S}_3 = 1$ практически не изменяется, а величины $\frac{C_t}{C_{t\infty}}$ для $\bar{S}_3 = 1,6; 2,5$ снижаются и стремятся к величине $\frac{C_t}{C_{t\infty}}$ для экрана $\bar{S}_3 = 1$.

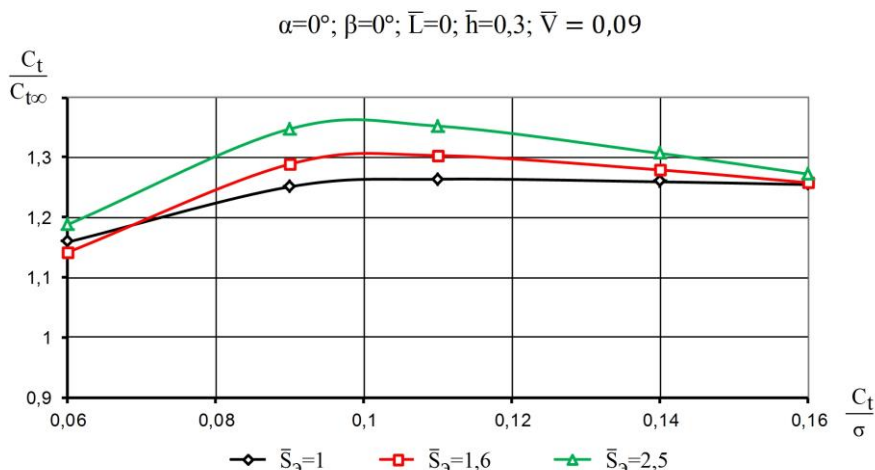


Рис. 9

При дальнейшем увеличении нагрузки несущего винта величина $\frac{C_t}{C_{t\infty}}$ для экрана на $\bar{S}_3 = 1$ практически не изменяется, а величины $\frac{C_t}{C_{t\infty}}$ для $\bar{S}_3 = 1,6; 2,5$ снижаются и стремятся к величине $\frac{C_t}{C_{t\infty}}$ для экрана $\bar{S}_3 = 1$.

4. Заключение

Из приведенных выше результатов экспериментальных исследований можно сделать вывод, что на характеристики несущего винта, работающего вблизи экрана, оказывает значительное влияние большое количество различных факторов: угол атаки винта, угол скольжения планера, относительная скорость набегающего потока, скорость ветра по отношению к вертолету и вертолетной площадке, относительная площадь экрана, относительная высота плоскости вращения винта над экраном, нагрузка на ометаемую площадь несущего винта, расположение центра втулки винта относительно центра экрана.

Таким образом, влияние экранов ограниченных размеров на аэродинамические характеристики винта имеет сложный характер и зависит от множества параметров.

Влияние близости экрана на аэродинамические характеристики корпуса вертолета, который не рассматривался в данной статье, еще более усложняется, так как на корпус влияет не только экран, но и несущий винт.

Результаты работы могут применяться при уточнении математической модели полета вертолета на режимах полета вблизи экранов, а также для уточнения нелинейной вихревой теории несущего винта, работающего в присутствии площадок ограниченных размеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Яцунович М.С. *Практическая аэродинамика вертолета Ми-8*. М.: Машиностроение, 1973. 296 с.
2. Володко А.М. *Основы летной эксплуатации вертолетов. Аэродинамика*. М.: Транспорт, 1984. 256 с.
3. Антропов В.Ф., Бураков Г.В., Дьяченко А.С. и [др.]. *Экспериментальные исследования по аэродинамике вертолета* / под ред. А.К. Мартынова. М.: Машиностроение, 1980. 240 с.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF INFLUENCE OF SITES SIZE RESTRICTIONS ON AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF THE ROTOR

Borisov E.A., Leontiev V.A., Tarasov N.N.

The analysis of the impact of limited size areas on the aerodynamic characteristics of the rotor obtained using previous studies and some of the results of modern experimental research are given.

Keywords: sites of limited size, rotor, mutual influence.

REFERENCES

1. **Yacunovich M.S.** *Prakticheskaya aehrodinamika vertoleta Mi-8*. M.: Mashinostroenie. 1973. 296 p. (In Russian).
2. **Volodko A.M.** *Osnovih letnoy ehkspluatatsii vertoletov. Aehrodinamika*. M.: Transport. 1984. 256 p. (In Russian).
3. **Antropov V.F., Burakov G.V., Djyachenko A.S. [i dr.].** *Ehksperimentaljnihe issledovaniya po aehrodinamike ver-toleta*. Pod red. A.K. Martihnova. M.: Mashinostroenie. 1980. 240 p. (In Russian).

Сведения об авторах

Борисов Евгений Александрович, 1979 г.р., окончил КАИ (2002), исполняющий обязанности начальника отдела вертолетного отделения ЦАГИ, автор 6 научных работ, область научных интересов – динамика полета вертолетов, математические модели, динамика винтов на больших скоростях полета.

Леонтьев Вениамин Александрович, 1946 г.р., окончил МАИ (1970), доктор технических наук, заместитель начальника вертолетного отделения ЦАГИ, автор 44 научных работ, область научных интересов – динамика полета винтокрылых аппаратов, аэроупругость винтов, математические модели.

Тарасов Николай Николаевич, 1941 г.р., окончил МАИ (1965), кандидат технических наук, начальник отдела вертолетного отделения ЦАГИ, автор более 60 научных работ, область научных интересов – аэродинамика винтов и корпусов вертолетов, формирование обликов и оценка эффективности винтокрылых аппаратов.