

УДК 629.735.015

ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВЕТРОПРИВОДА НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ САМОЛЕТАХ

В.П. АСОВСКИЙ¹, А.С. КУЗЬМЕНКО²

¹Научно-производственная компания «ПАНХ», г. Краснодар, Россия

²Южный Федеральный университет, г. Таганрог, Россия

В статье рассмотрены особенности размещения и функционирования ветропривода специального оборудования сельскохозяйственных самолетов для проведения авиационного опрыскивания. Представлены сведения по достоинствам и перспективам использования ветропривода на сельскохозяйственных самолетах, экспериментальные и расчетно-аналитические данные по неоднородности набегающего потока в зоне установки ветропривода и параметрам его работы при выполнении авиационного опрыскивания на примере самолета Ан-2 с серийным специальным оборудованием. Сформирована математическая модель ветряка в неоднородном набегающем потоке, разработан и апробирован с учетом экспериментальных данных программный пакет комплексной оценки условий и показателей работы ветропривода с учетом его параметров и данных самолета и режимов его полета. Получены характерные данные по работе ветряка и ветропривода в процессе опрыскивания, определены особенности динамики включения ветропривода на основных режимах и раскрутки ветряка при отсутствии нагрузки, представлены сведения по неравномерности силового нагружения лопастей ветряка при опрыскивании и переходных процессах, проведена количественная оценка влияния типового изменения параметров полета и работы силовой установки самолета при обработках на показатели функционирования ветропривода, подачи и внесения рабочих жидкостей. Сформулированы основные закономерности, качественные и количественные особенности применения ветропривода на авиационных работах и предложения и рекомендации по его перспективному совершенствованию и использованию. Результаты работы могут быть использованы при проектировании и модернизации ветропривода специального оборудования сельскохозяйственных самолетов и отработке эксплуатационных и технологических процедур выполнения ими авиационных работ в сельском и лесном хозяйствах.

Ключевые слова: самолет, опрыскивание, ветряк, насос, показатели, режим полета.

ВВЕДЕНИЕ

Выполнение авиационно-химических работ (АХР) является значительной сферой деятельности воздушного транспорта в России и за рубежом. В настоящее время и в ближайшей перспективе основную часть АХР выполняют самолеты, оснащенные специальной сельскохозяйственной аппаратурой, которая должна обеспечить распределение по обрабатываемым участкам веществ с заданными показателями нормы, дисперсности и равномерности. Наибольший интерес в этой связи представляет процесс авиационного опрыскивания сельскохозяйственных и лесных угодий, доля которого в последние годы составляет около 70 % АХР. В основе этого процесса лежит подача жидкости из бака сельскохозяйственного самолета (СХС) в систему распыла, обеспечивающую диспергирование жидкости и ее выпуск в поток, в котором осуществляется осаждение капель жидкости на обрабатываемые объекты под воздействие индуктивного следа самолета. Подача жидкости из бака традиционно осуществляется центробежными насосами, привод которых может производиться с использованием различных принципов. В настоящее время и в ближайшей перспективе для СХС наиболее распространенным является ветропривод (ВП), в котором привод насоса производится вращающимся в набегающем потоке ветряком. Достоинствами ВП являются конструктивная и эксплуатационная простота, низкая стоимость и затраты на обслуживание, небольшая масса и возможность получения достаточной мощности и оборотов привода насоса без дополнительного усложнения и утяжеления конструкции самолета [1, 2]. Эти достоинства определяют широкое распространение ВП на отечественных и зарубежных СХС преимущественно классической схемы, оснащенных, как правило, поршневыми (ПД) и турбовинтовыми (ТВД) двигателями с тянущими винтами (рис. 1).



Рис. 1. Характерная компоновка сельскохозяйственных самолетов с ветроприводом опрыскивающей аппаратуры:
a – АТ-401В с ПД воздушного охлаждения; *б* – АТ-502В с ТВД

Fig. 1. The typical layout of agricultural aircraft with wind–powered drive of spray equipment:
a – АТ-401В PD with piston air-cooled engine; *б* – АТ-502В with turboprop engine

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Отличительной особенностью компоновки ВП на СХС является его размещение в подфюзеляжной зоне в районе выходной горловины бака сельхозаппаратуры самолета (рис. 1, 2).

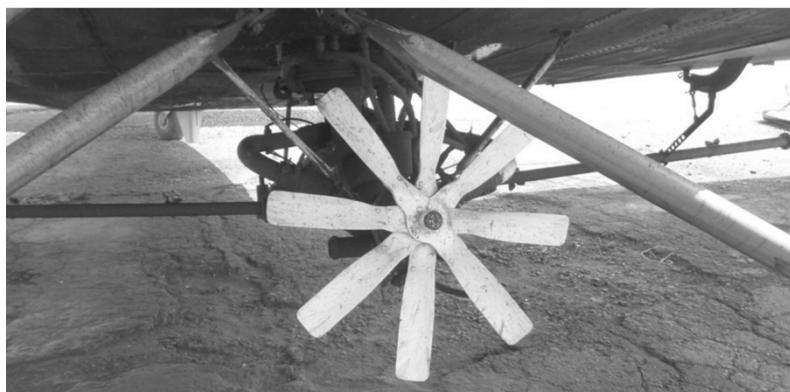


Рис. 2. Размещение ветряка Ш 7609-530 в составе серийного насосного агрегата опрыскивателя самолета Ан-2
Fig. 2. The placement of wind propeller Ш 7609-530 as part of the serial sprayer pump unit An-2

Данное обстоятельство неразрывно связано с работой ВП в струе воздушного винта (ВВ) самолета, что, как показывает опыт, оказывает существенное влияние на параметры функционирования ВП и подачи рабочей жидкости насосным агрегатом, а также показатели опрыскивания СХС в целом.

Скорость в струе ВВ зависит от режима работы силовой установки и скорости СХС и существенно отличается для точек, находящихся на различных удалениях от плоскости и оси ВВ [3, 4]. В свою очередь, в подфюзеляжной зоне самолета неоднородность поля скоростей ВВ дополнительно усугубляется влиянием элементов конструкции СХС, прежде всего фюзеляжа и крыла (крыльев). В этой связи можно констатировать, что при традиционной схеме размещения ВП на СХС ветряк привода на аппаратуре находится в неоднородном поле скоростей воздушного потока, параметры которого связаны с режимом полета и работы силовой установки самолета и оказывают очевидное влияние на показатели работы ВП и опрыскивателя в целом. Этот вывод подтверждается ранее полученными экспериментальными данными (Определение поля скоростей набегающего потока в зоне установки ветродвигателя для привода ЦБР к самолету Ан-2: отчет о НИР / В.А. Максимов, И.Н. Князькин, С.И. Кондратьев и др. Краснодар: НПО ПАНХ ГА, 1991. 29 с.), в соответствии с которыми в плоскости и зоне размещения ВП самолета Ан-2 (рис. 2) при приборных скоростях полета 160, 175 и 190 км/ч средние скорости потока

равняются соответственно 49,2; 54,0 и 57,1 м/с при максимальном «разбросе» их величины в разных точках зоны в пределах 25÷39 %.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВЕТРОПРИВОДА

Отмеченные обстоятельства требуют своего обязательного учета при оценке параметров функционирования ВП на СХС, что определяет необходимость уточнения общеизвестных методов расчета ветропривода, ориентированных на равномерный и однородный по скорости набегающий поток воздуха [5, 6].

В этой связи наиболее информативные целевые показатели работы ВП – мощность $N_{ВП}$ и скорость вращения $\omega_{ВП}$ – можно оценить по общим выражениям:

$$N_{ВП} = M_{ВП} \cdot \omega_{ВП}, \quad (1)$$

$$\frac{d\omega_{ВП}}{dt} = \frac{\Delta M}{I_{ВП}} = \frac{M_{ВП} - M_{НА}}{I_{ВП}}, \quad (2)$$

где $M_{ВП}$ – крутящий момент ветропривода (ветряка); $\omega_{ВП}$ – угловая скорость ветряка; ΔM – свободный крутящий момент ветропривода; $M_{НА}$ – момент вращения насосного агрегата (насоса); $I_{ВП}$ – момент инерции ветропривода.

Крутящий момент ветряка в (1), (2) определяется суммированием по $N_{ЛВ}$ его лопастям, т. е.

$$M_{ВП} = \sum_{i=1}^{i=N_{ЛВ}} M_{ли}, \quad (3)$$

где крутящий момент i -й лопасти находится интегрированием по ее рабочей части:

$$M_{ли} = \int_{r_0}^{r_{ВП}} Z_{ли}(r, \varphi) r dr, \quad (4)$$

где $Z_{ли}(r, \varphi)$ – элементарная боковая сила на элементе i -й лопасти ветряка с радиусом r ; $г_{ВП}$, r_0 – радиусы концевой и комлевой рабочих частей лопастей ветряка.

Элементарная боковая сила на i -й лопасти в (4) находится по соответствующим значениям элементарных сил сопротивления и подъемной силы из выражения

$$Z_{ли}(r, \varphi) = X_{wi}(r, \varphi) \cdot \cos(\theta) - Y_{wi}(r, \varphi) \cdot \sin(\theta), \quad (5)$$

где $\theta = \arctg(U_x/U_\omega)$ – угол притекания потока к плоскости вращения ветряка; $U_x = V + u_x(r, \varphi)$ – осевая скорость набегающего потока; V – скорость полета самолета; $u_x(r, \varphi)$ – индуктивная скорость потока в зоне элемента лопасти ВП; $U_\omega = \omega_{ВП} \cdot r$ – линейная скорость вращения элемента лопасти ветряка; $X_{wi}(r, \varphi)$, $Y_{wi}(r, \varphi)$ – элементарные сила сопротивления и подъемная сила элемента i -й лопасти, определяемые, соответственно, как

$$X_{wi}(r, \varphi) = 0,5 \cdot \rho \cdot c_x(\alpha) \cdot b(r) \cdot W^2(r, \varphi), \quad (6)$$

$$Y_{wi}(r, \varphi) = 0,5 \cdot \rho \cdot c_y(\alpha) \cdot b(r) \cdot W^2(r, \varphi), \quad (7)$$

где ρ – плотность воздуха; $c_x(\alpha)$, $c_y(\alpha)$ – коэффициенты сопротивления и подъемной силы профиля лопасти; $\alpha = \theta - \beta(r)$ – угол атаки элемента лопасти; $b(r)$, $\beta(r)$ – хорда и крутка лопасти ветряка

в заданном сечении на радиусе r ; $W(r, \varphi) = \sqrt{U_x^2 + U_\omega^2}$ – скорость набегающего на элемент лопасти потока.

Представленная математическая модель ВП (1)–(7) в поле осевой скорости набегающего неравномерного потока $U_x(r, \varphi)$ позволяет определить основные показатели работы ВП, установленного на СХС. Математическая модель была реализована в среде Delphi 7 в рамках сформированного с использованием подходов [2] программного пакета описания индуктивного следа СХС с варьированием параметров и режимов полета самолета в различных условиях. Расчетная апробация пакета осуществлялась на базе самолета Ан-2, который в настоящее время и по прогнозам в ближайшие 10–15 лет будет выполнять не менее половины АХР в стране. Для этого пакет был «настроен» описанием конфигурации самолета и его силовой установки в соответствии с данными самолета [7, 8], при этом в качестве базовых параметров ВП принимались заявленные и специально определенные данные серийного ветряка Ш 7609-530 и насоса Ш 501910.

РЕЗУЛЬТАТЫ АПРОБАЦИИ МОДЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ

Для примера оценки осевых скоростей в подфюзеляжной зоне самолета Ан-2 с использованием программного пакета на рис. 3 представлены расчетные эпюры скоростей $U_x(Z_v)$ в плоскости установки ветряка опрыскивателя самолета $X_v = 0,5$ м для разных уровней (удаления от низины фюзеляжа, рис. 2) Y_v с шагом 0,1 м при полете самолета массой 4000 кг со скоростью 160 км/ч, а также отмеченные ранее экспериментальные данные для этого режима в точках, наиболее близких к расчетным величинам Z_v при $Y_v = (-0,6 \pm 0,1)$ м. (Здесь и далее при описании подфюзеляжной зоны использовалась полусвязанная декартова система координат с центром, расположенным на низине фюзеляжа и пересечении плоскостей симметрии самолета и касательной к носку нижнего крыла поперечной плоскости, где оси X_v , Y_v и Z_v направлены соответственно назад, вниз и влево по полету.)

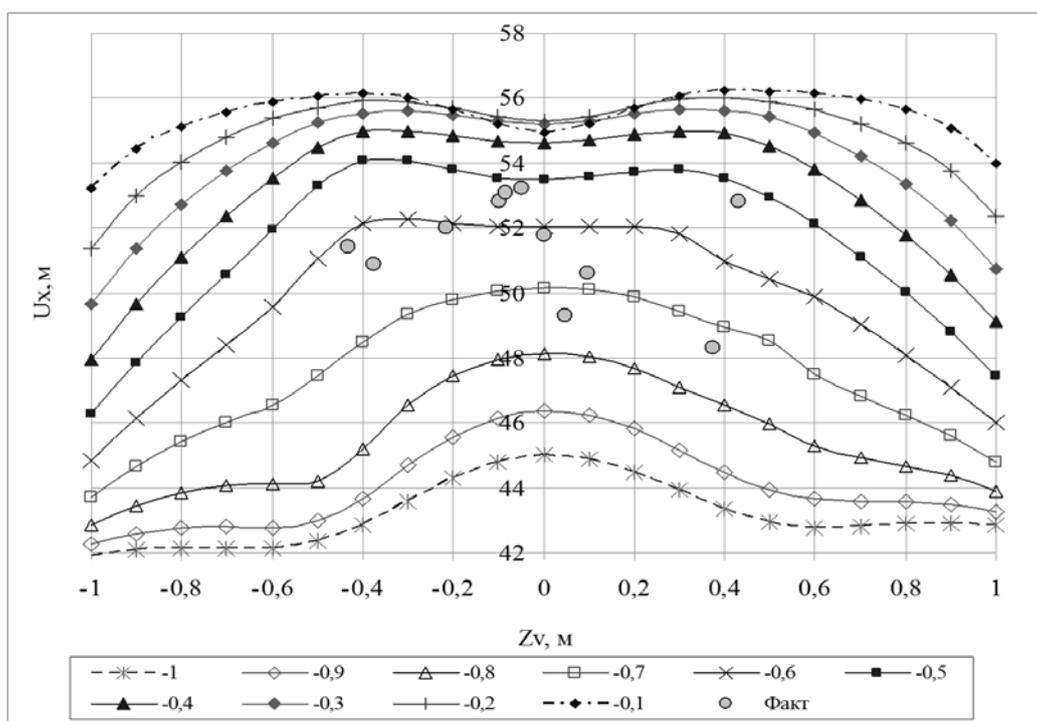


Рис. 3. Расчетное распределение и экспериментальные значения осевых скоростей в зоне размещения ветряка самолета Ан-2 при полетной массе 4000 кг и скорости 160 км/ч
Fig. 3. Rated distribution and experimental values of axial velocity in the area of wind propeller placement An-2 at flight weight of 4000 kg and the speed of 160 km/h

Сравнение представленных расчетных и экспериментальных данных показывает их достаточно высокую сходимость. В частности, средние величины расчетных и замеренных скоростей потока в окрестностях точки $Z_v = 0$ и $Y_v = 0,6$ м равняются, соответственно, 52,05 и 51,80 м/с (отличие – 0,5 %), в окрестностях точек при $Z_v = \pm 0,4$ м на том же уровне – 51,28 и 51,02 м/с (– 0,4 %). Средние по рассмотренной зоне ВП (1 м^2) расчетные и фактические величины U_x составляют 51,6 и 49,2 м/с (превышение 4,9 % обусловлено в т. ч. не учитываемым в расчетах «затенением» зоны стойками шасси, рис. 2). При этом наблюдается общая закономерность роста U_x по мере «приближения» к фюзеляжу при сопоставимом «разбросе» скоростей (соответственно 32 и 29 %), т. е. можно отметить приемлемую для практики точность и адекватность сформированного программного пакета для оценки поля осевых скоростей в зоне ВП.

Адекватное определение программным пакетом поля индуктивных скоростей самолета для заданного режима полета, в том числе в зоне размещения ВП его опрыскивателя, позволяет теоретически оценить показатели и особенности функционирования привода с заявленными параметрами ветряка и насоса опрыскивателя. На рис. 4 для примера показана расчетная динамика изменения мощности и оборотов при включении серийного ВП опрыскивателя самолета Ан-2 с ветряком Ш 7609-530 и насосом Ш 501910 при характерном для опрыскивания с нормой 100 л/га режиме полета ($V = 160$ км/ч, $H = 5$ м) при полетной массе 4700 кг, примерно соответствующей середине производственного полета.

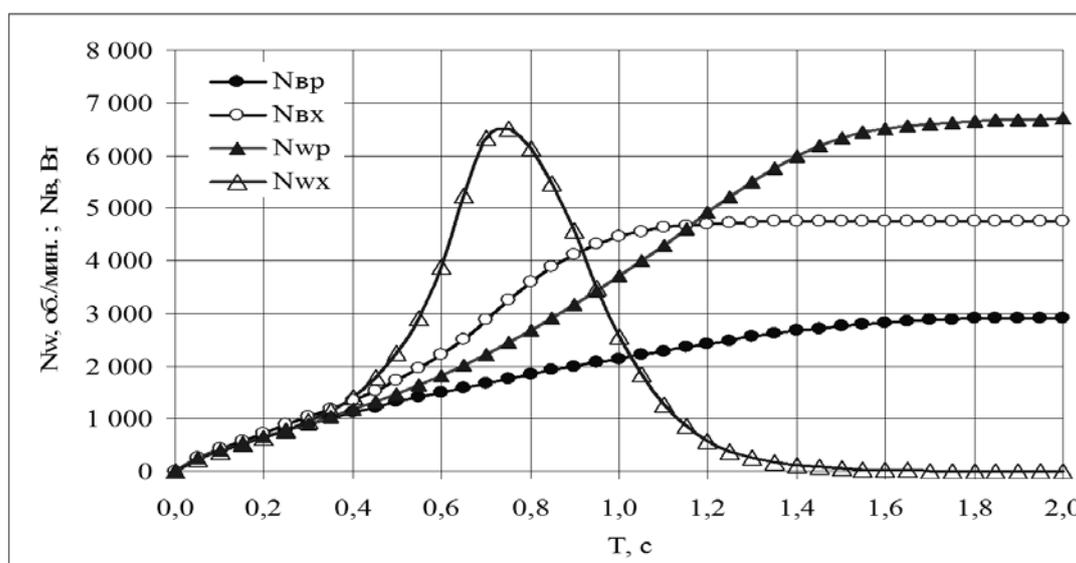


Рис. 4. Расчетное изменение параметров при включении серийного ветропривода самолета Ан-2 при полетной массе 4700 кг и скорости 160 км/ч

Fig. 4. Rated parameters change when the serial wind-powered drive of aircraft An-2 is on at flight weight of 4700 kg and the speed of 160 km/h

Из данных рис. 4 для заданного режима полета можно особо отметить:

- максимальная расчетная мощность ВП составляет около 6,7 кВт (8,9 л.с.), что несколько превышает заявленную (8 л.с. [7]) и определенную экспериментально (8,6 л.с.) величины;
- расчетная частота вращения ветряка на рабочем и холостом режимах, соответственно, около 2900 мин^{-1} и 4800 мин^{-1} , при этом для первого режима «фактические» значения составляют 3000 мин^{-1} [7] и $2700 \div 3000 \text{ мин}^{-1}$ по данным эксперимента, а для второго, соответственно, $4400 \text{ мин}^{-1} \div 5800 \text{ мин}^{-1}$;
- продолжительность выхода ВП на относительно стабильный режим подачи согласно расчету составляет $\approx 1,7$ с, что соответствует полученным экспериментальным данным (рис. 5).

Таким образом, разработанные программно-расчетные средства обеспечивают качественную и количественную адекватность и точность результатов расчетов и позволяют проводить объективные оценки показателей и особенностей функционирования ВП.

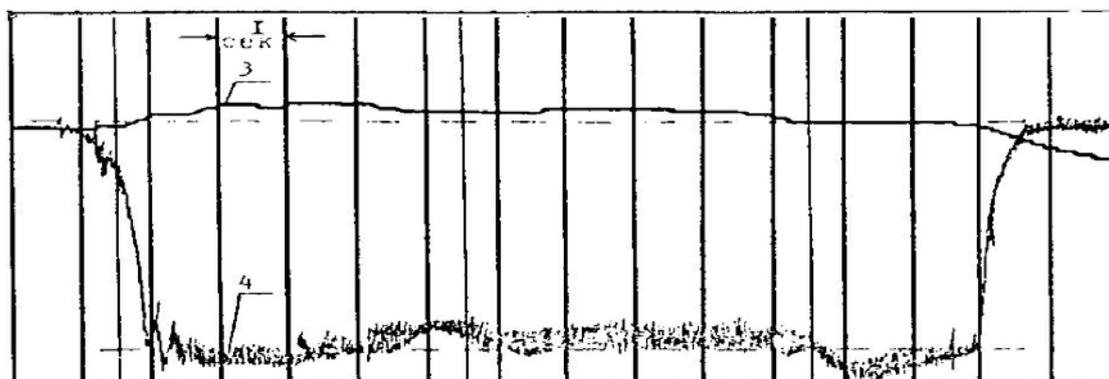


Рис. 5. Осциллограмма (фрагмент) записи величин скорости полета (3) и давления жидкости в насосе (4) на гоне в производственном полете самолета Ан-2
Fig. 5. Oscillogram (detail) of flight speed values (3) and pressure fluid pump (4) in the rut records in the production flight An-2

ОБСУЖДЕНИЕ И ПРИМЕНИМОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ

Из полученных данных можно также выделить ряд замечаний, связанных с практическим применением ВП на СХС. Во-первых, практически двукратное превышение частоты холостого хода (без подачи жидкости) над рабочим режимом («раскрутка») ветряка приводит к резкому увеличению нагрузок на ветряк, связанному с угрожающим безопасности полетов ростом вероятности разрушения его лопастей и потенциальным снижением срока службы ветряка, в связи с чем в эксплуатации необходимо предотвращать «раскрутку» ветряка, в т. ч. посредством использования в перспективе системы блокировки вращения ВП при выработке жидкости из бака. Во-вторых, длительный период выхода ВП на рабочий режим при одновременном включении привода и опрыскивания приводит к большой вариативности в это время выпуска жидкости как по ее объему (норме внесения), так и дисперсности (размер и плотность капель), что существенно ухудшает качество и результативность опрыскивания и связано с необходимостью синхронизации этих процессов, например, установкой дополнительных клапанов.

Следующей особенностью функционирования ВП в неоднородном поле скоростей является существенная повторно-переменная неоднородность нагружения лопастей ветряка в зависимости от их углового положения (рис. 6) как по времени (рис. 6,а), так и по радиусу лопастей (рис. 6,б).

Как видно из представленных графиков, для принятого режима работы ВП (полета СХС) при вращении ветряка возникающий на его лопастях крутящий момент изменяется в $1,05 \div 1,28$ раза, при этом минимальные значения момента наблюдаются для «нижнего» положения лопастей ($\varphi = 135 \div 225^\circ$), наибольшая его вариативность (более 25 %) имеет место при включении ветряка ($T = 0$) и его номинальном рабочем режиме ($T = 2$ с), а максимальная вариативность момента лопасти при использовании ВП превышает 150 %. В свою очередь, в заданный момент времени существенная неравномерность нагружения характерна и для разных сечений лопастей. В частности, при росте погонных боковых сил $Q_z = Z_{ли}(r, \varphi) / \Delta r_1$ от комля к законцовке лопастей ветряка их отличие составляет $1,4 \div 2,0$ раза с наибольшей вариативностью при $\varphi = \pm 90$, при этом нагрузки комлевой части лопасти ($r = 0,09$ м) минимальны и по величинам, и по их вариативности по углам поворота, в то время как нагруженность концевых участков лопасти ($r > 0,2$ м) при вращении изменяется примерно в 1,5 раза. Эта особенность, связанная с возникновением на лопастях ветряка дополнительных повторно-переменных нагрузок в характерном поле

осевых скоростей, является, как показывают расчеты, общей для применения ВП на СХС и нуждается в обязательном учете, как при проектировании ВП, так и при его эксплуатации.

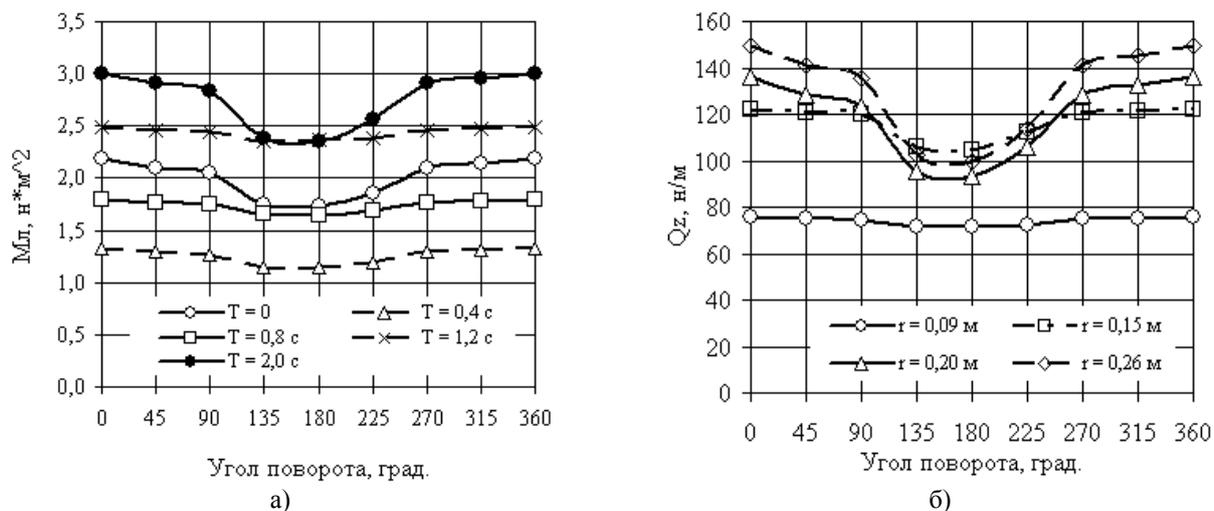


Рис. 6. Зависимость параметров нагружения лопастей ветряка Ш 7609-530 опрыскивателя самолета Ан-2 от углового положения для полетной массы 4700 кг и скорости 160 км/ч: а – крутящий момент лопасти при $T = \text{var}$; б – погонная боковая сила при $r = \text{var}$ для $T > 2$ с
Fig. 6. The dependence of the parameters of wind propeller blades loading Ш 7609-530 sprayer An-2 on the angular position of the flight weight of 4700 kg and a speed of 160 km/h; а – the torque of the blade at $T = \text{var}$; б – the linear lateral force at $r = \text{var}$ for $T > 2$ s

Как показывает практика, режим работы ВП при выполнении опрыскивания СХС не является постоянным даже в пределах одного захода (гона) на обрабатываемый участок, при этом отличия связанного с работой ВП давления насоса на гоне могут отличаться примерно на $\pm 10\%$ от номинального значения, что связано в том числе с непостоянством скорости полета самолета при опрыскивании (рис. 5). Непостоянство скоростей (режимов) полета СХС на гоне имеет объективный характер и определяется процедурами управления самолетом, ориентированными на выдерживание параметров опрыскивания и обеспечение безопасного выполнения полета. В частности, в соответствии с РЛЭ самолета Ан-2 [8], пилотирование самолета на АХР предусматривает следующие типовые операции:

- заход на гон посредством снижения в плоскости гона при уменьшенной мощности и тяге силовой установки для выдерживания скорости полета 160 км/ч с последующим выравниванием и включением опрыскивателя (характерная «точка» № 1);
- увеличение мощности двигателя на гоне при торможении самолета (точка № 2) для обеспечения требуемой рабочей скорости горизонтального полета (точка № 3);
- опрыскивание участка на примерно постоянной рабочей скорости (точка № 4);
- предварительное увеличение мощности силовой установки в конце гона для обеспечения последующего набора высоты по его окончанию (точка № 5).

При реализации указанной схемы управления в процессе опрыскивания существенным образом изменяется скорость полета и обдувки ветряка ВВ и связанные с ними показатели ВП. Типовой характер таких изменений иллюстрируют данные таблицы, построенной с использованием результатов аэродинамического расчета для рассмотренного ранее режима опрыскивания самолета Ан-2 с нормой 100 л/га при скорости 160 км/ч и полетной массе 4700 кг (в качестве базы приведения использовались параметры установившегося режима опрыскивания (№ 4)).

Как видно из представленных оценок, относительно небольшие изменения режима полета при выполнении опрыскивания связаны с достаточно серьезными изменениями показателей ВП, в частности, в процессе гона мощность и частота вращения ветряка изменяются, соответственно, в диапазоне 6,5÷9,1 л.с. и 2640÷2950 об/мин, т. е. могут отличаться на 39 и 12 %. В свою очередь, изменение

частоты вращения ВП с учетом известных закономерностей [9, 10] приводит к соответствующим изменениям параметров работы насоса, в частности, развиваемое насосом приведенное давление (напор) в рассмотренном случае варьируется в диапазоне $0,82 \div 1,02$, т. е. аналогично экспериментальным данным с размахом около 20 %. Изменение давления на входе в систему диспергирования (распылительные устройства) естественным образом приводит к изменению реализованных ее расходных и дисперсных характеристик, при этом для рассмотренного варианта при осредненных параметрах напорных распылителей расход и среднеобъемный диаметр капель диспергируемой жидкости на гоне варьируется соответственно в пределах 12 и 6 %, что с учетом скорости полета эквивалентно варьированию показателей внесения жидкости (по норме и плотности капель) в пределах 10 %. Это же замечание, как показывает анализ, в полной мере относится и к другим частным реализациям пилотирования самолета при выполнении опрыскивания с заданными параметрами, например, при заходе на гон при повышенном режиме работы силовой установки (рис. 5).

Таблица 1
Table 1

Характерное изменение на гоне показателей ветропривода и опрыскивания самолета Ан-2
The typical change of wind-powered drive and spraying parameters the An-2 in the rut

Характерные точки Typical Points	1	2	3	4	5
Скорость полета, км/ч Flight Speed, km/h	160	150	150	160	160
Мощность двигателя, л.с. Engine Power, hp	430	430	640	640	730
Тяга воздушного винта, даН Propeller Thrust, daN	570	570	850	850	960
Мощность ВП, л.с. Wind-powered Drive Power, hp	7,42	6,54	7,86	8,90	9,08
Частота вращения ВП, об/мин The Rotation Speed, vol./min.	2750	2640	2800	2920	2950
Приведенные величины The values given					
– частота вращения ВП – the rotation speed	0,942	0,904	0,959	1,000	1,010
– давление насоса – pump pressure	0,887	0,817	0,919	1,000	1,021
– расход (выпуск) жидкости – flow (rate) of liquid	0,942	0,904	0,959	1,000	1,010
– среднеобъемный диаметр капель – average volume droplet diameter	1,030	1,052	1,021	1,000	0,995
– норма внесения жидкости – fluid entering the norm	0,942	0,964	1,023	1,000	1,010
– плотность капель на участке – the drops density in the area	0,914	0,917	1,002	1,000	1,015

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Характеризуя особенности и перспективы применения ВП на СХС, можно отметить, что отработанные в отечественной и зарубежной практике подходы и технические решения использования аэродинамического принципа привода опрыскивающей аппаратуры в подфюзеляжной

зоне самолетов классической схемы в струе воздушного винта с использованием ветряков имеют множество важных преимуществ и реальные перспективы для создания новой и модернизации существующей аппаратуры для находящихся в эксплуатации и вновь разрабатываемых самолетов для АХР. При этом в процессе проектирования, отработки технологии применения и эксплуатации ВП в составе опрыскивателей обязателен детальный учет существенной неоднородности набегающего в полете на ветряк потока, определяющего повышенную неравномерность нагружения его лопастей и интегральные показатели ВП и выполненного СХС опрыскивания в целом, а также создание в перспективе систем автоматического регулирования опрыскивателей, компенсирующих выявленные в исследовании недостатки ВП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Квонтик Х.Р.** Справочник пилота сельскохозяйственной авиации: пер. с англ. М.: Транспорт, 1991. 255 с.
2. **Асовский В.П.** Теория и практика авиационного распределения веществ. М.: Воздушный транспорт, 2008. 580 с.
3. **Теуш В.Л.** Общий курс воздушных винтов / В.Л. Теуш, И.А. Сидоров. М.: Оборонгиз, 1943. 281 с.
4. **Александров В.Л.** Воздушные винты. М.: Оборонгиз, 1951. 475 с.
5. **Шефтер Я.И.** Ветроэнергетические агрегаты. М.: Машиностроение, 1972. 288 с.
6. **Пигот Х.** Расчет лопастей для ветряков [Электронный ресурс]. URL: http://www.rosinmn.ru/VETRO_bladeDesign.htm (дата обращения: 22.09.2016).
7. **Радченко И.В., Крамчанинов В.П., Дубринский В.П.** Самолет Ан-2. М.: Транспорт, 1969. 440 с.
8. Руководство по летной эксплуатации самолета Ан-2. М.: Воздушный транспорт, 1984. 199 с.
9. **Калицун В.Д., Дроздов Е.В.** Основы гидравлики и аэродинамики. М.: Стройиздат, 1980. 247 с.
10. **Ломакин А.А.** Центробежные и осевые насосы. 2-е изд. перераб. и доп. М.–Л.: Машиностроение, 1966. 364 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Асовский Валерий Павлович, доктор технических наук, ученый секретарь Научно-производственной компании «ПАНХ», asovsky@panh.ru

Кузьменко Алла Сергеевна, аспирант, ассистент Южного Федерального университета, all7212@mail.ru.

FEATURES AND PROSPECTS FOR USE OF WIND-POWERED DRIVE ON AGRICULTURAL AIRPLANE

Valery P. Asovsky¹, Alla S. Kuzmenko²

¹*PANH Helicopters, Krasnodar, Russia*

²*Southern Federal University, Taganrog, Russia*

ABSTRACT

The article deals with the wind-powered drive location and functioning peculiarities of agricultural airplane special equipment. The data on the advantages and prospects of the use of the wind-powered drive on agricultural aircraft as well as the experimental and analytical data on discontinuity of the wind stream in the zone of the wind-powered drive installa-

tion and parameters of its operation at aerial spraying on the example of specially equipped An-2 are presented. A mathematical model of a wind propeller in discontinuous wind stream is developed. Software package to comprehensively assess wind-powered drive conditions and performance indicators is generated and tested taking into account experimental data, as well as airplane performance and flight modes. The typical data on the wind propeller and the wind-powered drive in the spraying process are received; specific features of the dynamics at the wind-powered drive turning-on and the wind propeller rotation at zero load are determined and the data on the wind-propeller blades load imbalance at spraying and transient processes are defined. The author made a quantitative estimation of how the standard change of flight parameters and the operation of the aircraft power plant at spraying influence on the factors of wind-powered drive operation and working liquids supply. The main tendencies, qualitative and quantitative aspects of a wind-powered drive use are defined when performing aerial works and the proposals and recommendations for improving and using it in the future are made. The findings of the work can be used in the wind-powered drive of agricultural airplane special equipment designing and modernization and drilling of the operational and technological procedures of aerial works performance in agriculture and forestry.

Key words: airplane, spraying, wind propeller, pump, indicators, flight mode.

REFERENCES

1. **Kvontik H.R.** *Spravochnik pilota sel'skoho zjajstvennoj aviacii* [Reference book of the pilot of agricultural aircraft]. *Transport* [Transport]. Moscow. 1991. 255 p. (in Russian)
2. **Asovskiy V.P.** *Teoriya i praktika aviatsionnogo raspredeleniya veshchestv* [Theory and practice of aerial crop dusting]. *Vozdushny transport* [Air Transport]. Moscow. 2008. 580 p. (in Russian)
3. **Teush V.L., Sidorov I.A.** *Obshchiy kurs vozdushnykh vintov* [Propeller general course]. *Oborongiz* [State Publishing House for Military Literature]. Moscow. 1943. 281 p. (in Russian)
4. **Aleksandrov V.L.** *Vozdushnye vinty* [Air propellers]. *Oborongiz* [State Publishing House for Military Literature]. Moscow. 1951. 475 p. (in Russian)
5. **Shefter Ya.I.** *Vetroenergeticheskie agregaty* [Wind-power generating units]. *Mashinostroenie* [Industrial Engineering]. Moscow. 1972. 288 p. (in Russian)
6. **Pigot Kh.** *Raschet lopastey dlya vetryakov* [Calculation of the wind-propeller blades]. Available at http://www.rosinmn.ru/VETRO_bladeDesign.htm (accessed 22.09.2016). (in Russian)
7. **Radchenko I.V., Kramchaninov V.P., Dubrinskiy V.P.** *Samolet An-2* [An-2 airplane]. *Transport* [Transport]. Moscow. 1969. 440 p. (in Russian)
8. *Rukovodstvo po letnoy ekspluatatsii samoleta An-2* [An-2 Airplane Flight Manual]. *Vozdushny transport* [Air Transport]. Moscow. 1984. 199 p. (in Russian)
9. **Kalitsun V.D., Drozdov E.V.** *Osnovy gidravliki i aerodinamiki* [Basics of hydraulics and aerodynamics]. *Stroyizdat* [Publishing House for Construction and Building Literature]. Moscow. 1980. 247 p. (in Russian)
10. **Lomakin A.A.** *Centrobezhnye i osevye nasosy* [Centrifugal and axial pumps. Revised and added 2nd edition]. *Mashinostroenie* [Industrial Engineering]. Moscow. Leningrad. 1964. 364 p. (in Russian)

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Asovsky Valery Pavlovich, Doctor of Science, Scientific Secretary of PANH Helicopters, asovsky@panh.ru.

Kuzmenko Alla Sergeevna, PhD student, Teaching Assistant of the Southern Federal University, all7212@mail.ru.