

УДК 629.735.45

Разработка ассистирующей системы повышения качества авиахимических работ

А.С. Копкин ,В.В. Дудник

Аннотация. В статье представлен алгоритм работы ассистирующей системы сельскохозяйственного вертолета, позволяющей регистрировать сведения авиахимической обработки и выдавать летчику данные об оптимальной траектории движения на гонах в зависимости от текущего состояния ветра. Также представлены результаты экспериментального полета сельскохозяйственного вертолета с такой системой, работающей в режиме регистратора.

Ключевые слова: авиахимические работы, снос химиката, карта поля, качество опрыскивания.

Проведение авиахимических работ является сложным и зачастую потенциально опасным мероприятием. В первую очередь это обусловлено потенциальной опасностью химических препаратов. Неточное внесение препаратов, обусловленное в первую очередь ветром, может нанести существенный урон как окружающей среде, соседним посевам, так и здоровью человека.

При проведении авиахимических работ влияние бокового ветра на оседание мелкодисперсных капель жидкости учитывается субъективно самим летчиком воздушного судна. При этом на сельскохозяйственных летательных аппаратах ни сверхлегкой, ни даже легкой весовой категории, как правило, нет устройств контроля состояния ветра за бортом. Учет и коррекционное движение осуществляет сам пилот по собственным ощущениям. Конечно, такой подход не позволяет достичь высоких результатов точности и равномерности внесения химических препаратов и не позволяет оценить влияние авиахимических работ (АХР) на плодородность культур. Тем не менее, современная электронная элементная база

позволяет оснастить системами регистрирующими реальную химическую обработку и даже ассистирующие пилоту в реальном масштабе времени даже летательные аппараты нижней ценовой категории.

Ветер, даже незначительный, вносит существенное искажение в покрытие полей химическими веществами. Как правило, это выражается в наличии непокрытых частей поля, частей имеющих избыточную плотность обработки и полей и лесонасаждений подвергшихся несанкционированной обработке.

Учет реального распределения химических препаратов можно вести определив направление и скорость ветра и пересчитывая зоны обработки в зависимости от данных высоты по алгоритмам расчета осаднения капель. Структурная схема такого расчета показана на рисунке 1. Данный подход, конечно, может быть применен практически к любым летательным аппаратам, однако сами алгоритмы и их техническая реализация оптимизированы для сверхлегкой авиации (СЛА), основным требованиями которых являются низкая цена, малая масса, простота конструкции и совместимость с бортовой электрической сетью (напряжением 12В).

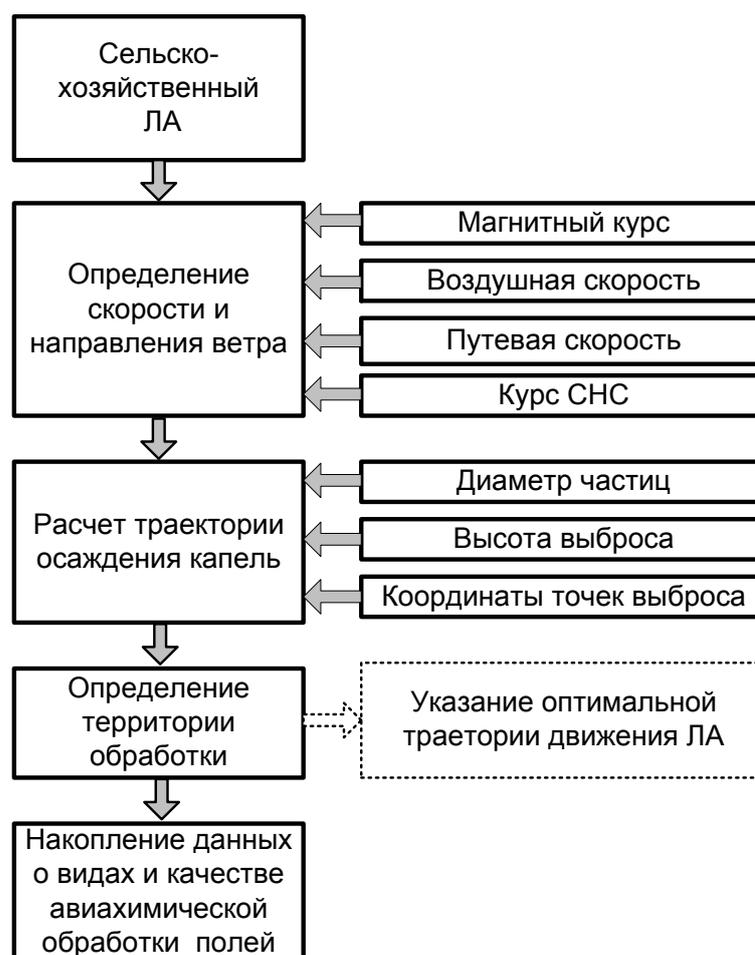


Рис. 1. Схема определения качества авиахимической обработки и работы ассистирующей системы сельскохозяйственного летательного аппарата.

Определение направления и скорости ветра осуществляется по треугольнику скоростей (рис.2)

По разнице между истинным и магнитным курсом вертолета можно определить угол сноса:

$$\alpha_g = M_g - \psi \quad (1)$$

где M_g - магнитный курс летательного аппарата;

ψ - истинный курс аппарата.

После того, как определен угол сноса, можно рассчитать силу и направление вектора ветра. Модуль вектора скорости ветра в этом случае рассчитывается следующим образом:

$$|W| = \sqrt{|V_{gps}|^2 + |V_{air}|^2 - 2 \cdot |V_{gps}| \cdot |V_{air}| \cdot \cos(\alpha_g)} \quad (2)$$

где V_{gps} - модуль вектора истинной скорости, определяемой по спутниковой навигационной системе (СНС),

V_{air} - модуль вектора воздушной скорости.

Затем по формулам тригонометрии может быть рассчитан угол между вектором воздушной скорости и вектором скорости ветра:

$$\beta_g = \arccos \left(\frac{|V_{air}|^2 + |W|^2 - |V_{gps}|^2}{2 \cdot |V_{air}| \cdot \|W\|} \right) \quad (3)$$

Имея полученные значения, можно вычислить угол между вектором скорости ветра от истинным курсом ЛА:

$$\theta = 180 - \beta_g - \alpha_g \quad (4)$$

Значения ортогональных составляющих скорости ветра определяются по следующей формуле:

$$W_x = |W| \cdot \cos \theta \quad (5)$$

$$W_z = |W| \cdot \sin \theta \quad (6)$$

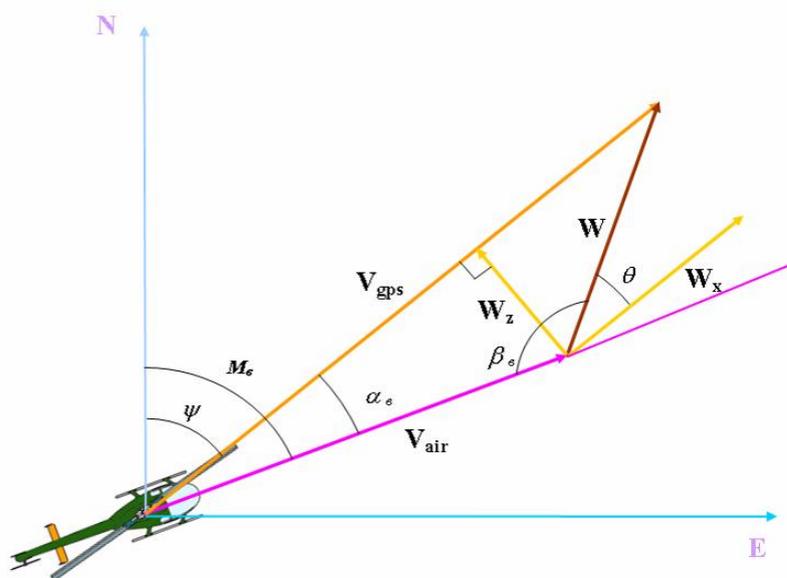


Рис. 2. Определение скорости и направления ветра по углу сноса.

После определения скорости ветра необходимо выполнить расчет осаждения капель. Для этого была создана упрощенная модель движения капель после выброса из распылителей сельскохозяйственного вертолета.

Блок-схема основной программы представлена на рисунке 3.



Рис.3. Блок-схема расчета траектории капель.

Для упрощения расчета полосы химической обработки в процессоре вычислительного модуля, связанного с химической аппаратурой, целесообразно использовать алгоритмы аппроксимации данных на промежуточных значениях. Для выполнения этого была использована аппроксимация полученных расчетных данных методом наименьших квадратов кривыми третьего и четвертого порядка. Порядок аппроксимирующих кривых был выбран исходя из наибольшей величины достоверности аппроксимации при наименьшем порядке полинома кривой. Использовались зависимости величины сноса от двух переменных – высоты и боковой составляющей скорости ветра.

Примеры результатов построения трехмерных поверхностей границ обработки поля по функциям высоты и поперечной составляющей скорости ветра представлены на рисунке 4 для подветренной и противоположной стороны. Данные зависимости имеют простой вид и могут быть реализованы в любом простом процессоре, используемом для контроля авиационной химической обработки.

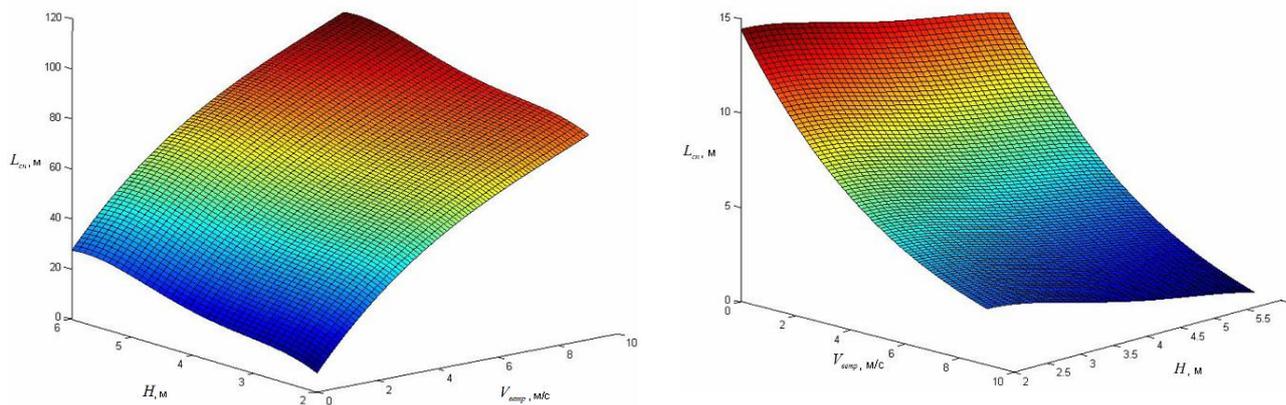


Рис.4. Зависимость величины сноса внешней части (слева) и внутренней части (справа) полосы обработки от высоты и скорости бокового ветра при диаметре каплей 300 мкм.

После того как определены скорость ветра и траектория осадения каплей с учетом текущих атмосферных условий становится возможным использование простейшей ассистирующей системы, которая может указывать направление движения вертолета при АХР и регистрировать параметры АХР.

Ассистирующие системы сельскохозяйственной обработки широко применяются в наземной технике. Как правило, ассистирующий индикатор указывает направление коррекции движения – вправо или влево. Аналогичная система может быть выполнена и для воздушного судна. Для оказания помощи летчику должен быть добавлен индикатор направления перемещения. Действующий макет индикатора на основе светодиодных указателей представлен на рисунке 5.



Рис.5. Внешний вид индикатора ассистирующей системы.

Принцип работы системы следующий. В течение прохождения первого гона по команде пилота происходит сохранение данных координат точек в момент фиксации

координат от приемника СНС. На последующих гонах система виртуально отсчитывает дистанцию в поперечной плоскости на которую и идет указание индикатора. При отклонении от траектории оптимального движения по гону срабатывает индикация, указывающая на направление необходимого смещения и его величину. Шаг смещения в сторону следующего гона задается по суммарной ширине обработки с подветренной и обратной стороны, которые определяются по расчетам траектории осаждения частиц. После начала работы ассистирующей системы должно осуществляться накопление статистики точек первого гона траектории движения летательного аппарата (ЛА). В течение первого гона эксплуатант должен запустить в ручном режиме фиксацию точек траектории.

Расчет траектории осуществляется в координатной системе связанной с первой полученной точкой. После сохранения точек первого гона необходимо произвести преобразование координат всех точек в систему координат связанную с полем. Пересчет данных для всех точек, записанных во время прохождения гона позволяет получить массив координат всех записанных точек в новой связанной системе координат.

Для определения траектории движения ЛА на втором и последующих гонах строится кривая, идентичную траектории первого гона, но сдвинутая на величину кратную величине полного ширины обработки с учетом влияния ветра. Однако, смещенный массив координат точек первого гона в чистом виде не позволяет определить как отклоняется воздушное судно от оптимальной траектории гона.

Для определения отклонения летательного аппарата от расчетной траектории необходимо построение функции на основе массива точек. В связи с возможным большим количеством точек в массиве было принято решение строить функцию на участке траектории. По мере движения воздушного судна по гону определять функцию при каждом смещении ординаты текущего положения на одну точку массива или более. Численное моделирование показало, что для качественного определения кривой на участке между двумя точками массива достаточно использовать 4 ближайшие точки массива для построения функции.

Как показало моделирование, выполненное на созданной эмуляционной программе, траекторию движения воздушного судна по 4 точкам, получаемым от приемника СНС (рис.6) с достаточной степенью точности можно аппроксимировать уравнением второго порядка. Построение осуществляется методом наименьших квадратов.

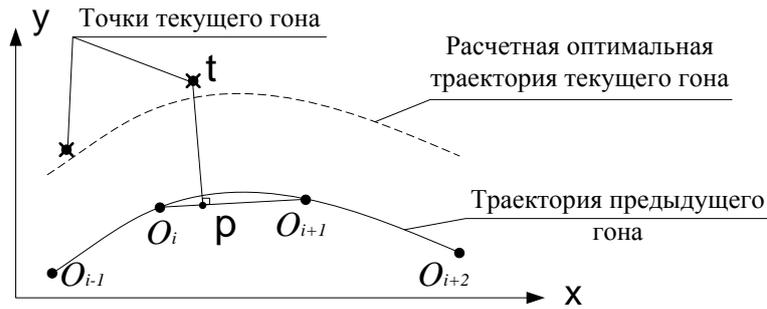


Рис. 6. Схема определения отклонения летательного аппарата от расчетной траектории гона.

Генерируя направление индикации по знаку Δl_{tp} , а отклонение индикации по величине Δl_{tp} , системой принимается решение на выдачу рекомендации эксплуатанту воздушного судна о необходимых действиях при выполнении АХР.

Описанная ассистирующая система может работать и в режиме простого регистратора авиахимической обработки, способного определить качество обработки поля. Эксперимент по проверке ее эффективности в таком режиме проводился на сельскохозяйственном вертолете Ми-2 с установленным внутри салона оборудованием. Так как все оборудование адаптировано для сверхлегкой техники, то система была полностью автономна и имела свой источник питания 12В. Для выполнения эксперимента был выполнен полет, имитирующий химическую обработку поля. Было размечено небольшое поле, практически не имеющее кривизну. Высота полета 3м выдерживалась по дополнительному барометрическому указателю, с разрешающей способностью 0,3м. Летчик не имел ассистирующего индикатора и осуществлял движение только по штатным приборам и своим ощущениям.

По результатам полета был проведен расчет величин площадей, в том числе:

- обработанной площади поля,
- необработанной площади поля (площадь пропусков),
- площади поля с повышенной плотностью обработки (двойная обработка),
- площади несанкционированной обработки (выход за границу поля).

График рассчитанного направления ветра показан на рисунке 7, а скорость ветра на рисунке 8.

На данных графиках отмечены интервалы химической обработки, засекаемые по включению и выключению кнопки (аналогичной кнопке насоса химической жидкости) на летательном аппарате.

Ввиду того, что выдаваемые магнитометром данные не являются корректными при значительных углах крена и тангажа, адекватность модели можно оценивать лишь на тех участках, где сохранялось прямолинейное движение летательного аппарата, т. е. имитировалась химическая обработка.

Средние значения скорости и направления ветра на установившихся участках разных гонов представлены в таблице 1. Видно, что величина погрешности по скорости ветра составила 6,2%, а по направлению 3,2% (отнесенная к $\frac{\pi}{2}$). Среднее значение ветра было – 2,9м/с при направлении 309°. Точность системы можно повысить путем введения фильтрации сигналов в первой части гона с использованием данных о ветре предыдущего гона.

Таблица 1.

Результаты экспериментальных данных определения скорости и направления ветра.

	Гон 1	Гон 2	Гон 3	Гон 4	Весь полет
Средняя величина скорости ветра, м/с	2,84	2,94	3,12	2,73	2,91
Среднеквадратичное отклонение скорости ветра, м/с	0,18	0,14	0,18	0,22	0,18
Среднеквадратичное отклонение скорости ветра, %	6,3	4,7	6,3	8,1	6,2
Средняя величина направления ветра, град	312,1	304,8	313,6	305,7	309,1
Среднеквадратичное отклонение направления ветра, град	7,5	3,4	9,2	3,7	5,9
Среднеквадратичное отклонение направления ветра, %	4,2	1,9	5,1	2,0	3,2

По полученным в результате эксперимента табличным данным была построена траектория полета и рассчитана карта обработки поля, которая имела вид, представленный на рисунке 9. Движение воздушного судна практически точно совпадало с направлением восток-запад. Расчет площади обработки показал, что в данном эксперименте для поля 4,49 га всего условно было обработано 3,95га. Не подверглось обработке 0,54га (12,0%), двойной обработке подверглось 0,66га (14,7%). несанкционированной обработке подверглось 0,41 га соседних территорий или 8,3% от всей площади обработки.

Таким образом, ассистирующая система может использоваться и как регистратор качества обработки полей. В данном эксперименте величина скорости ветра была незначительна и результаты ошибок обработки летчика оказались небольшими. В случае

увеличения скорости ветра, погрешности обработки поля, могут быть весьма существенными. Применение ассистирующей системы позволит повысить точность обработки, а накопление данных обеспечит сельхозпроизводителей базой данных о химической обработке за разные периоды.

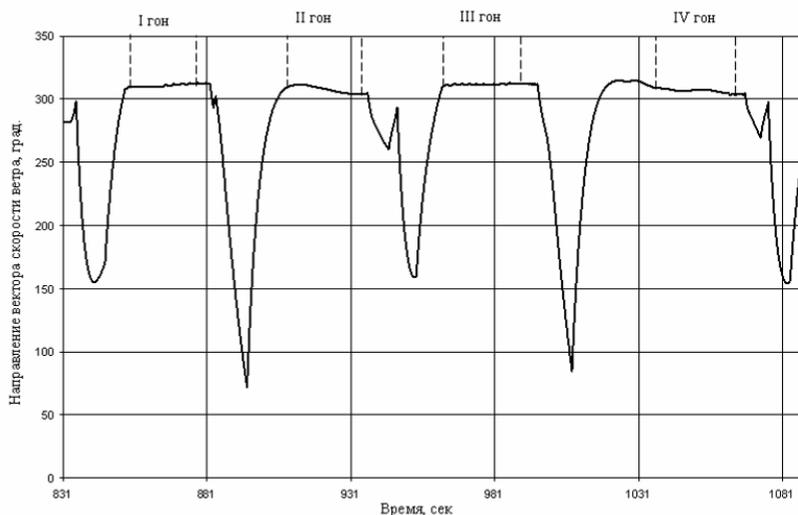


Рис.7. Рассчитанная величина направления ветра.

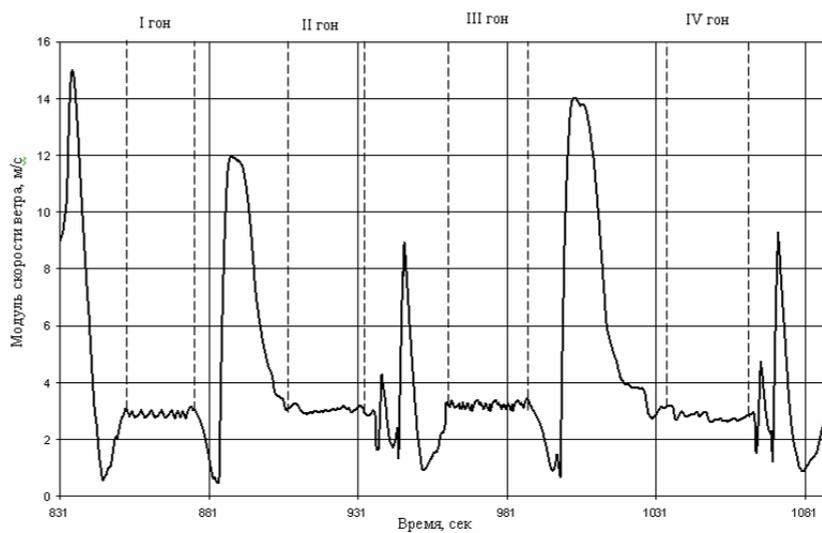


Рис.8. Рассчитанная величина скорости ветра.

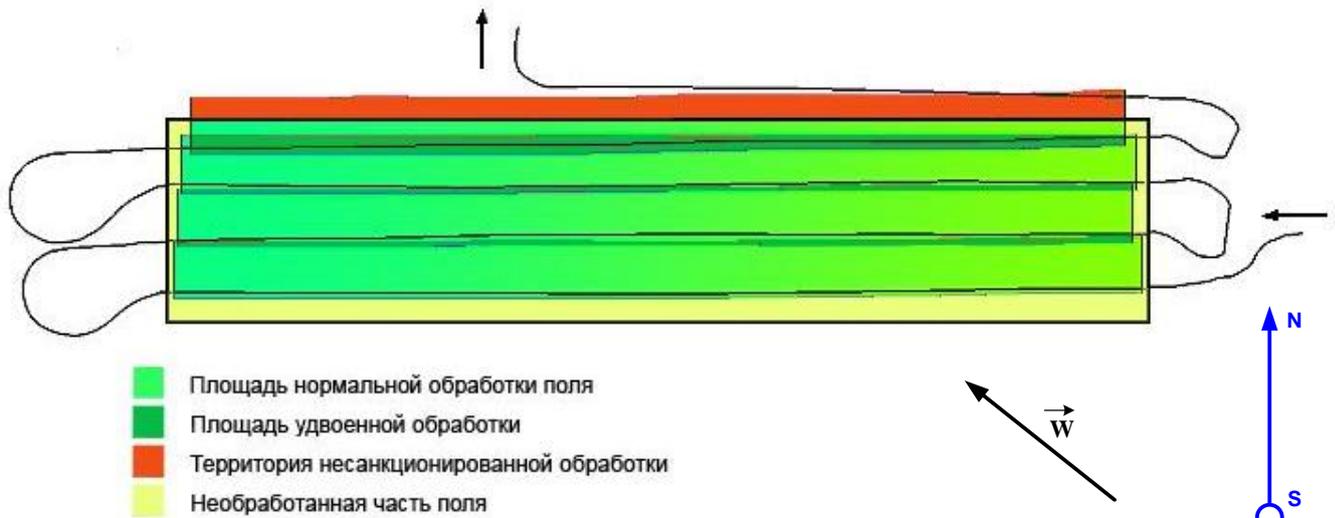


Рис.9. Траектория движения летательного аппарата и мест осаждения капель на поле.

Сведения об авторах

Копкин Андрей Сергеевич, аспирант Донского государственного технического университета. г.Ростов-на-Дону, пл.Гагарина 1, e-mail: akopkin@mail.ru, тел. (908) 519-92-90

Дудник Виталий Владимирович, Заведующий сектором организации и сопровождения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ Управления научных исследований Донского государственного технического университета, кандидат технических наук, доцент. г.Ростов-на-Дону, пл.Гагарина 1, e-mail: vvdudnik@mail.ru, тел. (863) 2-410-548