

УДК 004.052.2

ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ ПОД ВЛИЯНИЕМ ПУЛЬСАЦИОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ВЕТРОВОГО ДАВЛЕНИЯ

В.К. ЖЕЛЕЗНЯК А.И. ЯРИЦА, А.В. КАРЛА

Полоцкий государственный университет,

г. Новополоцк, Республика Беларусь

Для поддержания нужной высоты, стабильности равномерного расположения летательного аппарата по координатным осям требуется учитывать многие воздействующие факторы. Часть из них рассмотрены в работе [1]. В данной работе дана оценка стабильности получения информации БЛА под влиянием постоянной и пульсационной составляющих ветрового давления.

При рассмотрении расстояния при принятии сигнала, следует отметить такой фактор, как влияние атмосферы на точность координат БЛА. Движение масс воздуха в атмосфере относительно земной поверхности происходит под воздействием разности атмосферного давления, определяемого барическим градиентом, силой трения, отклоняющей силой вращения Земли (сила Кориолиса) и центробежной силой. Сила трения частиц воздуха о поверхность земли отклоняет направление ветра от прямолинейного, но сказывается только в нижних сотнях метров. С ростом высоты над поверхностью земли влияние силы трения уменьшается, что приводит к повышению скорости ветра. Наиболее распространена степенная зависимость скорости ветра с высотой:

$$V_z = V_\phi (z/z_0)^\alpha \quad (1)$$

и логарифмическая

$$V_z = V_\phi \frac{\ln z/z_0}{\ln z_\phi/z_0} \quad (2)$$

где V_ϕ – скорость ветра на высоте флюгера или измерительного прибора; z – высота над поверхностью земли; z_ϕ – высота флюгера или другого прибора, чаще всего около 10 м; z_0 – параметр шероховатости (условной) поверхности или высота, на которой скорость равна нулю; α – показатель, принимаемый равным 0,08–0,4.

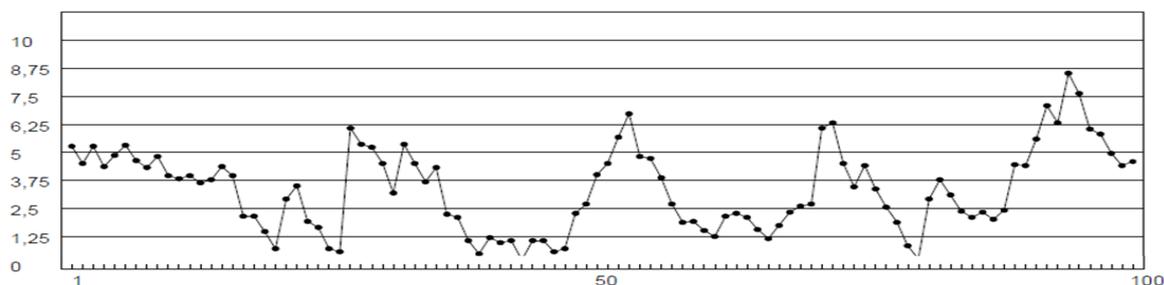


Рисунок 1. График изменения скорости ветра. Период 100 секунд

При значительных кратковременных отклонениях от средней величины скорости ветра говорят о шквалистости ветра [2]. Порывистость в исследованиях характеризуют с помощью средних квадратов пульсации (порывов) составляющих скорости ветра и стандартных отклонений. Порывы ветра характеризуются коэффициентом порывистости, являющимся отношением наибольшей скорости в порыве к средней за определенный промежуток времени (рис. 1). Коэффициент порывистости убывает с увеличением средней скорости ветра (рис. 2).

Неупорядоченный хаотический характер пульсаций скорости ветра в приземном слое позволяет считать, что распределение пульсаций скоростного напора следует нормальному закону распределения Гаусса. Тогда добавка к скоростному напору, учитывающая порывистость, может быть определена из записей мгновенной скорости ветра в характерных районах, если средние величины скорости ветра во время наблюдений были достаточно большие.

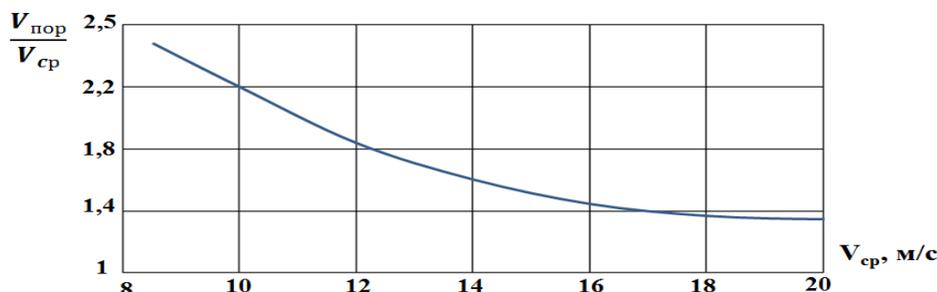


Рис. 2. Коэффициент порывистости в зависимости от средней скорости ветра

Сама природа ветра, когда на среднюю скорость накладываются порывы ветра (рисунок 3), указывает на то, что основную ветровую нагрузку следует определять, как сумму средней (статической) и пульсационной (динамической) составляющих:

$$w = w_m + w_p \tag{3}$$

Значение средней составляющей ветровой нагрузки в зависимости от эквивалентной высоты над поверхностью земли следует определять по формуле:

$$w_m = w_0 \cdot k(z_e) \cdot c \tag{4}$$

Наличие в ветровом потоке сдвига и пульсаций скорости еще более усложняет ситуацию, приводя к дополнительным нестационарным воздействиям. Значение пульсационной составляющей ветровой нагрузки определяется по формуле:

$$w_p = w_m \zeta(z_e) v, \tag{5}$$

Проанализируем ее более подробно.

- w_m – средняя составляющая ветровой нагрузки, определяется по формуле 2.6;
- ζ – коэффициент пульсации давления ветра, принимаемый для эквивалентной высоты z_e ;

Коэффициент пространственной корреляции пульсаций давления v следует определять для всей расчетной поверхности беспилотного летательного аппарата или его отдельной конструкции, для которой учитывается корреляция пульсаций [2].

Для оценки воздействия пульсационной составляющей ветрового давления, проведены измерения скорости ветра, влажности воздуха и температуры [3]. Измерение этих показателей проводились высокоточным анемометром марки Мегеон – 1107 (табл. 1).

Таблица 1

Технические характеристики прибора

Диапазон измерений потоков воздуха	Разрешение измерений потоков воздуха	Диапазон измерений температуры	Подключение к компьютеру	Погрешность измерений температуры	Наличие дисплея
0,3–20 м/с	0,01 м/с	0–50 °С	USB	±0,5 °С	есть

Измерения проводились в городской застройке, с наветренной стороны стандартного прямоугольного жилого дома высотой 40 м. Результаты представлены в таблице 2.

Измерение скорости ветра

№ измерения	Температура, °С	Влажность воздуха, %	Скорость ветра, м/с	Время измерения
1	13,5	64,5	0	19:41:11
10	13,5	64,5	8,08	19:41:20
20	13,5	64,5	4,19	19:41:30
...
99	13,5	64,5	2,75	19:42:29
100	13,5	64,5	2,34	19:42:30

График изменения скорости изображен на рисунке 3.

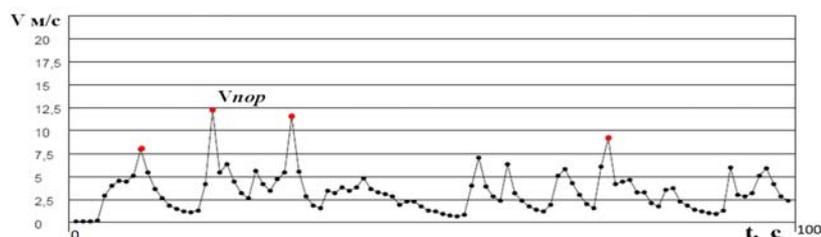


Рис. 3. График изменения скорости ветра за 100 секунд

В результате статистической обработки измерений, получаем среднее математическое ожидание скорости ветра $V_{cp} = 3,3$ м/с. Максимальная скорость ветра $V_{нор} = 12,3$ м/с.

Плотность воздуха при нормальном барометрическом давлении (760 мм рт.ст.) и температуре 15°C равна $1,25$ кг/м³. Состояние воздуха при таком давлении и температуре принимается за стандартную атмосферу. в ходе расчетов получили $w_0 = 0,068$ кПа.

Средняя составляющая ветровой нагрузки:

$$w_m = w_0 \cdot k(z_e) \cdot c = 0,068 \cdot 1,1 \cdot 0,8 = 0,06$$

Пульсационная составляющая ветровой нагрузки:

$$w_p = w_m \zeta(z_e) v = 0,06 \cdot 0,8 \cdot 0,59 = 0,03$$

Основная ветровая нагрузка, учитывающая среднюю составляющую и пульсационную, составила $0,09$ кПа или $9,2$ кг·с/м². При максимальной скорости ветра ветровая нагрузка составила $0,12$ кПа или $12,2$ кг·с/м²

В ходе системного анализа ветрового давления выделены основные ключевые моменты, которые нужно учитывать при подготовке, проведении и обработки результатов измерений. Требуется измерить, помимо скорости ветрового потока, температуру, влажность и атмосферное давление, так как три этих составляющих оказывают влияние на плотность воздушной струи. При их повышенных значениях, удельный вес воздуха становится больше, соответственно, возрастает величина переносимой энергии и, как следствие, увеличивается ветровая нагрузка, оказываемая на беспилотные летательные аппараты. Также ветровая нагрузка имеет зависимость к усилению от увеличения высоты. Так при скорости ветра равной 20 м/с, расчетные значения ветровой нагрузки в первом приближении на высоте 10 м будут примерно равны $0,18$ кПа, на высоте 20 м — $0,28$ кПа, а на высоте 30 м — $0,36$ кПа. Пульсационная составляющая в короткий период времени ($1-2$ секунды) повышает ветровое давление более чем на 30% .

Список литературы

1. Карла, А. В. Оценка стабильности получения информации от параметров установленных датчиков / А. В. Карла, В. К. Железняк // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С, Фундаментальные науки. – 2020. – № 12. – С. 30–35.
2. Ярица, А. И. Оценка воздействия на точность определения координат точки приема сигналов спутниковой системы точного позиционирования при динамических ветровых нагрузках / А. И. Ярица // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С. Фундаментальные науки. – 2018. – № 4. – С. 38–44.
3. Железняк, В. К. Методика математической обработки в оценке ветровых нагрузок на точку приема и передачи сигналов, расположенную на поверхности здания / В. К. Железняк, А. И. Ярица, С. В. Лавров // Современные средства связи : мат-лы XXIII Междунар. науч.-техн. конф., 18–19 октября 2018 г. / Бел. гос. акад. Связи ; редкол. : А. О. Зеневич [и др.]. – Минск, 2018.