УДК 551.554

ВЛИЯНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ РАЗНЕСЕННОСТИ АНЕМОМЕТРОВ НА РАССЧИТАННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СДВИГОВ ВЕТРА

И.С. Брусенская

Рассматривается влияние горизонтальной разнесенности анемометров на величину вертикальных сдвигов ветра в приземном слое атмосферы на примере аэропорта Манас (Чуйская долина).

Одной из важных характеристик пространственной изменчивости ветра, знание которой необходимо учитывать при пилотировании воздушных судов, является вертикальный сдвиг ветра (ВСВ), который относится к опасным для авиации явлениям погоды [1].

Численно ВСВ $\vec{\beta} = \partial\vec{V}/\partial Z$ есть вертикальный градиент вектора ветра $\vec{V}$, который имеет модуль β и направление γ, совпадающее с направлением векторной разности скоростей в слое. Единицей измерения $\vec{\beta}$ и β является $с^{-1}$.

На практике, по рекомендации Международной организации гражданской авиации (ИКАО) [6, 7], предлагается рассматривать модуль сдвига ветра β для приземного 30-метрового слоя (10…40 м), где наиболее велико влияние сдвигов на взлет и посадку воздушного судна. ВСВ, рассчитанные для этого слоя, подразделяются на слабые ($0 < \beta < 0{,}07$ $с^{-1}$), умеренные ($0{,}07 \le \beta < 0{,}14$ $с^{-1}$), сильные ($0{,}14 \le \beta < 0{,}21$ $с^{-1}$) и очень сильные ($\beta > 0{,}21$ $с^{-1}$).

Следует отметить, что рассчитанное значение β, соответствующее одной и той же метеорологической ситуации, уменьшается при увеличении слоя ΔZ. Это объясняется тем, что β в приземном слое уменьшается по закону, близкому к обратной экспоненте. Поэтому при анализе ВСВ надо обязательно указывать толщину слоя ΔZ, по которому рассчитано β, и высоту положения этого слоя.

Целью настоящей работы является исследование влияния горизонтальной разнесенности ветроизмерительных приборов на ВСВ в зоне аэродрома на примере аэропорта Манас (Чуйская долина).

Для этого использованы анемометрические и шаропилотные наблюдения в аэропорту Манас за 1981…1991 гг. (11123 измерений). Схема расположения приборов показана на рис.: а) анемометр на мачте (10 м) и шаропилот (40 м), расположенные на конце взлетно-посадочной полосы (ВПП), давали сдвиг ветра в слое 10…40 м; б) этот же анемометр и анемометр на диспетчерской вышке (30 м), удаленный на 2 км, давали сдвиг ветра в слое 10…30 м. Таким образом, оценивались численные различия характеристик ВСВ, рассчитанных для этих двух комбинаций расположения ветроизмерительных приборов – слой 10…40 м (измерения в одной точке); слой 10…30 м (измерения разнесены по горизонтали на 2 км).

Рис. Схематическое расположение анемометров и места выпуска шаропилотов относительно ВПП аэропорта Манас.

По исходным данным рассчитаны значения и основные статистики распределений β для слоев 10…30 м (анемометры) и 10 (анемометр)…40 м (шаропилот): среднее значение – $\overline{\beta}$; коэффициенты вариации – $C(\beta)$, асимметрии – $A(\beta)$ и эксцесса – $E(\beta)$, $\overline{\beta}_M$ – средние из годовых максимумов β и β_M – абсолютные максимальные по выборке значения.

Прежде всего, рассчитанные средние и максимальные значения β для приземного слоя 10…30 м (ΔZ = 20 м) надо привести к толщине слоя ΔZ = 30 м, который рекомендован ИКАО. Это можно сделать по зависимостям Глазунова В.Г. для $\overline{\beta}$ и β_M, полученным по измерениям на высотной метеорологической мачте (ВММ) в Обнинске [5], с учетом фактических данных аэропорта Манас.

В результате, для приведения β от слоя ΔZ = 20 м к ΔZ = 30 м были получены поправки: $\Delta\overline{\beta}(\Delta Z = 10\ м) = -0{,}011$ и $\Delta\beta_M(\Delta Z = 10\ м) = -0{,}074$ с$^{-1}$.

Как видно, корректировка средних и максимальных сдвигов ветра в слое 10…30 м с целью их перечета на слой 10…40 м мало изменяет значения β. Поэтому эти поправки можно не вводить.

Рассмотрим по сезонам года и времени суток рассчитанные нами статистические характеристики ВСВ в приземном слое 10…40 м и 10…30 м, считая их идентичными по толщине, но значения β в которых определены при существенно различном положении точек ветроизмерения: анемометр (мачта 10 м) – анемометр (вышка 30 м на удалении 2 км) и анемометр (мачта 10 м) – шаропилот (40 м в этой же точке). Расчетные данные о характеристиках β приведены в табл. 1 и 2. Кроме того, в табл. 3 дано также отношение $k = \overline{\beta}(10...30)/\overline{\beta}(10...40)$.

В слое 10…40 м (табл. 1) во все сезоны года и время суток, средние сдвиги ветра $\overline{\beta}$ находятся вблизи границы перехода от слабого к умеренному ВСВ ($\overline{\beta}$ = 0,052…0,071 с$^{-1}$). Наименьшие значения $\overline{\beta}$ в среднем за сутки наблюдаются зимой (0,057 с$^{-1}$), а наибольшие – летом (0,068 с$^{-1}$), весной и осенью они одинаковы (0,060 с$^{-1}$). В суточном ходе наибольшие значения ВСВ приходятся зимой и осенью на утренние часы (0,069 с$^{-1}$ и 0,066 с$^{-1}$), а весной и летом – на вечерние и ночные часы (0,060 с$^{-1}$ и 0,071 с$^{-1}$).

Таблица 1

Статистические характеристики ВСВ для слоя 10…40 м

Сезон		Зима (n = 1973)				Весна (n = 2747)			
Время суток		Утро	День	Вечер	Ночь	Утро	День	Вечер	Ночь
Параметры ВСВ	$\overline{\beta}$, с$^{-1}$	0,069	0,052	0,052	0,053	0,059	0,059	0,060	0,060
	$C(\beta)$	0,68	0,79	0,82	0,71	0,74	0,80	0,81	0,68
	$A(\beta)$	1,52	1,72	2,01	1,45	1,93	3,97	2,68	1,21
	$E(\beta)$	4,74	4,33	5,80	3,18	7,38	40,76	13,38	2,33
	$\overline{\beta}_M$, с$^{-1}$	0,228	0,209	0,227	0,200	0,243	0,384	0,279	0,232
	β_M, с$^{-1}$	0,337	0,271	0,299	0,246	0,359	0,750	0,433	0,290
Сезон		Лето (n = 3352)				Осень (n = 3051)			
Время суток		Утро	День	Вечер	Ночь	Утро	День	Вечер	Ночь
Параметры ВСВ	$\overline{\beta}$, с$^{-1}$	0,066	0,067	0,070	0,071	0,066	0,057	0,060	0,060
	$C(\beta)$	0,66	0,70	0,76	0,65	0,75	0,86	0,68	0,73
	$A(\beta)$	1,11	1,92	2,11	1,16	2,21	2,73	1,20	1,51
	$E(\beta)$	1,59	7,79	6,41	1,60	10,40	14,07	1,56	3,68
	$\overline{\beta}_M$, с$^{-1}$	0,203	0,376	0,311	0,246	0,281	0,366	0,180	0,247
	β_M, с$^{-1}$	0,258	0,429	0,339	0,290	0,453	0,473	0,230	0,310

Таблица 2

Статистические характеристики ВСВ для слоя 10…30 м

Сезон		Зима (n = 1942)				Весна (n = 2730)			
Время суток		Утро	День	Вечер	Ночь	Утро	День	Вечер	Ночь
Параметры ВСВ	$\overline{\beta}$, с$^{-1}$	0,099	0,074	0,076	0,085	0,090	0,098	0,095	0,088
	$C(\beta)$	0,75	0,79	0,78	0,68	0,65	0,76	0,79	0,66
	$A(\beta)$	0,94	1,53	1,39	0,80	1,01	2,96	2,17	0,94
	$E(\beta)$	1,19	4,23	2,56	0,81	2,18	24,79	7,90	1,36
	$\overline{\beta}_M$, с$^{-1}$	0,299	0,325	0,259	0,268	0,295	0,561	0,471	0,278
	β_M, с$^{-1}$	0,436	0,423	0,338	0,317	0,379	1,057	0,550	0,394
Сезон		Лето (n = 3332)				Осень (n = 2979)			
Время суток		Утро	День	Вечер	Ночь	Утро	День	Вечер	Ночь
Параметры ВСВ	$\overline{\beta}$, с$^{-1}$	0,090	0,109	0,099	0,104	0,082	0,089	0,091	0,089
	$C(\beta)$	0,64	0,74	0,70	0,62	0,66	0,86	0,67	0,70
	$A(\beta)$	1,26	1,70	1,67	1,62	0,83	2,74	1,15	1,14
	$E(\beta)$	2,97	5,45	4,59	6,25	1,03	15,84	2,99	2,16
	$\overline{\beta}_M$, с$^{-1}$	0,292	0,546	0,370	0,403	0,250	0,565	0,307	0,336
	β_M, с$^{-1}$	0,362	0,725	0,436	0,517	0,304	0,744	0,435	0,395

Таблица 3

Отношение $k = \overline{\beta}(10...30)/\overline{\beta}(10...40)$ для сезонов и различного времени суток

Время года	Время суток				Среднее за сутки
	Утро	День	Вечер	Ночь	
Зима	1,43	1,43	1,46	1,59	1,48
Весна	1,52	1,65	1,58	1,46	1,55
Лето	1,36	1,64	1,43	1,46	1,47
Осень	1,24	1,58	1,51	1,50	1,46

Рассчитанные сдвиги ветра для слоя 10…30 м (анемометр-анемометр) оказались примерно в 1,5 раза выше по всем сезонам в целом (табл. 2 и 3), а по времени суток находились в пределах 1,24…1,65. Средние сдвиги ветра $\overline{\beta}$ находятся в градации умеренного сдвига ($\overline{\beta}$ = 0,074…0,109 с$^{-1}$), с наименьшими значениями зимой (0,074 с$^{-1}$), а наибольшими летом. Суточный ход ВСВ в слое 10…30 м отличается от хода в слое 10…40 м. Наибольшие значения ВСВ приходятся зимой на утренние часы (0,099 с$^{-1}$), весной и летом на дневные часы (0,098 с$^{-1}$ и 0,109 с$^{-1}$), а осенью – на вечерние (0,074 с$^{-1}$). Статистические распределения ВСВ во все рассматриваемые сезоны года и во все периоды суток имеют в целом одинаковый характер в обоих рассматриваемых слоях.

Распределения β обоих слоев сильно правоасимметричны ($A(\beta)$ > 0,8…1,1), островершинны ($E(\beta)$ > 0,8…1,6) и поэтому не могут быть описаны нормальным законом. Одновременно с этим изменчивость β относительно своих средних значений $\overline{\beta}$ также велика. В среднем за сутки значение $C(\beta)$ наибольшее весной ($C(\beta)$ = 0,76) в слое 10…40 м и зимой в слое 10…30 м ($C(\beta)$ = 0,75), а наименьшее летом ($C(\beta)$ = 0,69) в обоих слоях. В течение суток коэффициент вариации изменяется (все сезоны года) в рассматриваемых слоях в пределах $C(\beta)$ = 0,62…0,86.

Средние из максимальных сдвигов ветра во все сезоны и периоды суток попадают в градацию сильных и очень сильных сдвигов ветра (табл. 1 и 2) по шкале ИКАО. Зимой $\overline{\beta}_M$ для слоя 10…40 м равны 0,20…0,23 $с^{-1}$, с максимальным значением, приходящимся на утренние и вечерние часы. Весной и летом значения $\overline{\beta}_M$ наибольшие в году и находятся в пределах от 0,20…0,25 $с^{-1}$ (утром или ночью) до 0,38 $с^{-1}$ (днем). Осенью $\overline{\beta}_M$ равно 0,37 $с^{-1}$ днем, а уже вечером оно опускается до 0,18 $с^{-1}$. В слое 10…30 м $\overline{\beta}_M$ могут достигать 0,26…0,33 $с^{-1}$, с максимальным значением, наблюдающимся уже днем. Весной и летом значения $\overline{\beta}_M$ наибольшие в году и днем могут достигать 0,56 $с^{-1}$. Осенью $\overline{\beta}_M$ в среднем равны 0,37 $с^{-1}$, хотя днем равны 0,57 $с^{-1}$.

Для обоих рассматриваемых слоев характерно превышение значений абсолютных максимумов β_M над средними $\overline{\beta}_M$ примерно в 2 раза (табл. 1 и 2) и аналогичность суточного хода. Так, β_M для зимнего периода равны 0,25…0,34 $с^{-1}$ и 0,32…0,44 $с^{-1}$ соответственно для слоя 10…40 м и 10…30 м, для летнего и осеннего периодов – 0,26…0,47 $с^{-1}$ и 0,30…0,74 $с^{-1}$, а весной могут достигать 0,75 $с^{-1}$ и 1,06 $с^{-1}$, что, возможно, объясняется наличием в это время двух видов сдвига ветра – горизонтального и вертикального. Расхождения значений ВСВ в рассматриваемых слоях могут объясняться следующими причинами: 1) влиянием различных методик измерений ветра с осреднением по времени (анемометр) и по слою (шаропилот); 2) значительной удаленностью мачты (10 м) и диспетчерской вышки (30 м) – около 2 км (см. рис.), т.е. разнесенностью измерений по горизонтали с возможным влиянием зданий аэропорта и самой вышки на показания анемометра; 3) увеличением β за счет меньшей толщины слоя 10…30 м, равной 20 м; 4) реальными особенностями режима сдвига в районе ВПП Манас.

Наиболее просто было попытаться исключить третью причину. Однако, как уже было отмечено, поправка оказалась малой, всего – 0,01 $с^{-1}$, что не

дало заметного результата. В тоже время влияние различных методик измерений ветра, по-видимому, оказалось несущественным, что показано в работах [2, 3, 4]. Остается признать значимой вторую причину – искажение результатов измерений за счет значительной удаленности анемометров, т.е. пространственную неравномерность режима ветра в районе ВПП аэропорта Манас в нижнем приземном слое на расстоянии 2 километров.

Полученные численные различия в результатах сдвигов ветра при аналогичных схемах расположения анемометров могут быть использованы в других аэропортах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богаткин О. Г. Авиационная метеорология. – СПб: Изд-во Государственного гидрометеорологического университета, 2005. – 328 с.
2. Брусенская И.С. Аэроклиматическая характеристика режима ветра в пограничном слое атмосферы в районе аэропорта Манас. // Вестник Кырг.-Росс. Славян. ун-та. – Том 7, №12. – Бишкек, 2007. – С. 109-116.
3. Брусенская И.С. О вертикальных сдвигах ветра в горных котловинах// Седьмое сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу: Материалы российской конференции / Под ред. М.В. Кабанова. – Томск: Аграф-Пресс, 2007. – С. 58-61.
4. Брусенская И.С., Подрезов О.А. Вертикальные сдвиги ветра в пограничном слое атмосферы в аэропорту Манас. // Вестник Кырг.-Росс. Славян. ун-та. – Том 7, №12. – Бишкек, 2007. – С. 103-108.
5. Глазунов В.Г. Величина вертикального сдвига ветра при различной толщине слоя в приземной части атмосферы// Труды Гидрометцентра СССР. – Вып. 70 – Л.: Гидрометеоиздат, 1970. – С. 45-57.
6. Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации / Гидрометцентр СССР. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985.– 301 с.
7. Сдвиг ветра. Циркуляр ИКАО 186-AN/122. – Международная классификация гражданской авиации. – Монреаль (Канада), 1987. – 200 с.

Кыргызско-Российский Славянский университет, Кыргызстан, г. Бишкек

ЖЕЛДІҢ ТІК ЖЫЛЖУЛАРЫНЫҢ ЕСЕПТЕЛГЕН МӘНДЕРІНЕ АНЕМОМЕТРЛЕРДІҢ ГОРИЗОНТАЛЬДЫ ТАРАЛУЫНЫҢ ӘСЕРІ

И.С. Брусенская

Манас әуежайы мысалында (Шу алқабы) атмосфераның төменгі қабатындағы желдің тік жылжуы мәніне анемометрдің көлденең таралуының әсері қарастырылады.