

Streszczenie

Chmury są skomplikowanymi zjawiskami obecnymi w atmosferze. Ich opis jest utrudniony przez obecność wielu procesów w przepływach atmosferycznych zachodzących w różnych skalach. Cumulusy, będące popularnym rodzajem chmur obecnym na całym świecie, są manifestacją ruchów konwekcyjnych. Na ich ewolucję i rozwój wpływa mieszanie z otoczeniem, a także mieszanie wewnątrzchmurowe, oba silnie turbulentne.

Ze względu na ograniczoną rozdzielczość w modelach pogodowych efekty związane z turbulencją, a zwłaszcza z turbulencją wymykającą się założeniom teorii Kołmogorowa, nie są prawidłowo oddane. Dodatkowo, ze względu na potrzebę dokładniejszych parametryzacji istnieje potrzeba podziału obszarów atmosfery na te posiadające określone właściwości dynamiczne.

W ramach pracy przeprowadzono analizy danych samolotowych zebranych podczas kampanii pomiarowej EUREC⁴A w okolicach Barbadosu w 2020 roku. Dane te obejmowały trzy składowe prędkości wiatru, temperaturę oraz zawartość ciekłej wody. Analizy zostały przeprowadzone pod kątem mieszania turbulencyjnego w chmurach. W pierwszej kolejności wybrano kilka odcinków reprezentujących różne sytuacje fizyczne obecne w atmosferze. Odcinki reprezentują prostą trajektorię samolotu na danej wysokości. Ze względu na to, iż jest ona jednowymiarowa oraz posiada skończoną rozdzielczość rzędu jednego metra, możliwości analizy właściwości turbulencji są w pewnym stopniu ograniczone.

Przez wzgląd na to, iż w typowym odcinku chmury cumulus zajmowały stosunkowo niewielki obszar, należało przyłożyć szczególną wagę do wyboru szerokości okien do dekompozycji Reynoldsa oraz obliczania statystyk. Rozmiary okien mają bowiem wpływ na wartości wielkości charakteryzujących turbulencję. Na podstawie przebiegów zmienności dokonano wyboru parametrów, korzystając z kryterium maksymalizacji. W następnej kolejności dokonano analiz tempa dyssypacji energii kinetycznej turbulencji ε , integralnej skali długości L i mikroskali Taylora λ , jako podstawowych wielkości charakteryzujących przepływ turbulentny. Zgodnie z oczekiwaniami podwyższona wartość ε występowała w chmurach i w okolicach chmur. Integralna skala długości zawierała się w przedziale od 20 do 50 metrów. Obniżona wartość

mikroskali Taylora korelowała z obecnością chmur.

W przypadku atmosfery turbulencja produkowana jest w wielu miejscach wskutek różnych mechanizmów działających w różnych skalach. Z tego powodu często zakładana w parametryzacjach modelowych i analizach teoria Kolmogorowa, mówiąca o turbulencji lokalnie izotropowej i stacjonarnej, ma prawo nie być spełniona. Dlatego też przeprowadzono analizy pod kątem odejścia turbulencji od izotropii, za pomocą analizy współczynników proporcjonalności, wraz z wykorzystaniem metody trójkąta turbulencji. Nie znaleziono jasnej korelacji między konkretnym stanem turbulencji a obecnością chmur, jednak na podstawie wyników można wnioskować, iż turbulencja osiąga całe spektrum stanów anizotropii w średnich skalach. Oprócz tego wykonano analizy pod kątem turbulencji nierównowagowej, poprzez weryfikację niedawno przeprowadzonych rozważań teoretycznych. Wyniki wskazują, że parametr C_ϵ charakteryzujący równowagę turbulencji jest mniejszy w chmurach.

W następnej kolejności, celem zbudowania statystyk warunkowych, zdecydowano się na skorzystanie z analizy ilościowej rekurencji, zwykle stosowanej do układów nieliniowych, w tym układów dynamicznych. Polega ona na analizie dynamiki arbitralnie zdefiniowanego wektora w przestrzeni fazowej pod kątem rekurencji. Poprzez skonstruowanie macierzy rekurencji i jej ilościowej analizy otrzymuje się zestaw zmiennych charakteryzujących wycinek trajektorii w przestrzeni fazowej. Przeprowadzono analizę wpływu parametrów na wyniki analizy. Później wykonano czasowozależną wersję analizy ilościowej rekurencji, która zwykle używana jest do badania zmian w układach. Wyniki pokazywały obniżenie wartości pewnych parametrów w obecności chmury i jej otoczenia.

W końcu, na podstawie wyboru wartości krytycznej parametru przeprowadzono podział odcinka lotu na turbulentny i nieturbulentny. Obliczono wartości średnie parametrów turbulencji w tych obszarach. Obszary reprezentujące chmury zdefiniowane za pomocą obecności wody i obszary reprezentujące otoczenie chmur, zdefiniowane za pomocą krytycznej wartości parametru, wykazują podobne właściwości turbulencji, w odróżnieniu od pozostałych obszarów.